

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

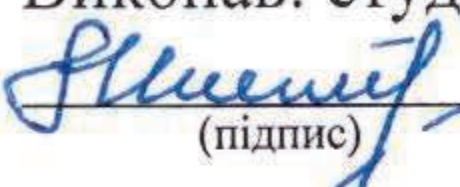
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри


«26» грудня 2024 р.

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Розробка проекту універсального суховантажного судна з
принциповою технологією побудови судна

Виконав: студент 6118мх групи
 Микитюк О.С.
(підпис)

Керівник роботи:
д.т.н, професор
(посада, науковий ступень, вчене звання)
 Коростильов Л.І.
(підпис)

Миколаїв – 2024 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

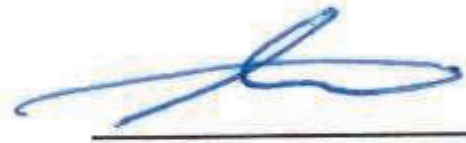
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Освітня програма «Суднокорпусобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 Д.Ю. Литвиненко
«26» грудня 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**

Студенту Микитюк Олексій Степанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка проекту універсального суховантажного судна з
принциповою технологією побудови судна

Керівник роботи д.т.н., професор Коростильов Леонтій Іванович

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

Затверджені наказом по НУК № 1357уч від «20» листопада 2024 року

2. Термін подання роботи: 26.12.2024 р.

3. Вихідні дані по роботі: рід вантажу – генеральний вантаж; масова
водотоннажність – 11000,0 т; район плавання – R3; клас судна за РСУ: K(E)
+ R3-S суховантажне судно

4. Перелік питань, що належить до розробки (найменування розділів):
визначення водотоннажності та головних розмірювань; розробка
теоретичного креслення; розрахунок ємності трюмів та відсіків; розрахунок
навантаження, визначення координат ЦВ судна та удиферентування судна;
розрахунок остійності судна; розрахунок непотоплюваності судна; набір
корпусу судна за правилами РСУ; принципова технологія побудови судна.

5. Перелік презентаційних матеріалів: теоретичне креслення; епюра ємності;
криві елементи судна; загальне розташування; діаграма остійності судна;
доковання судна; креслення мідель-шпангоута.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
1 – 10	д.т.н., професор Коростильов Л.І.		01.09.2024		01.09.2024

7. Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

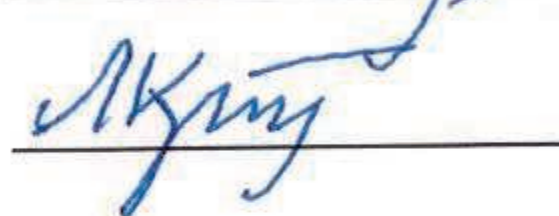
Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення водотоннажності та головних розмірювань	16.10.2024	
2	Розробка теоретичного креслення	23.10.2024	
3	Розрахунок ємності трюмів та відсіків	30.10.2024	
4	Розрахунок навантаження, визначення координат ЦВ та удиферентування судна	06.11.2024	
5	Розрахунок остійності судна	13.11.2024	
6	Розрахунок непотоплюваності судна	20.11.2024	
7	Набір корпусу судна за правилами РСУ	23.11.2024	
8	Принципова технологія побудови судна	27.11.2024	
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи	26.12.2024	

Студент



Микитюк О.С.

Керівник роботи



Коростильов Л.І.

АНОТАЦІЯ

Микитюк О. С. «Розробка проекту універсального суховантажного судна з принциповою технологією побудови судна». Кваліфікаційна робота зі спеціальності 135 «Суднобудування», освітньої програми «Суднокорпусобудування». Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова. 2024 рік

Представлено проект універсального суховантажного судна з розробкою принципіальною технологією побудови судна. У розділі «Принципова технологія побудови судна» була розроблена послідовність побудови судна та загальна принципова технологія побудови судна. За своїми характеристиками спроектоване судно повністю відповідає вимогам «Правил класифікації та побудови морських суден» Регістру судноплавства України та вимогам нормативних документів, які стосуються охорони праці та навколишнього середовища.

Ключові слова: водотоннажність, головні розмірювання, ємності трюмів та відсіків, набір корпусу судна, навантаження, непотоплюваність, остійність, принципова технологія побудови, універсальне суховантажне судно.

ANNOTATION

Mykytiuk O. S. «Development of a universal dry cargo ship design with fundamental shipbuilding technology». Qualification work in the specialty 135 «Shipbuilding», educational program «Shipbuilding». Mykolaiv: Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 2024.

A project for a universal dry cargo ship with the development of a fundamental shipbuilding technology is presented. In the section "Fundamental shipbuilding technology," a sequence of shipbuilding and a general fundamental shipbuilding technology were developed. In terms of its characteristics, the designed ship fully complies with the requirements of the "Rules for the Classification and Construction of Sea-going Ships" of the Ukrainian Register of Shipping and the requirements of regulatory documents relating to occupational health and safety and environmental protection.

Keywords: displacement, main dimensions, hold and compartment capacities, ship hull assembly, loading, unsinkability, stability, basic construction technology, universal dry cargo ship.

ЗМІСТ

Анотація.....	4
Зміст.....	5
Вступ.....	6
1. Визначення водотоннажності та головних розмірювань.....	8
2. Розробка теоретичного креслення.....	29
3. Розрахунок ємності трюмів та відсіків.....	38
4. Розрахунок навантаження, визначення координат ЦВ та удиферентування судна.....	46
5. Розрахунок остійності судна.....	53
6. Розрахунок непотоплюваності судна.....	60
7. Набір корпусу судна за правилами РСУ.....	65
8. Принципова технологія побудови судна.....	98
Висновки.....	109
Список використаної літератури.....	110

ВСТУП

В роботі досліджується питання розробки проекту універсального суховантажного судна з принциповою технологією побудови судна.

Актуальність даного питання пов'язана з необхідністю інноваційних розробок і впроваджень в області вітчизняного суднобудування з метою інтенсифікації його розвитку.

Мета та завдання даної роботи – розробити проект універсального суховантажного судна з принциповою технологією побудови судна відповідно до Правил Регістру Судноплавства України. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити водотоннажність та головні розмірювання судна;
- провести розрахунок плавучості та початкової остійності;
- провести розрахунок ємності трюмів та відсіків;
- провести розрахунок навантаження, визначити координати ЦВ та удиферентувати судно;
- провести розрахунок остійності судна;
- провести розрахунок непотоплюваності судна;
- розрахувати набір корпусу судна;
- розробити принципову технологію побудови судна.

Предмет і об'єкт дослідження. Предметом дослідження є розробка проекту універсального суховантажного судна з принциповою технологією побудови судна. Об'єктом дослідження є технічні особливості універсального суховантажного судна та технології побудови судна.

Апробація результатів дослідження. Матеріали результатів дослідження даної магістерської роботи були використані при розробці проекту універсального суховантажного судна.

Універсальні суховантажні судна складають 47% від дедвейту флоту суден для перевезення генеральних вантажів. На 1 січня 2000 року світовий флот універсальних суховантажів нараховував 13650 суден сумарним дедвейтом 76,1 млн. тон, з них однопалубних було 8634 сумарним дедвейтом 40,8 млн. тон, а багатопалубних - 5018 сумарним дедвейтом 35,3 млн. тон. Середній вік універсальних суховантажних суден складає ледве більш 21 року. З огляду на те, що термін служби таких суден не перевищує

25-30 років, в недалекому майбутньому очікується списання близько 4700 суден цього типу, чи близько 35% існуючого флоту.

Універсальні суховантажні судна являють собою найстарший тип суховантажго судна. Більш ніж за сто років свого існування судна цього типу практично не змінилися. Хоча їх швидкість і вантажопідйомність збільшилися, машинне відділення перемістилося в корму, стріли були замінені кранами, помітно збільшилося розкриття палуби, механізовані роботи з відкриття і закриття люків, судно залишилося колишнім універсалом кінця минулого століття як за принципом здійснення вантажних робіт і роду вантажу, що перевозиться, так і по експлуатаційному використанню.

Універсальність таких суден по роду перевезеного сухого вантажу забезпечить їх існування ще тривалий час, вони можуть перевозити практично будь-які вантажі, в тому числі рефрижераторні, спеціальні та рідкі.

Універсальні суховантажні судна поділяються на лінійні та трампові. Універсальні лінійні суховантажні судна призначені для транспортування, головним чином, різноманітних генеральних вантажів, вантажів у пакетах та контейнерах, спеціальних, рефрижераторних вантажів, а трампові судна – масових вантажів, лісу та іншого.

Тенденція ставити на лінії судна великої місткості з підвищеною швидкістю зростає.

Кроком уперед на шляху скорочення простоїв у портах і зменшення вантажних операцій було створення суден відкритого типу. На цих судах усі вантажні операції виконують берегові крани і немає необхідності в горизонтальних переміщеннях вантажів по трюму.

Основними типами вантажного обладнання на універсальних суховантажних судах є вантажні стріли з лебідками та вантажні крани. Вантажні стріли простіші, більш надійні в експлуатації, дешевші, менш чутливі до перевантажень і можуть експлуатуватися при великих кутах

крену.

Крани мають більшу продуктивність порівняно зі стрілами при однаковій вантажопідйомності (приблизно на 20%), можуть брати вантаж з будь-якої точки на площині, їм не потрібні вантажні щогли, що полегшує обробку судна береговими вантажними засобами. Крім того, крани займають менше місця на палубі, ніж стріли з лебідками.

Найбільш стабільна у флоті група суден дедвейтом 5-10 тисяч тон. Обсяг їх будівництва в 70-і роки досягав 150 одиниць у рік. В другій половині 80-х років будівництво скоротилося до 15-20 суден у рік, що порозумівалося насиченням ринку суднами зазначеного дедвейту. У 90-і роки в зв'язку з досягненням великої групи таких суден граничних термінів експлуатації і початком їх масового списання різко зріс інтерес судновласників до універсальних суховантажних суден дедвейтом 5 – 10 тисяч тон. У портфелі замовлень ця група є найбільшою (45% по кількості замовлених суден і більш 35% за дедвейтом).

Звичайно, спостерігається тенденція до побудови великотоннажних універсальних сухогрузів, але і необхідність в невеликих суднах теж не знижується, оскільки вони більш вигідні в використанні на коротких морських лініях, тільки їх можливо використовувати в невеликих акваторіях, та витрати на їх побудову і обслуговування значно нижчі.

РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА

1.1 Основні технічні характеристики проекту та судна – прототипу

У якості судна-прототипу прийнято багатоцільове суховантажне судно “Chelsi-1”, спроектоване Морським інженерним бюро (Одеса) та побудоване на ВАТ «Херсонський суднобудівний завод» у 2007 році. Основні дані судна-прототипу наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Основні технічні характеристики проекту та судна – прототипу

Основні технічні характеристики	Поз.	Прототип
Довжина максимальна, м	$L_{\max}$	142,69
Довжина між перпендикулярами, м	$L_{\text{пп}}$	136,74
Ширина, м	B	18,25
Висота борту, м	D	10,15
Осадка, м	d	7,33
Дедвейт, т	D_w	10325
Водотоннажність, т	Δ	14302
Апліката центру величини, м	z_c	4,0
Абсциса центру величини, м	x_c	-0,076
Коефіцієнт загальної повноти	C_B	0,741
Коефіцієнт повноти мідель – шпангоуту	C_M	0,930
Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії	C_w	0,864
Експлуатаційна швидкість, вуз	V_e	14,7
Дальність плавання, милі	R	9550
Кількість контейнерів у трюмі, шт	$n_{\text{тр}}$	302
Кількість контейнерів на палубі, шт	$n_{\text{п}}$	368
Потужність головного двигуна, кВт	N_e	4320
Діаметр гребного гвинта, м	d_b	4,2
Маса енергетичної установки, т	P_{ey}	97,4
Маса палива, т	$P_{\text{п}}$	700
Маса вантажу, т	P_B	8438
Маса баласту, т	$P_{\text{бл}}$	1012
Район плавання	-	необм.

1.2 Визначення водотоннажності судна та потужності головного двигуна в нульовому наближенні

Водотоннажність судна в нульовому наближенні Δ_0 визначається за формулою :

$$\Delta_0 = \frac{P_e}{\eta_e},$$

η_B – коефіцієнт утилізації водотоннажності за чистою вантажопідйомністю ;

$$\eta_e = \frac{\bar{P}}{\Delta},$$

де $\bar{P}_B$ – маса вантажу судна – прототипу, т ; $\bar{P}_B = 8438$ т

$\bar{\Delta}$ - водотоннажність судна – прототипу, т ; $\bar{\Delta} = 14302$ т

$$\eta_b = 8438/14302 = 0,69.$$

Таким чином

$$\Delta_0 = 7200/0,69 = 10200 \text{ т.}$$

Потужність головного двигуна в нульовому наближенні визначається за формулою :

$$N_0 = \frac{\bar{\Delta}_0^{2/3} \cdot V_e^3}{C_N},$$

де V_e – експлуатаційна швидкість ходу судна, вуз; $V_e = 14,0$ вуз

C_N – адміралтейський коефіцієнт, приймаємий за прототипом;

$$C_N = \frac{\bar{\Delta}_0^{2/3} \cdot \bar{V}_e^3}{\bar{N}_e} = \frac{14302^{2/3} \cdot 14,7^3}{3890} = 481,$$

тоді

$$N_0 = \frac{10200^{2/3} \cdot 14^3}{481} = 2700 \text{ кВт.}$$

1.3 Визначення водотоннажності судна в першому наближенні

Більш точні значення водотоннажності та інших елементів судна можуть бути знайдені шляхом складання рівняння мас, яке має вигляд :

$$\Delta = P_k + P_{сп} + P_c + P_{ey} + P_{ел} + P_{озб} + P_{зв} + P_{рв} + P_{пост} + P_{п} + P_v + P_{бл}, \quad (1.1)$$

де Δ - масова водотоннажність, т;

$P_k, P_{сп}, P_c, P_{ey}, P_{ел}, P_{озб}, P_{зв}, P_{рв}, P_{пост}, P_{п}, P_v, P_{бл}$ – маси розділів навантаження : корпусу, суднових пристроїв, систем, енергетичної установки, електрообладнання, навігаційного озброєння, запасу водотоннажності, рідких вантажів, постачання, палива, води і мастила, перевозимого вантажу та рідкого баласту, відповідно.

У першому наближенні всі розділи навантаження проекту виразимо в функції водотоннажності, після чого рівняння (1.1) матиме вигляд :

$$\Delta = a_e \cdot \Delta + a_{nr} \cdot \Delta^{2/3} + a_n \cdot \Delta^{2/3} + a_{do} \cdot \Delta^{2/3} + a_{ae} \cdot \Delta^{2/3} + a_{ica} \cdot \Delta + a_{ca} \cdot \Delta + a_{da} \cdot \Delta^{2/3} +$$

$$+ a_{ном} \cdot \Delta + a_n \cdot \Delta^{2/3} + P_{\epsilon} + P_{\epsilon л},$$

$$(1.2)$$

де a_k , $a_{сп}$, a_c , a_{ey} , $a_{ел}$, $a_{озб}$, $a_{зв}$, $a_{рв}$, $a_{пост}$, $a_{п}$ – вимірники маси корпусу, суднових пристроїв, систем, енергетичної установки, електрообладнання, навігаційного озброєння, запасу водотоннажності, рідких вантажів, постачання, палива, води і мастила;

$$a_k = \frac{\overline{D_k}}{\overline{\Delta}} = \frac{3464,5}{14302} = 0,242;$$

$$a_{сп} = \frac{\overline{P_{сп}}}{\overline{\Delta^{2/3}}} = \frac{285,5}{14302^{2/3}} = 0,485;$$

$$a_c = \frac{\overline{P_c}}{\overline{\Delta^{2/3}}} = \frac{92}{14302^{2/3}} = 0,156;$$

$$a_{ey} = q_{ey} \cdot \frac{V_e^3}{C_N};$$

де $q_{ey} = \frac{\overline{P_{ey}}}{\overline{N_{\epsilon}}}$ - питома маса енергетичної установки, т/кВт;

$\overline{N_{\epsilon}} = 4320$ кВт - потужність СЕУ прототипу на випробуваннях;

тоді $q_{ey} = \frac{97,4}{4320} = 0,0225;$

$V_B = V_e + 0,5$ вуз – швидкість ходу судна – проекту на випробуваннях;

$V_e = 14,0$ вуз – експлуатаційна швидкість ходу судна – проекту;

$$V_B = 14,0 + 0,5 = 14,5 \text{ вуз};$$

таким чином $a_{ey} = 0,0225 \cdot \frac{14,5^3}{481} = 0,08;$

$$a_{ел} = \frac{\overline{P_{ел}}}{\overline{\Delta^{2/3}}} = \frac{27,5}{14302^{2/3}} = 0,0467;$$

$$a_{озб} = \frac{\overline{P_{озб}}}{\overline{\Delta}} = \frac{10}{14302} = 0,000699;$$

згідно з таблицею 6 [] приймаємо :

$$a_{зв} = 0,005;$$

$$a_{рв} = 0,205;$$

$$a_{\text{пост}} = 0,004;$$

$$a_n = q_n \cdot \frac{V_e^2}{C_e} \cdot R;$$

де вимірник маси палива q_n приймаємо згідно судна – прототипу:

$$q_n = \frac{\overline{P_n}}{\overline{N_e} \cdot \overline{R}} = \frac{700}{3890 \cdot \frac{9550}{14,7}} = 0,000277 \text{ т/кВт} \cdot \text{год};$$

$\overline{N_e} = 3890 \text{ кВт}$ – експлуатаційна потужність СЕУ прототипу;

Всі вимірники мас зведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Значення вимірників мас за розділами навантажень

Розділ навантаження	Залежність від Δ	Вимірник a_i	Прим.
01 Корпус	$a_k \cdot \Delta$	0,242	розр.
02 Суднові пристрої	$a_{сп} \cdot \Delta^{2/3}$	0,485	розр.
03 Системи	$a_c \cdot \Delta^{2/3}$	0,156	розр.
04 Установка енергетична	$a_{ey} \cdot \Delta^{2/3}$	0,08	розр.
05 Електрообладнання	$a_{ел} \cdot \Delta^{2/3}$	0,0467	розр.
07 Навігаційне озброєння	$a_{озб} \cdot \Delta$	0,000699	розр.
11 Запас водотоннажності	$a_{зв} \cdot \Delta$	0,005	[1]
12 Рідкі вантажі	$a_{рв} \cdot \Delta^{2/3}$	0,205	[1]
13 Постачання	$a_{пост} \cdot \Delta$	0,004	[1]
16 Запаси палива	$a_{п} \cdot \Delta^{2/3}$	1,296	розр.

Підставши знайдені значення в вираз (1.2) і перетворивши його, маємо

$$\Delta(1 - 0,242 - 0,000699 - 0,005 - 0,004) = \Delta^{2/3}(0,485 + 0,156 + 0,08 + 0,0467 + 0,205 + 1,296) + 7200 + 0, \text{ або}$$

$$\Delta \cdot 0,7483 - \Delta^{2/3} \cdot 2,3634 = 7200$$

Рішення рівняння знаходимо за методом Крилова: поділив обидві частини рівняння на 0,7483 маємо

$$\Delta - \Delta^{2/3} \cdot 3,1584 = 8018;$$

$$\Delta^{1/3} = \alpha y;$$

$$\alpha^3 y^3 - \alpha(\alpha^2 y^2) \cdot 3,1584 = 9621;$$

$$\alpha = \frac{2,3634}{0,7483} = 3,1584;$$

$$\alpha^3 = 3,1584^3 = 31,507;$$

$$y^3 - y^2 = \frac{9621}{31,507} = 254;$$

$$y = 7,08; \alpha y = 22,30;$$

Таким чином водотоннажність у першому наближенні дорівнює:

$$\Delta_1 = (\alpha y)^3 = 26,728^3 = 11709 \text{ т.}$$

Для перевірки вірності розрахунків складемо таблицю навантажень першого наближення (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 Маса навантажень за розділами

Розділ навантаження	Залежність від Δ	Маса P_i , т	P_i / Δ
01 Корпус	$a_k \cdot \Delta$	2885	0,242
02 Суднові пристрої	$a_{сп} \cdot \Delta^{2/3}$	253	0,018
03 Системи	$a_c \cdot \Delta^{2/3}$	269	0,006
04 Установка енергетична	$a_{ey} \cdot \Delta^{2/3}$	141,75	0,0065
05 Електрообладнання	$a_{ел} \cdot \Delta^{2/3}$	26,09	0,0017
07 Навігаційне озброєння	$a_{озб} \cdot \Delta$	8,36	0,0007
11 Запас водотоннажності	$a_{зв} \cdot \Delta$	8,35	0,005
12 Рідкі вантажі	$a_{рв} \cdot \Delta^{2/3}$	106,98	0,0076
13 Постачання	$a_{пост} \cdot \Delta$	2,09	0,004
Водотоннажність порожнем	$\Delta_{пор}$	3601	0,292
16 Запаси палива	$a_{п} \cdot \Delta^{2/3}$	926	0,048
18 Рідкий баласт	$P_{бл}$	0	0
Вантаж перевозимий	P_v	7200	0,519
Дедвейт	Dw	8126	0,708

Водотоннажність повна	Δ_1	11727	1,0
-----------------------	------------	-------	-----

Коефіцієнт утилізації водотоннажності по вантажопідйомності буде дорівнювати:

$$\eta_B = \frac{P_B}{\Delta_1} = \frac{7200}{11727} = 0,68$$

1.4 Визначення безрозмірних характеристик форми корпусу

Відносна довжина проекту:

$$l_1 = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{\Delta_1}} \right) \cdot V_e^{1/3} = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{11727}} \right) \cdot 11^{1/3} = 4,87.$$

Довжина між перпендикулярами

$$L_1 = l_1 \cdot \Delta^{1/3} = 4,87 \cdot 11727^{1/3} = 107,82 \text{ м.}$$

Число Фруда

$$Fr_1 = \frac{0,514 \cdot V_a}{\sqrt{g \cdot L_1}} = \frac{0,514 \cdot 11,0}{\sqrt{9,81 \cdot 107,82}} = 0,18$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння.

Коефіцієнт загальної повноти

$$C_{B1} = 1,09 - 1,68Fr = 1,09 - 1,68 \cdot 0,18 = 0,791$$

Коефіцієнт повноти мідель – шпангоута

$$C_{M1} = 1 - 3,5(1 - 1,01\sqrt{C_{B1}})^{2,5} = 1 - 3,5(1 - 1,01\sqrt{0,791})^{2,5} = 0,994$$

Коефіцієнт повздовжньої гостроти

$$C_{p1} = \frac{C_{B1}}{C_{M1}} = \frac{0,791}{0,994} = 0,796$$

Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії

$$C_{w1} = aC_{p1}^{2/3} \text{ де } a = 1,01 \text{ при } Fr < 0,25,$$

$$C_{w1} = 1,01 \cdot 0,796^{2/3} = 0,863$$

Таблиця 1.4 Вибір коефіцієнтів повноти

Коеф.	Прототип	Проект	Прийнято
C_B	0,741	0,791	0,791
C_M	0,930	0,994	0,932
C_P	0,797	0,795	0,796
C_W	0,864	0,863	0,864

1.5 Визначення співвідношень та головних розмірювань

1.5.1 Відношення висоти борта до осадки

Відношення висоти борта до осадки у значній мірі впливає на об'єм вантажних приміщень, непотоплюваність і остійність. У першому наближенні приймаємо його за прототипом

$$\frac{\overline{D}}{\overline{d}} = \frac{10,15}{7,33} = 1,38$$

Згідно статистичним даним для суховантажних суден приймаємо $(D/d) = 1,48$.

1.5.2 Відношення ширини судна до осадки

Відношення ширини судна до осадки визначаємо за умови забезпечення початкової остійності:

$$\frac{B}{d} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_s \cdot C_W^2}{3 \cdot C_B} \left(\zeta_g \cdot \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_W}{C_B} \right)^{0.5} \right)}}{\frac{k_s \cdot C_W^2}{6 \cdot C_B}}, \quad (1.3)$$

де k_s - коефіцієнт впливу форми носової частини вантажної ватерлінії (ВВЛ) на величину моменту інерції площі ватерлінії, для випуклої і прямої ВВЛ коефіцієнт визначається за формулою

$$k_s = 0,74 + 0,8C_W - 0,55C_W^2 = 0,74 + 0,8 \cdot 0,864 - 0,55 \cdot 0,864^2 = 1,022$$

Прийняте значення початкової відносної метацентричної висоти h/B не повинно перебільшувати максимальне значення, яке визначається за умов забезпечення плавності хитамиці по формулі Ховгарда (1.4):

$$\left(\frac{h}{B}\right)_{\max} = \frac{C_{\tau}^2 \cdot B_0}{\tau^2}, \quad (1.4)$$

де C_{τ} - емпіричний коефіцієнт:

$$C_{\tau} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{1,05 \cdot \frac{C_W^2}{C_B} + 4 \cdot \xi_g^2 \cdot \left(\frac{\bar{D}}{B}\right)^2};$$

ξ_g - відносна апліката центра тяжіння судна в повнім вантажу; приймаємо за прототипом

$$\xi_g = \frac{\bar{z}_g}{\bar{D}} = \frac{9,1}{10,15} = 0,897,$$

тоді

$$C_{\tau} = \frac{2}{3} \sqrt{1,05 \cdot \frac{0,864^2}{0,791} + 4 \cdot 0,897^2 \cdot \left(\frac{10,15}{18,25}\right)^2} = 0,956$$

τ - період бортової хитавиці, приймається для суховантажних суден за таблицею 7 []

$\tau = 20$ с.

$B_0 = \bar{B} \cdot (\Delta_1 / \bar{\Delta})^{1/3}$ - ширина судна яка очікується, м;

$$B_0 = 18,25 \cdot \left(\frac{10526}{14302}\right)^{1/3} = 17,18 \text{ м.}$$

Тоді із виразу (1.4) маємо

$$\left(\frac{h}{B}\right)_{\max} = \frac{0,956^2 \cdot 17,18}{20^2} = 0,039.$$

Згідно статистичним даним для суховантажів $h/B = 0,02 \dots 0,04$ [].
Приймаємо $h/B = 0,04$.

Згідно (1.3) маємо

$$\frac{B}{d} = \frac{0,04 + \sqrt{0,04^2 + \frac{1,022 \cdot 0,864^2}{3 \cdot 0,791} (0,897 \cdot 1,38 - \frac{1}{2} (\frac{0,864}{0,791})^{0,5})}}{\frac{1,022 \cdot 0,864^2}{6 \cdot 0,791}} = 2,75$$

Для прототипу $(B/d) = 18,25/7,33 = 2,5$. Опираючись на дані статистики, прийmemo $(B/d) = 2,75$.

1.5.3 Відношення довжини до ширини

Відношення довжини до ширини (L/B) знайдемо із умови ходовності (за формулою плавучості) за допомогою відносної довжини l

$$\frac{L}{B} = \sqrt{l_1^3 \cdot C_{B_1} \cdot \frac{d}{B} \cdot K_{вч} \cdot \gamma}, \quad (1.5)$$

де $K_{вч} = 1,03$ – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи теоретичного креслення частини корпусу (скулові кілі, зовнішню обшивку, руль, гвинт тощо);

$\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ – густина морської води;

$$\frac{L}{B} = \sqrt{4,87^3 \cdot 0,791 \cdot \frac{1}{2,75} \cdot 1,03 \cdot 1,025} = 5,92.$$

1.5.4 Головні розмірювання

Маючи значення відношень головних розмірювань і водотоннажності в першому наближенні, рішимо рівняння плавучості

$$\Delta_1 = K_{вч} \cdot \gamma \cdot C_{B_1} \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot d_1. \quad (1.6)$$

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

$$B_1 = L_1/(L/B), \quad d_1 = B_1/(B/d). \quad (1.7), (1.8)$$

Вираз (1.6) матиме вигляд

$$\Delta_1 = K_{вч} \cdot \gamma \cdot C_{B_1} \cdot \frac{L_1}{(L/B)^2 \cdot (B/d)}, \text{ т}$$

звідки

$$L_1 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_1 \cdot (L/B)^2 \cdot (B/d)}{K_{вч} \cdot \gamma \cdot C_{B_1}}}, \text{ м} \quad (1.9)$$

Підставляючи відомі значення, маємо

$$L_1 = \sqrt[3]{\frac{10526 \cdot 5,92^2 \cdot 2,75}{1,03 \cdot 1,025 \cdot 0,791}} = 111,0 \text{ м};$$

$$B_1 = 111,0/5,92 = 18,76 \text{ м};$$

$$d_1 = 18,76/2,75 = 6,82 \text{ м}.$$

Уточнимо значення довжини згідно (1.6):

$$L_1 = \frac{\Delta_1}{K_{\text{вч}} \cdot \gamma \cdot C_{B_1} \cdot B_1 \cdot d_1} = \frac{11727}{1,03 \cdot 1,025 \cdot 0,791 \cdot 18,78 \cdot 6,82} = 111,0 \text{ м.}$$

Перевіримо знайдені значення по виразу (1.6):

$$\Delta_1 = 1,03 \cdot 1,025 \cdot 0,791 \cdot 111,0 \cdot 18,78 \cdot 6,82 = 11727 \text{ т.}$$

Висота борту $D_1 = d_1 \cdot (D/d) = 6,82 \cdot 1,48 = 10,09 \text{ м.}$

1.6 Визначення головних елементів проекту в другому наближенні

1.6.1 При розрахунку головних розмірювань судна в першому наближенні були використані формули, які не враховували вплив головних невідомих на масу окремих розділів навантаження. Єдиною величиною, характеризуючою розміри

судна, була водотоннажність. Після визначення головних елементів судна в першому наближенні з'явилася можливість використання більш точних формул для розрахунку потужності головного двигуна і мас по всім розділам навантаження.

Розрахунок потужності головного двигуна виконується в два етапи:

- розраховується буксировочна потужність;
- на її підставі розраховується потужність, необхідна для обертання гребного гвинта.

За результатами цього розрахунку підбирається головний двигун по каталогу, що надає можливості уточнити масу по розділу навантаження “Установка енергетична”.

1.6.2 Розрахунок опору води та буксировочної потужності виконується за допомогою ПЕОМ згідно програми FreeShip+. Результати розрахунків приведені в таблиці 1.5 та 1.6.

1.6.3 Розрахунок гребного гвинта для вибору головного двигуна виконується на ПЕОМ згідно програми Freeship+. Результати розрахунків приведені в таблиці 1.7.

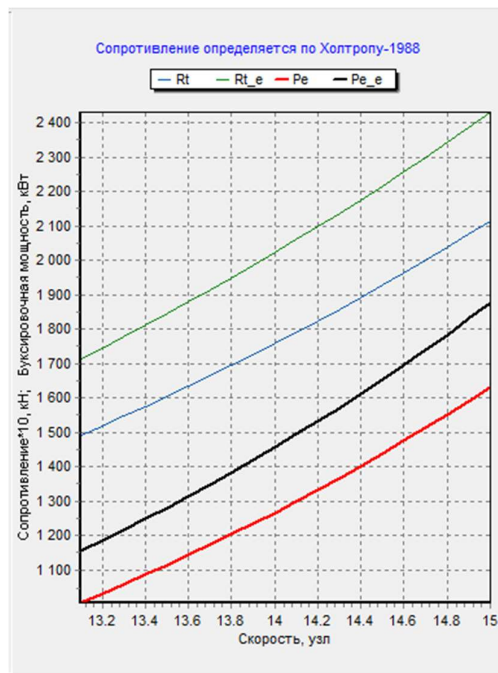


Рисунок 1.1 Графік залежності опору та буксировочної потужності від швидкості

Таблица 1.5 Результаты расчета буксировочной мощности та опору

Vs	Vms	Fr	R _f	R _r	R _T	Pe	R _{T_e}	Pe _e
узл	м/с	-	кН	кН	кН	кВт	кН	кВт
13.00	6.69	0.201	107.9	38.5	146.4	979.1	168.4	1126.0
13.33	6.86	0.206	113.1	42.5	155.6	1067.5	179.0	1227.7
13.67	7.03	0.211	118.5	47.0	165.5	1163.3	190.3	1337.7
14.00	7.20	0.216	123.9	52.0	175.9	1266.8	202.3	1456.8
15.00	7.72	0.232	141.0	70.4	211.5	1631.9	243.2	1876.7

Таблица 1.7 Результаты расчета элементов гребного гвинта для выбору двигуна

Величина	Разм-сть	Значения				
D	м	4.770	4.670	4.570	4.470	4.370
Kdt	-	1.707	1.671	1.635	1.599	1.564
Jopt	-	0.891	0.880	0.870	0.847	0.837
n	об/мин	78.81	81.58	84.33	88.49	91.63
P/D	-	1.366	1.359	1.359	1.337	1.337
ETAo	-	0.628	0.623	0.617	0.612	0.607
ETAd	-	0.628	0.623	0.617	0.612	0.607
Ps	кВт	2369.	2387.	2408.	2428.	2451.
Ps_r	кВт	2369.	2387.	2408.	2428.	2451.

За даними таблиці 1.7 будується графік залежності потужності головного двигуна від частоти обертання гвинта та діаметру гвинта від частоти його обертання (рисунок 1.2).

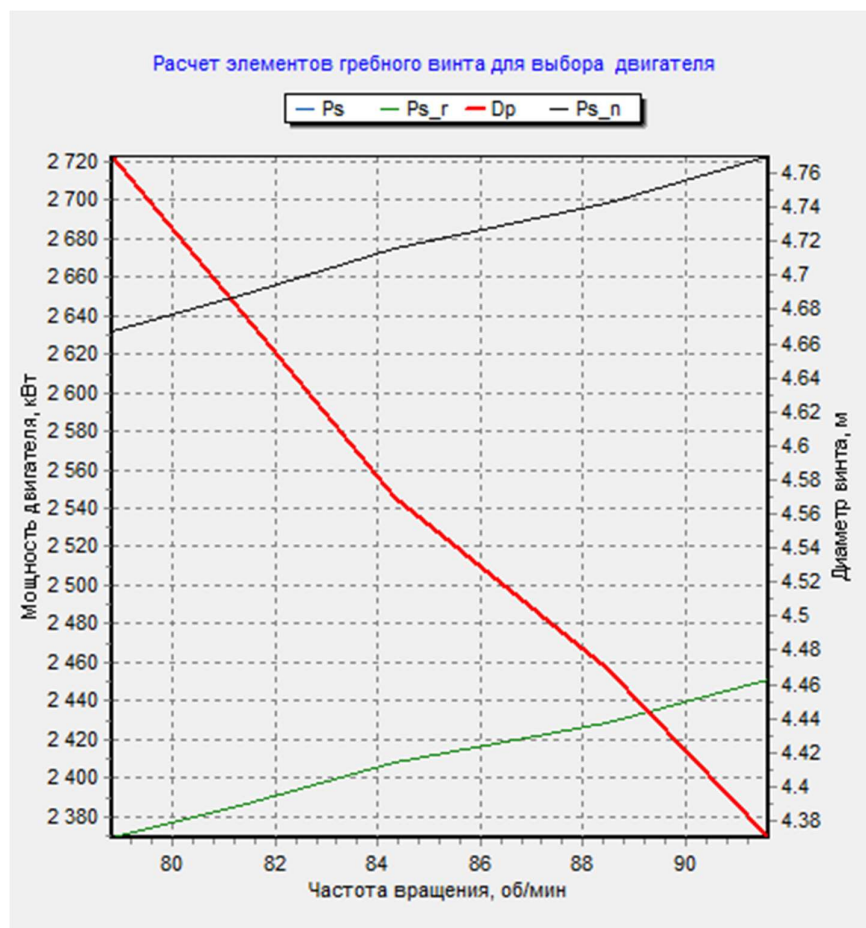


Рисунок 1.2 Розрахунок гребного гвинта для вибору двигуна

1.6.4 На одногвинтових суднах межівний діаметр гвинта складає 0,7 осадки в повнім вантажі.

Для заданого проекту: $D_{max} = 0,7d = 0,7 \cdot 6,82 = 4,77\text{м}$.

1.6.5 По каталогу вибираємо малообертовий двигун L80MCE фірми “MAN B&W ” з наступними характеристиками:

- потужність, кВт	$N_e = 2480;$
- частота обертання валу, хв^{-1}	$n = 88;$
- довжина, мм	$L = 7405;$
- висота, мм	$H = 4388;$
- удільний розхід палива, $\text{г/кВт}\cdot\text{год}$	$q_n = 167;$
- удільний розхід мастила, $\text{г/кВт}\cdot\text{год}$	$q_m = 1,5.$

1.6.6 Проведемо ділення судна на відсіки:

- шпация в середній частині судна знаходиться за формулою Регістру []

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

$$a_0 = 0,002 \cdot 111,0 + 0,48 = 0,802\text{м},$$

прийнято $a_0 = 0,8\text{м}$;

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

$$L_{\text{фор}} = 0,05L = 0,05 \cdot 111,0 = 5,55\text{м};$$

з урахунком того, що на судні – проекті буде встановлений носовий підрулюючий пристрій, приймаємо $L_{\text{фор}} = 9,0\text{м}$;

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

$$L_{\text{ахт}} = \frac{\overline{L_{\text{ахт}}}}{\overline{L}} \cdot L = \frac{6}{136,74} \cdot 111,0 = 4,89\text{м},$$

приймаємо $L_{axm}=6,6$ м, так як у цю відстань повинне вкладуватися ціле число шпацій, яке не перебільшує 0,6 м у форпіку і ахтерпіку;

- довжина машинного відділення знаходиться також за прототипом:

$$L_{MB} = \frac{\overline{L_{MB}}}{\overline{L}} \cdot L = \frac{13,2}{136,74} \cdot 111,0 = 13,9 \text{ м};$$

з рахунком того, що довжина головного двигуна ($L=7,405$ м) збільшилась у порівнянні з прототипом ($L=6,160$ м) на 1,245 м і довжина МВ повинна відповідати цілому числу практичних шпацій ($a=0,8$ м), приймаємо $L_{MB}=15,2$ м.

Згідно вимог Правил [], відстань між двома сусідніми поперечними водонепроникаючими перегородками (довжина одного трюму) не повинна перебільшувати 30 м, а загальна кількість таких перегородок повинна бути не менш 5 (враховуючи форпікову, ахтерпікову та перегородку машинного відділення). Довжина трюмів повинна відповідати цілому числу практичних шпацій. Враховуючи вищевикладене, а також умови розміщення чотирьох контейнерів (20 – футових) по довжині (рисунок 1.2) і те, що між форпіковою перегородкою і перерізом $0,2L=28,8$ м шпація не повинна бути більш 0,7 м, судно – проект буде мати чотири трюми довжиною відповідно

$L_{Tp1} = 26,6$ м (на протязі $0,7 L$ від НП); шпація 700 мм

$L_{Tp2} = 26,4$ м $L_{Tp3} = 26,4$ м шпація 800 мм

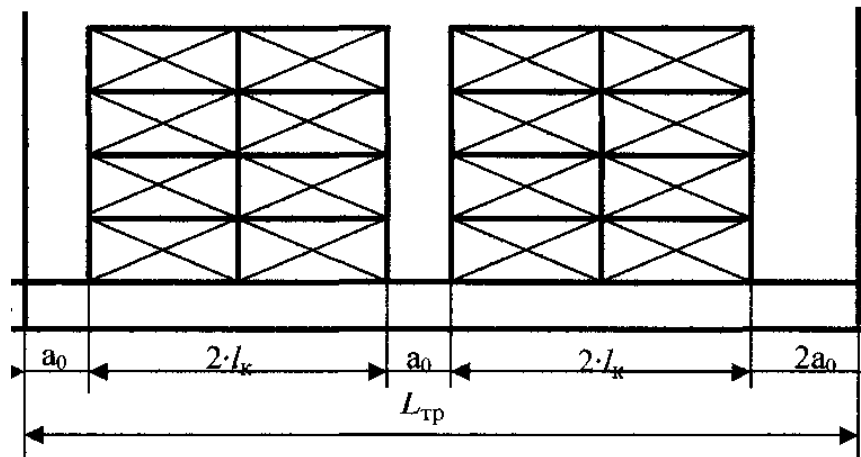


Рисунок 1.3 Розташування контейнерів в трюмі по довжині

1.6.7 Для уточнення мас, які входять до складу дедвейта, проведемо розрахунок часу рейса. Час рейса складається з ходового та стояночного часу, які знаходяться по формулам:

- ходовний час

$$t_x = \frac{0,5 \cdot R}{V_e} + \frac{0,5 \cdot R}{V_{\text{бл}}}, \text{ годин}$$

де $V_e = 14,0$ вуз – експлуатаційна швидкість;

$V_{\text{бл}}$ - швидкість судна в баластному переході, вуз;

$$V_{\text{бл}} = 1,065 V_e = 1,065 \cdot 14,0 = 15,0 \text{ вуз};$$

$R=7000$ миль – дальність плавання;

$$t_6 = \frac{0,5 \cdot 7000}{14,0} + \frac{0,5 \cdot 7000}{15,0} = 526 \text{ год};$$

$$t_x = 22 \text{ діб};$$

- стояночний час

$$t_{cm} = t_6 + t_{\text{дон}} + t_{np}, \text{ діб};$$

де t_6 – час стоянки під вантажними операціями; визначається по формулі:

$$t_6 = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot M_3 \cdot n} + \frac{2 \cdot N}{3 \cdot M_p \cdot n}, \text{ діб};$$

$n=4$ – кількість трюмів, заповнених вантажем;

$N=300$ – кількість контейнерів, яка відповідає вантажопідйомності судна;

3 – кількість змін;

$M_3=160$ конт/змін – інтенсивність проведення завантажування [];

$M_p=240$ конт/змін – інтенсивність проведення розвантажування [];

$$t_6 = \frac{2 \cdot 300}{3 \cdot 160 \cdot 4} + \frac{2 \cdot 300}{3 \cdot 240 \cdot 4} = 0,53 \approx 1 \text{ діб};$$

$t_{\text{дон}}=2$ доби – час для допоміжних операцій та бункерування;

$t_{np}=1$ діб – час простоїв [];

$$t_{cm} = 1,0 + 2 + 1 = 4 \text{ доби}.$$

Визначимо час рейса

$$t_p = t_x + t_c = 22 + 4 = 26 \text{ діб.}$$

Автономність прийнято $A \approx t_p = 26$ діб.

1.6.8 Уточнення мас по розділу “Постачання”

$$P_{\text{пост}} = P'_{\text{пост}} + P''_{\text{пост}}, \text{ Т}$$

де $P'_{\text{пост}} = P_{\text{ек}} = P'_{\text{ек}} + P''_{\text{ек}}, \text{ Т}$

$P'_{\text{ек}} = n_{\text{ек}} \cdot q'_{\text{ек}}$ - маса екіпажу разом з багажем, т;

$q'_{\text{ек}} = 0,13$ т – маса однієї людини з багажем;

$n_{\text{ек}} = 14$ чол – кількість спальних місць (10 членів екіпажу, 2

практикантів, лоцман, представник судновласника) [];

$$P'_{\text{ек}} = 0,13 \cdot 14 = 1,8 \text{ т};$$

$P''_{\text{ек}} = n_{\text{ек}} \cdot q''_{\text{ек}} \cdot A$ - маса провізії та води, т;

$q''_{\text{ек}} = 153,5$ кг/доба – розхід провізії та води на одну людину на добу;

$A = 26$ діб – автономність плавання;

$$P''_{\text{ек}} = 14 \cdot 153,5 \cdot 10^{-3} \cdot 26 = 66,6 \text{ т};$$

тоді

$$P'_{\text{пост}} = 1,8 + 66,6 = 68,4 \text{ т};$$

$P''_{\text{пост}} = P'''_{\text{ек}}$ - маса розхідних матеріалів, т;

$$P'''_{\text{ек}} = 0,04 \cdot \sqrt[3]{\Delta^2} = 0,04 \cdot \sqrt[3]{11922^2} = 28,6 \text{ т};$$

$$P''_{\text{пост}} = 28,6 \text{ т};$$

$$P_{\text{пост}} = 68,4 + 28,6 = 97 \text{ т.}$$

1.6.9 Уточнення мас по розділу “Запаси палива, масла, води”

$$P_n = P'_n + P''_n + P'''_n, \text{ Т}$$

$$P_n = P'_n (1 + a''_n + a'''_n), \text{ Т}$$

де a''_n - коефіцієнт, який враховує запаси мастила;

a'''_n - коефіцієнт, який враховує запаси води.

$$P'_n = K_m \cdot q'_n \cdot N \cdot t_x;$$

$$P_n = K_m \cdot q'_n \cdot N \cdot t_x \cdot (1 + a''_n + a'''_n);$$

де $K_m=1,15$ – коефіцієнт морського запасу;

$N=2480$ кВт – потужність головного двигуна;

$t_x=526$ год – ходовний час;

$q_n = q'_n \cdot (1 + a''_n + a'''_n)$, г/кВт·год – удільний розхід енергетичних запасів на всю СЕУ;

$$q_n = (q'_n + q'_n \cdot a''_n + q'_n \cdot a'''_n) \cdot 1,15 = (1,03 \cdot q'_n + q'_m) \cdot 1,15;$$

$q'_n = 167$ г/кВт·год – удільний розхід палива;

$q'_m = 1,5$ г/кВт·год – удільний розхід мастила;

$$q_n = (1,03 \cdot 167 + 1,5) \cdot 1,15 = 200 \text{ г/кВт·год};$$

$$P_n = 1,15 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 2480 \cdot 526 = 787 \text{ т.}$$

1.6.10 Розрахунок вагового навантаження по розділам, які входять до складу водотоннажності порожнем, виконуємо на ПЕОМ по програмі LS 16.

1.6.11 Водотоннажність судна в другому наближенні визначається за допомогою рівняння мас у диференціальній формі:

$$\Delta_2 = \Delta_1 + \varepsilon,$$

де Δ_1 – водотоннажність судна в першому наближенні, т;

$\varepsilon = M \cdot \sum \Delta P_i$ - прирощення водотоннажності, т;

M – коефіцієнт Нормана;

$\sum \Delta P_i$ - сума прирощень мас по всім розділам навантаження.

Сума прирощень мас визначається за даними таблиці 1.3 та результатами розрахунку програми LS 16. Дані заносимо до таблиці 1.8

Таблиця 1.8 Прирощення мас

Розділ навантаження	P_i^{II} , т	P_i^{I} , т	$\Delta P_i = P_i^{\text{II}} - P_i^{\text{I}}$
01 Корпус	2666	2885	-219
02 Суднові пристрої	234	253	-19
03 Системи	248	269	-20,44

04 Установка енергетична	138,58	141,75	-3,17
05 Електрообладнання	28,49	26,09	2,40
07 Навігаційне озброєння	9,12	8,35	0,77
11 Запас водотоннажності	9,14	8,35	0,77
12 Рідкі вантажі	116,8	106,9	9,84
13 Постачання	2,28	2,09	0,19
Водотоннажність порожнем	3352	3601	-248
16 Запаси палива	931	926	5,0
18 Рідкий баласт	0	0	0
Вантаж перевозимий	7200	7200	0
Дедвейт	8131	8126	5,00
Водотоннажність повна	11483	11727	-243

1.6.12 Коефіцієнт Нормана визначається за допомогою результатів розрахунку програми LS 16 по формулі

$$M = \frac{1}{1 - \frac{P_k + P_{озб} + P_{зв} + P_{пост}}{\Delta} - \frac{2}{3} \cdot \frac{P_{сп} + P_c + P_{ел} + P_{пв} + P_n + P_{еу}}{\Delta}};$$

$$M = \frac{1}{1 - \frac{2666 + 9,12 + 9,14 + 2,28}{11727} - \frac{2}{3} \cdot \frac{234 + 248 + 24,45 + 116 + 2,28 + 38,58}{11727}} = 1,45.$$

1.6.13 Визначим приращення водотоннажності

$$\varepsilon = 1,45 \cdot (-243) = -352 \text{ т.}$$

1.6.14 Визначим водотоннажність судна у другому наближенні

$$\Delta_2 = 11483 - 352 = 11131 \text{ т.}$$

1.6.15 Складемо таблицю навантаження другого наближення. Уточнення мас проведемо за наступними формулами:

- для розділів, маса яких пропорційна Δ

$$P_i = P_i^{II} + P_i^I \cdot \xi;$$

- для розділів, маса яких пропорційна $\Delta^{2/3}$

$$P_i = P_i^{II} + \frac{2}{3} \cdot P_i^I \cdot \xi;$$

де P_i^I, P_i^{II} - маси, знайдені за розрахунком у першому та другому наближенні, відповідно;

$$\xi = \frac{\varepsilon}{\Delta_2} - \text{відношення прирощення водотоннажності до водотоннажності в}$$

другому наближенні;

$$\xi = \frac{-352}{11727} = -0,03.$$

Розрахунок приведений в таблиці 1.9

Таблиця 1.9 Навантаження у другому наближенні

Розділ навантаження	P_i^{II} , т	P_i^I , т	ΔP_i , т	P_i , т
01 Корпус	2666	2885	-86,6	2579
02 Суднові пристрої	234	253	-5,09	229
03 Системи	248	269	-5,41	242,59
04 Установка енергетична	38,58	41,75	-0,84	37,7
05 Електрообладнання	28,49	26,09	-0,52	27,97
07 Навігаційне озброєння	9,12	8,35	-0,25	8,87
11 Запас водотоннажності	9,14	8,35	-0,25	8,89
12 Рідкі вантажі	116,8	106,98	-2,15	115
13 Постачання	2,28	2,09	-0,06	2,22
Водотоннажність порожнем	3352	3601	-101,1	3251
16 Запаси палива	931	926	-18,61	912
18 Рідкий баласт	0	0	0,00	0,00
Вантаж перевозимий	7200	7200	0,00	0,00
Дедвейт	8131	8126	-139	7992
Водотоннажність повна	11483	11727	-240	11243

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

$$C_{B_2} = C_{B_1} = 0,791;$$

$$C_{M_2} = C_{M_1} = 0,932;$$

$$C_{W_2} = C_{W_1} = 0,864.$$

Коефіцієнт подібності визначається за формулою

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} = \sqrt[3]{\frac{11243}{11483}} = 0,971;$$

$$L_2 = L_1 \cdot \lambda = 111,0 \cdot 0,971 = 107,78 \text{ м};$$

$$B_2 = B_1 \cdot \lambda = 18,78 \cdot 0,971 = 18,21 \text{ м};$$

$$D_2 = \frac{D_1}{\lambda^2} = \frac{10,09}{0,971^2} = 10,72 \text{ м};$$

$$d_2 = d_1 \cdot \lambda = 6,82 \cdot 0,971 = 6,62 \text{ м};$$

$$\Delta_2 = K_{\text{вч}} \cdot \gamma \cdot C_{B_2} \cdot L_2 \cdot B_2 \cdot d_2 = 1,03 \cdot 1,025 \cdot 0,854 \cdot 107,78 \cdot 18,21 \cdot 6,62 = 11250 \text{ т}.$$

Повинна виконуватися умова

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

$$\left| \frac{11250 - 111727}{11250} \right| = 0,03 \leq 0,03.$$

Так як умова виконується і різниця між значеннями водотоннажності у першому і другому наближеннях незначна, то немає необхідності виконувати третє наближення.

Знайдені у другому наближенні головні розмірювання вважаємо кінцевими:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| - довжина між перпендикулярами | $L=107,78 \text{ м};$ |
| - ширина | $B=18,21 \text{ м};$ |
| - висота борту | $D=10,72 \text{ м};$ |
| - осадка | $d=6,62 \text{ м};$ |

- коефіцієнт повноти водотоннажності $C_B=0,791$;
- коефіцієнт повноти мідель – шпангоута $C_M=0,932$;
- коефіцієнт повноти ВВЛ $C_w=0,864$.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ

2.1 Розробка теоретичного креслення

2.1.1 Розрахунок ординат теоретичного креслення

На підставі вибраних головних розмірювань проводиться розрахунок ординат теоретичного креслення на ПЕОМ за програмою FreeShip+.

Результати розрахунку приведені в таблиці 2.1, і за ними будується теоретичне креслення.

2.1.2 Побудова обводів форштевня та ахтерштевня

Так як судно, що проектується, має невелику швидкість ходу, то доречно вибрати носову кінцевість з бульбом; геометричні характеристики бульба розраховані на підставі судна – прототипу та статистичних узагальнень експериментальних досліджень.

Кут нахилу надводної частини форштевня до носового перпендикуляра $\alpha=50^\circ$.

Характеристиками носового бульба є:

- відстань від носового перпендикуляра судна до передньої точки бульба:

$$L_{нб} = L_{нт} \cdot l_{нб},$$

де $l_{нб} = 0,051 - 0,115 \cdot Fr \pm 0,006$ - найбільша довжина бульба;

$$L_{ia} = 107,78 \cdot (0,051 - 0,115 \cdot 0,18 + 0,006) = 3,33 \text{ м};$$

Приймаємо конструктивно $L_{нб} = 2,82 \text{ м}$

- найбільша ширина бульба:

$$B_{нб} = B \cdot v_{нб},$$

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

$$B_{нб} = 18,21 \cdot 0,17 = 2,8 \text{ м};$$

- найбільша висота шпангоута найбільшої площі бульба:

$$H_{нб} = 0,93 \cdot d = 0,93 \cdot 6,62 = 5,7 \text{ м};$$

Таблиця 2.1 Ординати теоретичного креслення

осадка, м.								
№ шп.	0	1,32	2,64	3,97	5,29	6,62	9,26	10,52
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,80	6,07
1	0,00	0,71	0,82	1,08	2,32	4,10	5,78	6,62
2	0,66	2,86	3,51	4,32	5,39	6,56	7,68	8,15
3	3,12	5,33	6,18	6,85	7,53	8,05	8,62	8,90
4	5,14	7,27	8,04	8,42	8,62	8,76	8,97	9,05
5	6,52	8,40	8,85	9,00	8,99	9,01	9,06	9,07
6	7,07	8,86	9,00	9,03	9,07	9,08	9,11	9,11
7	7,12	9,00	9,07	9,10	9,11	9,11	9,11	9,11
8	7,73	9,07	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11
9	7,88	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11
10...	7,87	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11
...24	7,75	9,09	9,10	9,11	9,11	9,11	9,11	9,11
25	7,55	9,00	9,07	9,10	9,11	9,11	9,11	9,11
26	7,25	8,89	9,00	9,06	9,08	9,09	9,10	9,11
27	6,89	8,69	8,88	8,95	8,97	8,97	8,98	9,03
28	6,47	8,45	8,69	8,70	8,69	8,67	8,70	8,85
29	5,80	8,08	8,32	8,31	8,22	8,22	8,33	8,54
30	5,02	7,33	7,55	7,49	7,41	7,50	7,69	8,09
31	3,86	6,09	6,24	6,11	6,16	6,40	6,80	7,29
32	2,36	4,36	4,38	4,07	4,19	4,53	5,20	5,86
33	0,00	2,29	2,13	1,37	0,40	0,00	1,95	3,33

- висота передньої точки бульба від основної площини:

$$H_{нбп} = h_{нб} \cdot d;$$

де $h_{нб} = 0,53$, тоді

$$H_{нбп} = 0,53 \cdot 6,1 = 3,2 \text{ м};$$

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

$$\psi_{іа} = 34 - 105 \cdot Fr = 34 - 105 \cdot 0,18 = 8,4 \text{ град.}$$

Прийнято $\psi_{нб} = 17 \text{ град.}$

Корма судна, що проектується, транцева, будується пропорційно судну-прототипу.

Обводи штевнів зображені на рисунку 2.1.

2.2 Розрахунок мінімальної висоти надводного борту

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

Розрахунок складається в визначенні табличного значення базисного надводного борту та внесення до цієї величини поправок, які враховують відхилення геометричних характеристик проектуємого судна від стандартного.

В Правилах прийняті наступні визначення:

- розрахункова висота борту

$$D_p = D = 10,72 \text{ м};$$

- $B_p = B = 18,21 \text{ м};$

- розрахункова довжина

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

$$\text{де } L_{p_1} = L + \Delta l_n;$$

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

$$\Delta l_n = 2,9 \text{ м}, \quad \Delta l_k = 3,0 \text{ м} \quad (\text{рис. 2.1});$$

$$L_{p_1} = 107,78 + 2,9 = 110,68 \text{ м};$$

$$L_{p_2} = 0,96(110,68 + 2,9 + 3,0) = 116,2 \text{ м};$$

- розрахункова осадка: $d_p = 0,85 \cdot D_p,$

$$d_p = 0,85 \cdot 10,72 = 9,11 \text{ м};$$

- коефіцієнт загальної повноти

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

де V_p - об'ємна водотоннажність без урахування виступаючих частин при розрахунковій осадці d_p , м³, яка визначається за формулою

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

$V_{BBЛ}$ - об'ємна водотоннажність до ВВЛ, м³;

$$V_{BBЛ} = \frac{\Delta}{K \cdot \gamma} = \frac{10048}{1,03 \cdot 1,025} = 9517 \text{ м}^3;$$

тоді

$$V_p = 9517 \cdot \left(\frac{9,11}{6,62} \right)^{0,854 / 0,791} = 13392 \text{ м}^3;$$

$$C_{Bp} = \frac{13392}{116,2 \cdot 18,2 \cdot 9,11} = 0,792.$$

Подальші розрахунки проведемо згідно п.4.4 [].

Мінімальний надводний борт знаходиться за формулою:

$$F_{\min} = (F_0 + \Delta'_2) \cdot X_g + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4, \text{ мм}$$

де F_0 - базисний надводний борт для розрахункової довжини; визначається за табл. 4.1.3.2 $F_0 = 1376$ мм;

X_g - поправка на відступ розрахункового коефіцієнта загальної повноти проектуємого судна C_{Bp} від стандартного значення, яке дорівнює 0,68; так як $C_{Bp} = 0,792 \geq 0,68$ тоді

$$X_g = \frac{C_{Bp} + 0,68}{1,36} = \frac{0,792 + 0,68}{1,36} = 1,008;$$

Δ_1 - поправка на висоту борту, мм;

так як розрахункова висота борту D_p не перевищує відношення

$$\frac{L}{15} = \frac{116,2}{15} = 7,8, \text{ то надводний борт не треба збільшувати на поправку.}$$

Δ_2 - відрахування на надбудови і ящики; вводиться для суден різного типу; $\Delta_2 = 1070$ мм – для суден довжиною 115 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 ;

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

згідно табл. 4.4.6.2 – 2 $K_H = 0,063$, тоді

$$\Delta_2 = 1070 \cdot 0,063 = 67 \text{ мм};$$

Δ_3 - поправка на відхилення від стандартного профілю сідлуватості; профіль стандартної сідлуватості визначається ординатами за даними табл. 4.3.2, ординати профілю стандартної сідлуватості та коефіцієнти f_i , розраховані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Ординати профілю стандартної сідлуватості та коефіцієнти f_i

Положення ординати		Ордината Z_i , мм	f	$Z_i \cdot f$
Кормова половина	Кормовий перпендикуляр	25(L/3+10)=1209	1	1209
	1/6 L від КП	11,1(L/3+10)=537	3	1611
	1/3 L від КП	2,8(L/3+10)=135	3	406
	Середина довжини судна	0	1	0
Носова половина	Середина довжини судна	0	1	0
	1/3 L від НП	5,6(L/3+10)=271	3	812
	1/6 L від НП	22,2(L/3+10)=1073	3	3221
	Носовий перпендикуляр	50(L/3+10)=2418	1	2418

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

$$\Delta C_H = \frac{\sum Z_{icc}^H \cdot f_i - \sum Z_{i\phi}^H \cdot f_i}{8} = \frac{2418 + 3221 + 812}{8} = 806 \text{ мм};$$

- недолік сідлуватості в кормі

$$\Delta C_K = \frac{\sum Z_{icc}^K \cdot f_i - \sum Z_{i\phi}^K \cdot f_i}{8} = \frac{1209 + 1611 + 406}{8} = 403 \text{ мм};$$

- недолік сідлуватості по судну взагалі

$$\Delta C = \frac{\Delta C_H + \Delta C_K}{2} = \frac{806 + 403}{2} = 604 \text{ мм}.$$

Поправка Δ_3 визначається за формулою:

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

де $S = 21,6$ м – сумарна довжина закритих надбудов;

$$\Delta_3 = 604 \left(0,75 - \frac{21,6}{2 \cdot 116,1} \right) = 396 \text{ мм.}$$

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

Таким чином мінімальний надводний борт буде дорівнювати

$$F_{\min} = (1376 + 0) \cdot 1,008 + 67 + 0 + 396 + 0 = 1794 \text{ мм.}$$

Максимально допустима осадка визначається за формулою:

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

$$d_{\max} = 10,72 - 1,794 = 8,93 \text{ м;}$$

$$d_{\text{ВВЛ}} = 6,1 \text{ м.}$$

Таким чином $d_{\max} \geq d_{\text{ВВЛ}}$, тобто 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 висоти, що визначається за формулою:

$$F_{\min H} \geq 56 \cdot L \left(1 - \frac{L}{500} \right) \cdot \frac{1,36}{C_{Bp} + 0,68};$$

$$F_{\min H} \geq 56 \cdot 107,78 \left(1 - \frac{107,78}{500} \right) \cdot \frac{1,36}{0,792 + 0,68} = 3990 \text{ мм;}$$

$$D_H = d + F_{\min H} = 6100 + 3990 = 10090 \text{ мм.}$$

Фактична висота борту на носовому перпендикулярі складає

$$D_H = 10720 > 10090$$

Таким чином, висота борту судна, що проектується до верхньої палуби більше, ніж потрібна за вимогами Регістру.

2.3 Розрахунок періодів хитавиці

Розрахунок проводиться для судна в повнім вантажу зі 100% запасів. Період власних коливань судна при бортовій хитавиці визначається за формулою:

$$\tau = 0,58 \cdot B \cdot \sqrt[3]{\left[1 + 4 \cdot \left(Z_g^2 / D^2\right) / \sqrt{h_0}\right]}, \quad (2.1)$$

де $B=18,21$ - ширина судна, м;

$D=10,72$ - висота борту, м;

Z_g - апліката центру тяжіння судна, м;

$Z_g = 7,6$ м;

Z_c - апліката центру величини судна, м;

$$Z_c = \left(0,75 - 0,25 \cdot \frac{C_{\epsilon}}{C_w}\right) \cdot d,$$

де $C_B = 0,791$ - коефіцієнт загальної повноти;

$C_W=0,864$ – коефіцієнт повноти ватерлінії;

$d=6,62$ – осадка, м;

$$Z_c = \left(0,75 - 0,25 \cdot \frac{0,791}{0,864}\right) 6,62 = 3,52 \text{ м};$$

h_0 - поперечна метацентрична висота, м;

$$h_0 = r + Z_c - Z_g, \text{ м} \quad (2.2)$$

де r - поперечний метацентричний радіус, м;

$$r = 1,05 \cdot \frac{C_w^2 \cdot B^2}{12 \cdot d \cdot C_{\epsilon}},$$

де $C_B = 0,791$ – коефіцієнт загальної повноти;

$C_w = 0,864$ – коефіцієнт повноти ВВЛ;

$d = 6,62$ м – осадка судна;

$B = 18,21$ м – ширина судна;

$$r = 1,05 \frac{0,864^2 \cdot 18,21^2}{12 \cdot 6,62 \cdot 0,791} = 4,29 \text{ м}$$

$$h_0 = 4,29 + 3,52 - 7,6 = 0,22 \text{ м};$$

$$\tau = 0,58 \cdot 18,21 \left\{ \sqrt{1 + 4 \left(\frac{7,6^2}{10,72^2} \right) / 0,22} \right\} = 24,4 \text{ с.}$$

Період власних коливань при кильовій хитавиці визначається за формулою:

$$\tau_{\varphi} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{g} \cdot \frac{C_B}{C_W} \cdot d \cdot \left(1 + \frac{B}{(3 - 2 \cdot C_W) \cdot (3 - C_W) \cdot d} \right)}, \quad (2.3)$$

де $C_B = 0,791$ – коефіцієнт загальної повноти;

$C_W = 0,864$ – коефіцієнт повноти ВВЛ;

$d = 6,62 \text{ м}$ – осадка судна;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$$\tau_{\varphi} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1}{9,81} \cdot \frac{0,791}{0,864} \cdot 6,62 \cdot \left(1 + \frac{18,21}{(3 - 2 \cdot 0,864) \cdot (3 - 0,864) \cdot 6,62} \right)} = 14,5 \text{ с.}$$

Період власних коливань при вертикальній хитавиці визначається за формулою:

$$\tau_{\psi} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{g} \cdot \frac{C_B}{C_W} \cdot d \cdot \left(1 + \frac{0,85 \cdot C_W \cdot B}{(3 - 2 \cdot C_W) \cdot (3 - C_W) \cdot d} \right)}, \quad (2.4)$$

$$\tau_{\psi} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{1}{9,81} \cdot \frac{0,791}{0,864} \cdot 6,62 \cdot \left(1 + \frac{0,85 \cdot 0,791 \cdot 18,21}{(3 - 2 \cdot 0,864) \cdot (3 - 0,864) \cdot 6,62} \right)} = 6,7 \text{ с.}$$

2.4 Розрахунок ходовності судна

Ходовність – це здатність судна рухатися із заданою швидкістю під впливом рушійної сили, яка створюється судновими рушіями. Величина цієї сили визначається опором, який надає навколишнє середовище переміщенню судна. Величина сили опору залежить від головних розмірювань судна, форми його обводів, характеру і стану його обшивки, швидкості та режиму руху, від параметрів посадки судна та умов його експлуатації.

2.4.1. Розрахунок гребного гвинта для вибраного головного двигуна

Розрахунок виконується на ПЕОМ за допомогою програми FreeShip+. Результати розрахунків приведені в таблиці 2.4. За результатами розрахунків будується графік залежності діаметру гвинта та потрібної потужності від частоти обертання гребного гвинта, представлений на рисунок 2.2.

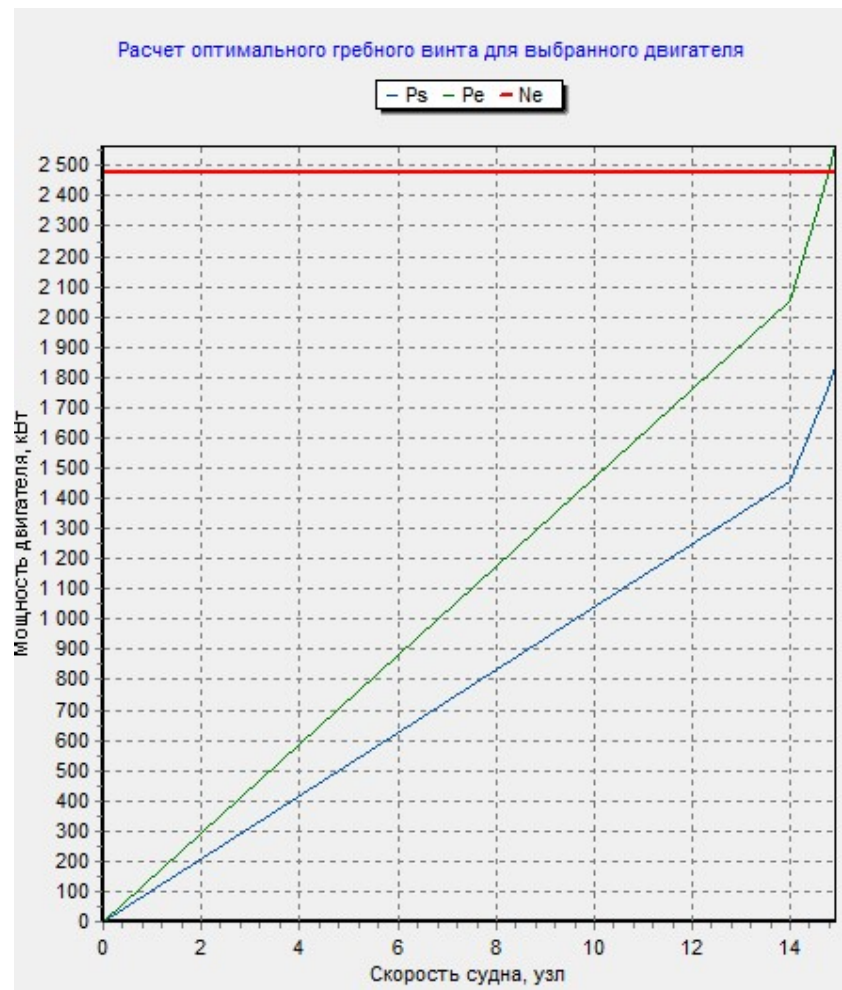


Рисунок 2.2 Розрахунок елементів гребного гвинта для обраного двигуна

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВМІСТКОСТІ ТРЮМІВ ТА ЦИСТЕРН

3.1 Початкове розставлення перегородок

Метою розставлення перегородок є ділення судна на відсіки таким чином, щоб судно мало розрахункову посадку в повнім вантажі, а також прийнятні умови роботи гребного гвинта в баластному переході.

Початкове розставлення перегородок виконуємо виходячи з проведеного раніш ділення судна на відсіки і специфіки перевозимого вантажу (генеральний вантаж).

Довжина машинного відділення $L_{мв} = 13,60$ м.

Кількість поперечних перегородок, яку прийнято в початковому розставленні перегородок, дорівнює 5.

Довжина шпациї в середній частині судна 800 мм, у форпіку і ахтерпіку – 600 мм, на протязі $0,2L - 700$ мм.

Довжина форпіку з урахуванням того, що на судні буде встановлений носовий підрулюючий пристрій, дорівнює $L_{фор} = 9,0$ м; форпікова перегородка розташована на 15 шп.

Довжина трюмів: №1 – 26,6 м, №2 – 26,4 м, №3 – 26,4 м.

Район розташування трюмів: №1 – 91-128 шп; №2 – 58-91 шп; №3 – 25-58 шп;

Довжина ахтерпіку $L_{ахт} = 7,9$ м, ахтерпікова перегородка розташована на 8 шп.

Висота подвійного дна визначається за формулою Регістру:

$$(h_{но})_{\min} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{107,78 - 40}{570} + 0,04 \cdot 18,21 + 3,5 \cdot \frac{7,97}{1107,78} = 1,30 \text{ м};$$

приймаємо $h_{но} = 1,30$ м.

Ширина вантажних люків дорівнює ширині трюму судна: $b_{вл} = B_{тр} = 15,00$ м.

Висота комінгса люків приймається згідно судна – прототипу: $h_{ком} = 1,5$ м.

3.2 Побудова епюри ємності

Епюра ємності – це креслення, що показує розподіл об'ємів приміщень по довжині судна. За епюрою ємності проводиться перевірка відповідності фактичних об'ємів приміщень необхідним.

Епюра ємності будується за даними теоретичного креслення, схемою повздовжнього перерізу судна та масштабу Бонжана.

Ординатами епюри ємності є площі шпангоутів до верхньої палуби (палуби бака та палуби юта).

Площі, що заключені між лініями перегородок і палуб, відповідають теоретичним об'ємам цих відсіків.

Побудову епюри ємності доречно виконувати у наступній послідовності:

- на масштабі Бонжана наносимо ватерлінію, яка відповідає лінії другого дна;
- з масштабу Бонжана знімаємо і заносимо до табл. 3.1 площі кожного шпангоута на двох ватерлініях: при $Z_1=h_{nd}$, $Z_2=h_{ни}$ та $Z_3=D$, де D – відстань від основної площини (ОП) до лінії верхньої палуби (так як сидловатість відсутня, то ця відстань буде однаковою на всіх шпангоутах).

Таблиця 3.1 Площі шпангоутів

Номери теоретичних шпангоутів	Площі шпангоутів, м ²		
	Друге дно $Z_1=1,3$ м	Нижня палуба $Z_2=6,3$ м	Верхня палуба $Z_3=10,72$ м
0	0,4	12,77	28,1
1	2,84	33,95	74,68
2	8,36	60,65	133,42
3	14,3	83,15	182,92
4	19,34	100,85	221,86
5	22,22	108,09	237,8
6	23,64	110,91	244,0
7	24,34	112,35	247,16
8	24,34	112,35	247,16
9	24,34	112,35	247,16
10	24,34	112,35	247,16
11	24,34	112,35	247,16
12	24,34	112,35	247,16
13	24,34	112,35	247,16
14	24,34	112,35	247,16
15	24,34	112,35	247,16
16	24,34	112,35	247,16
17	24,34	112,35	247,16
18	24,34	112,35	247,16
19	24,34	112,35	247,16
20	24,34	112,35	247,16
21	24,34	112,35	247,16
22	24,34	112,35	247,16
23	24,34	112,35	247,16
24	24,34	112,35	247,16
25	24,34	112,35	247,16
26	24,34	112,35	247,16
27	24,34	112,35	247,16
28	23,08	110,40	242,88
29	20,84	106,35	233,98
30	15,92	97,30	214,06
31	9,72	84,66	186,26
32	5,3	68,56	150,84

Продовження таблиці 3.1

Номери теоретичних шпангоутів	Площі шпангоутів, м ²		
	Друге дно $Z_1=1,2$ м	Нижня палуба $Z_2=6,3$ м	Верхня палуба $Z_3=10,72$ м
33	2,6	49,06	107,94
34	0	29,71	65,36

3.3 Розрахунок теоретичних об'ємів відсіків та координат їхніх центрів тяжіння

Розрахунок об'ємів всіх приміщень і абсцис їх ЦТ можливо здійснити в табличній формі (таблиця 3.2). В першу колонку таблиці заносяться номери та найменування приміщень відповідно до їх позначення на епюрі ємності, у другу записуються довжини приміщень, взяті зі схеми повздовжнього переріза, в третю – абсциси кормової перегородки кожного приміщення в загальносудновій системі координат, розраховані за формулою $x_n = L/2 - \sum l$, де $\sum l$ - сума всіх довжин відсіків, розташованих в ніс від кормової перегородки розглядуємого відсіку.

До 4, 5, 6 – ї колонки заносяться площі перерізів кожного приміщення на кормовій перегородці (S_1), на середині довжини (S_2) і на носовій перегородці (S_3), зняті з епюри ємності. Під позначенням Σ_1 у сьомій колонці вважається сума ($S_1+4S_2+S_3$). У восьмій колонці $\Sigma_2=2S_2+S_3$. У дев'яту колонку записується теоретичний об'єм приміщень, розрахований за формулою:

$$S = l(S_1 + 4S_2 + S_3)/6,$$

а до десятої – абсциса ЦТ об'єму приміщення, розрахована за формулою:

$$x_s = l(2S_2 + S_3)/(S_1 + 4S_2 + S_3).$$

До одинадцятої колонки заносяться абсциси ЦТ приміщень у загальносудновій системі координат, визначені за формулою:

$$X_v = L/2 - \sum l + x_s.$$

Таблиця 3.2 Об'єми приміщень та їх центри тяжіння

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Довжина відсіку l , м	Відстань кормової перегородки від міделя, м	Площі, м ²			Σ_1	Σ_2	Об'єм прим. $\Sigma_1/6$, м ³	$x_s = \Sigma_2/\Sigma_1$, м	$X_v = x_s + \Sigma l$, м
			S_1	S_2	S_3					
						м ²				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Форпик	7,2	47,0	66,0	37,2	0	214,8	74,4	258	2,08	48,8
2. Трюм №1 з урахуванням комінгсу люку	26,6	20,4	107,1	77,9	24,4	443,7	180,2	1967	10,8	38,1
3. Твіндек №1	26,6	20,4	64,9	74,0	41,6	402,5	189,6	1784	12,5	39,8
4. Трюм №2 з урахуванням комінгсу люку	26,4	6,0	110,8	112,1	107,1	666,3	331,5	2935	13,1	40,6
5. Твіндек №2	26,4	6,0	65,9	78,9	67,8	449,3	225,6	1977	13,2	40,7
6. Трюм №3 з урахуванням комінгсу люку	26,4	30,0	69,2	98,9	110,8	575,6	308,6	2533	14,1	41,9
7. Твіндек №3	26,4	30,0	56,9	78,4	65,1	435,6	221,9	1917	13,4	40,9
8. МКО	13,6	44,4	43,3	89,1	125,9	525,6	304,1	1191	7,86	48,15
9 (10) Днищові цистерни МКО ЛБ (ПрБ)	13,6	44,4	1,46	2,7	5,29	17,55	10,69	39,8	8,28	48,6
11(12) Днищові цистерни Тр№3	26,4	30,0	5,29	10,7	13,8	61,89	32,5	272	13,9	41,4

Продовження таблиці 3.2

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Довжина відсіку l , м	Відстань кормової перегородки від міделя, м	Площі, м ²			Σ_1	Σ_2	Об'єм прим. $\Sigma_1/6$, м ³	$x_s=\Sigma_2/\Sigma_1$, м	$X_v=x_s+\Sigma l$, м
			S ₁	S ₂	S ₃	м ²				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13(14) Днищові цистерни Тр№2	26,4	6,0	13,8	14,4	12,8	84,2	41,6	370	13,0	40,1
15(16) Днищові цистерни Тр№1	26,6	6,0	12,8	8,7	2,0	50,28	19,74	223	10,4	37,8
17 Ахтерпik	7,9	53,4	0	18,6	43,3	117,7	80,5	155	5,40	51,4

Розрахунок аплікат ЦТ приміщень можливо здійснити в табличній формі (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 Розрахунок аплікат ЦТ приміщень

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Висота приміщень h	Сума висот нижніх приміщень Σh	Ординати			$\Sigma_1 = y_1 + 4y_2 + y_3$	$\Sigma_2 = 2y_2 + y_3$	$Z_s = h\Sigma_2/\Sigma_1$	$Z_v = Z_s + \Sigma h$
			y_1	y_2	y_3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 Трюм №1	6,3	1,3	4,8	6,1	6,76	35,96	18,96	2,95	4,05
4 Трюм №2	6,3	1,3	8,24	9,26	9,47	54,75	27,99	2,86	3,96
6 Трюм №3	6,3	1,3	8,75	9,42	9,47	55,9	28,31	2,83	3,93

Продовження таблиці 3.3

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Висота приміщень h	Сума висот нижніх приміщень Σh	Ординати			$\Sigma_1 = y_1 + 4y_2 + y_3$	$\Sigma_2 = 2y_2 + y_3$	$Z_s = h\Sigma_2 / \Sigma_1$	$Z_v = Z_s + \Sigma h$
			y_1	y_2	y_3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7 Бортові цистерни трюма №1 ПрБ	6,3	1,3	4,8	6,1	6,76	35,96	18,96	2,95	4,0 5
8 Бортові цистерни трюма №1 ЛБ	6,3	1,3	4,8	6,1	6,76	35,96	18,96	2,95	4,0 5
9 Бортові цистерни трюма №2 ПрБ	6,3	1,3	8,24	9,26	9,47	54,75	27,99	2,86	3,9 6
10 Бортові цистерни трюма №2 ЛБ	6,3	1,3	8,24	9,26	9,47	54,75	27,99	2,86	3,9 6
11 Бортові цистерни трюма №3 ПрБ	6,3	1,3	8,75	9,42	9,47	55,9	28,31	2,83	3,9 3
12 Бортові цистерни трюма №3 ЛБ	6,3	1,3	8,75	9,42	9,47	55,9	28,31	2,83	3,9 3
14 Бортові цистерни трюма №2 ЛБ	6,3	1,3	8,24	9,26	9,47	54,75	27,99	2,86	3,9 6
15 Цистерни подвійного дна в тр. №1 ПрБ	1,3	0	4,8	6,1	6,76	35,96	18,96	0,7	0,7
16 Цистерни подвійного дна в тр. №1 ЛБ	1,3	0	4,8	6,1	6,76	35,96	18,96	0,7	0,7
17 Цистерни подвійного дна в тр. №2 ПрБ	1,3	0	8,24	9,26	9,47	54,75	27,99	0,67	0,6 7
18 Цистерни подвійного дна в тр. №2 ЛБ	1,3	0	8,24	9,2 6	9,47	54,75	27,99	0,67	0, 67
19 Цистерни подвійного дна в тр. №3 ПрБ	1,3	0	8,75	9,4 2	9,47	55,9	28,31	0,67	0, 67
20 Цистерни подвійного дна в тр. №3 ЛБ	1,3	0	8,75	9,4 2	9,47	55,9	28,31	0,67	0, 67

Продовження таблиці 3.3

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Висота приміщень h	Сума висот нижніх приміщень Σh	Ординати			$\Sigma_1 = y_1 + 4y_2 + y_3$	$\Sigma_2 = 2y_2 + y_3$	$Z_s = h\Sigma_2/\Sigma_1$	$Z_v = Z_s + \Sigma h$
			y_1	y_2	y_3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23 Цистерни подвійного дна в МВ ПрБ	1,3	0	0,32	2,18	2,96	12	7,3	0,79	0,79
24 Цистерни подвійного дна в МВ ЛБ	1,3	0	0,32	2,18	2,96	12	7,3	0,79	0,79

3.3 Перевірка достатності об'ємів

Для всіх приміщень, відображених на епюрі ємності, в таблиці 3.2 підраховані теоретичні об'єми. Щоб перевірити їх достатність для розміщення вантажу і запасів, необхідно розрахувати місткість за сипучим вантажем, а також стосову місткість.

Перевірка достатності об'ємів виконується в табличній формі (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 Перевірка достатності об'ємів

Найменування приміщень та їх номери за епюрою ємності	Район розташування, шп.	Теоре – тичний об'єм, м ³	Місткість за сипу – чим ван – тажем, м ³	Стосова місткість, м ³	Удільна погрузочна кубатура, м ³ /т	Розміщаєма маса вантажу, т
1	2	3	4	5	6	7
25 Об'єм між комінгсами люку №1	15 – 53	637,5	638	612	2,0	306
2 Трюм №1	15 – 53	3051	2990	2870		1435
26 Об'єм між комінгсами люку №2	53 – 88	722,6	723	694		347
3 Трюм №2	53 – 88	3029	2895	2779		1390
27 Об'єм між комінгсами люку №3	91 – 127	743,2	723	694		347
5 Трюм №3	91 – 127	3029	2895	2779		1390
Взагалі по судну		11212	10863	10428	–	5215

З таблиці 3.4 видно, що об'єму вантажних приміщень недостатньо для перевезення вантажу масою $P_6=7200$ т. Таким чином судно, що проектується, буде мати палубний вантаж. Розташування контейнерів у трюмі приймаємо згідно зі схемою розташування контейнерів судна – прототипу; тоді кількість контейнерів у трюмах складе $n_m = 474$ конт. (маса 5214 т), на верхній палубі $n_n = 180$ конт. (маса 1980 т). Доля палубного вантажу складає 27,5%.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ ЦВ ТА УДИФФЕРЕНТУВАННЯ СУДНА

Удиферентування – це операція приведення центра тяжіння на одну вертикаль із центром величини при розрахунковій посадці судна.

Приведення центра тяжіння (ЦТ) та центра величини (ЦВ) на одну вертикаль здійснюється переміщенням вантажів по судну. У деяких випадках удиферентування може виконуватися шляхом змінювання раніш прийнятого архітектурно – конструктивного типу судна (наприклад, подовження бака для створювання додаткового твіндеку над першим трюмом). І тільки в крайніх випадках застосовується збільшення раніш прийнятої довжини судна з відповідним змінюванням інших його елементів і коректуванням теоретичного креслення.

В дипломному проекті удиферентування виконується лише для одного випадку завантаження судна в повнім вантажі зі 100% запасів;

4.1 Визначення координат ЦТ для окремих розділів навантаження

4.1.1 Маса за розділом “Екіпаж, провізія, вода” береться із таблиці навантаження, складеної при визначенні головних елементів судна. Враховуючи невелику роль цього розділу в загальнім балансі навантаження, координати ЦТ можна приблизно визначити за формулами:

$$X_{ек} = 0,3L_n ; Z_{ек} = D ,$$

де L_n – довжина надбудови, м; $L_n=7,9$ м;

D – висота борту, м, $D=10,72$ м;

$$X_{ек} = 0,3 \cdot 7,9 = 2,37 \text{ м};$$

$$Z_{ек} = 10,72 \text{ м.}$$

В формулі $X_{ек}$ відраховується від кормового торця надбудови. Для подальших розрахунків прийmemo цю координату відраховану від міделя, $X_{ек} = -55,1 \text{ м.}$

4.1.2 Розрахунок координат ЦТ перевозимого вантажу виконується за таблицею 4.1 із використанням даних таблиць 3.1, 3.2 та 3.3.

Таблиця 4.1 Розрахунок координат ЦТ перевозимого вантажу

Вантажні приміщення та їх нумерація за епюрою ємності	Маса вантажу, т (з табл. 3.4)	Координати ЦТ, м		Моменти, т·м	
		X (з табл. 3.2)	Z (з табл. 3.3)	M _x	M _z
25 Об'єм між комінгсами люку №1 2 Трюм №1	1741	38,1	4,05	66332	7051
26 Об'єм між комінгсами люку №2 3 Трюм №2	1737	40,6	3,96	70522	6879
27 Об'єм між комінгсами люку №3 5 Трюм №3	1737	-87,0	3,93	-129150	6826
Взагалі в трюмі	5214	-	-	7704	19625
На верхній палубі	1980	-8,3	10,04	-2376	16519
Взагалі по судну	$\Sigma P_{\epsilon} = 7200$	$X_{\epsilon} = 0,74$	$Z_{\epsilon} = 5,02$	5328	36144

Координати ЦТ всього вантажу визначаються за відомими формулами статички твердого тіла:

$$X_{\epsilon} = \sum M_x / \sum P_{\epsilon} ; Z_{\epsilon} = \sum M_z / \sum P_{\epsilon} .$$

4.1.3 Визначення координат ЦТ енергетичних запасів

Приблизне положення ЦТ паливних цистерн знаходиться з рівняння статичних моментів.

При заданій посадці судна виконується рівність $X_g = X_c$. Величина X_c відома до початку удиферентування ($X_c = -0,1 \text{ м}$), таким чином можна визначити статичний момент маси судна відносно площини міделя:

$M = \Delta \cdot X_c$. З іншого боку, статичний момент можна виразити через маси розділів навантаження:

$$M = \Delta_{пор} X_{пор} + P_{ек} X_{ек} + P_{в} X_{в} + P_n X_n + P_{б} X_{б}.$$

Дорівнюючи праві частини обох рівностей, маємо рівняння

$$\Delta X_c - \Delta_{пор} X_{пор} - P_{ек} X_{ек} - P_{в} X_{в} - P_n X_n - P_{б} X_{б} = 0.$$

Звідси знаходиться абсциса ЦТ паливних цистерн X_n :

$$X_n = (\Delta X_c - \Delta_{пор} X_{пор} - P_{ек} X_{ек} - P_{в} X_{в} - P_{б} X_{б}) / P_n;$$

$$X_n = (10428 \cdot (-0,1) - 5719 \cdot (-14,42) - 97 \cdot (-55,1) - 7200 \cdot 0,74) / 912;$$

$$X_n = -5,96 \text{ м.}$$

Тепер потрібно розмістити цистерни запасів палива, мастила та води таким чином, щоб абсциса їх сукупного центру тяжіння дорівнювала розрахованій вище.

В машинному відділенні (МВ) повинен розміщатися, як мінімум, трьохдобовий запас палива і весь запас мастила. Звичайно в МВ розміщують і запас технічної води, що обумовлене тим, що її запаси поповнюються від суднової опріснювальної установки.

Відокремимо маси, розміщені в МВ, із загальної маси енергетичних запасів P_n , яка розрахована на підставі удільного розходу енергетичних запасів q_n :

$$q_n = (1,03 q'_n + q'_m) \cdot 1,15 = 200 \text{ г/кВт·год,}$$

де $q'_n = 167 \text{ г/кВт·год}$ – удільний розхід палива, згідно вибраного ДВЗ (див. розділ 1.5.5);

$q'_m = 1,5 \text{ г/кВт·год}$ – удільний розхід мастила, згідно вибраного ДВЗ (див. розділ 1.5.5);

1,15 – коефіцієнт морського запасу;

1,03 – коефіцієнт, що враховує розхід технічної води.

Виходячи зі знайденої формули маси палива, мастила та води можна знайти за наступними формулами:

$$P_{нал} = 1,15 \cdot P_n (q'_n / q_n); P_m = 1,15 \cdot P_n (q'_m / q_n); P_v = 1,15 \cdot P_n (0,03 q'_n / q_n);$$

$$P_{\text{пал}} = 1,15 \cdot 912(167 / 200) = 767 \text{ т};$$

$$P_{\text{м}} = 1,15 \cdot 912(1,5 / 200) = 7,0 \text{ т};$$

$$P_{\text{в}} = 1,15 \cdot 912(0,03 \cdot 167 / 200) = 23 \text{ т}.$$

Трьохдобовий запас палива, розміщуємий в МВ, можна визначити за формулою:

$$P_{\text{п.мв}} = P_{\text{пал}} \cdot 72 / t_x,$$

де $t_x=526$ год – ходовний час за весь рейс (див. розділ 1.5.7);

$$P_{\text{п.мв}} = 912 \cdot 72 / 526 = 86 \text{ т}.$$

Таким чином в МВ повинна розміщуватися наступна маса енергетичних запасів:

$$P_{\text{м.п.}} = P_{\text{п.мв}} + P_{\text{м}} + P_{\text{в}} = 86 + 7 + 23 = 116 \text{ т}.$$

Для розрахунку об'ємів цистерн, що розміщуються в МВ, приймаються наступні середні щільності рідин, т/м³: дизельного пального – 0,85; мастила – 0,91; прісної води – 1,00.

Об'єм на теплове розширення рідин у сумі з об'ємом набору цистерн та залишків, що не видаляються, в процентах від об'єму рідин приймається згідно для палива та мастила – 9; для води – 6.

З урахунком цих поправок сумарний об'єм цистерн в МВ для зберігання палива, мастила та води можна підрахувати за формулами:

$$V_{\text{м.п.}} = 1,09P_{\text{п.мв}} / 0,85 + 1,09P_{\text{м}} / 0,91 + 1,06P_{\text{в}} / 1,0;$$

$$V_{\text{м.п.}} = 1,3P_{\text{п.мв}} + 1,2P_{\text{м}} + 1,06P_{\text{в}}, \text{ м}^3$$

$$V_{\text{м.п.}} = 1,3 \cdot 86 + 1,2 \cdot 7 + 1,06 \cdot 23 = 144,6 \text{ м}^3.$$

Необхідний об'єм для зберігання палива, мастила та води розміщаємо у подвійному дні в МВ, а також вздовж бортів МВ.

Розрахунок абсцис і аплікату ЦТ бортових цистерн МВ проведемо в табличній формі (таблиця 4.2 і таблиця 4.3, відповідно).

Розрахунок координат ЦТ палива, мастила та води в межах МВ проведемо в табличній формі (таблиця 4.4).

Таблиця 4.2 Розрахунок абсцис ЦТ бортових цистерн МВ

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Довжина відсіку l , м	Відстань кормової перегородки від міделя, м	Площі, м ²			Σ ₁	Σ ₂	Об'єм прим. $/\Sigma_1/6$, м ³	$x_s = l\Sigma_2/\Sigma_1$, м	$X_v = x_s + \Sigma l$, м
			S ₁	S ₂	S ₃	м ²				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30 Цистерни подвійного борту в МВ ПрБ	15,2	-49,71	2,5	3,75	5	22,5	12,5	48	7,11	-58,44
31 Цистерни подвійного борту в МВ ЛБ	15,2	-49,71	2,5	3,75	5	22,5	12,5	48	7,11	-58,44

Таблиця 4.3 Розрахунок аплікату ЦТ бортових цистерн МВ

Найменування приміщень та їх нумерація за епюрою ємності	Висота приміщень h	Сума висот нижніх приміщень Σh	Ординати			$\Sigma_1 = y_1 + 4y_2 + y_3$	$\Sigma_2 = 2y_2 + y_3$	$Z_s = h\Sigma_2/\Sigma_1$	$Z_v = Z_s + \Sigma h$
			y_1	y_2	y_3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30 Цистерни подвійного борту в МВ ПрБ	10,5	1,3	2,96	6,55	10,71	39,9	23,8	6,27	7,57
31 Цистерни подвійного борту в МВ ЛБ	10,5	1,3	2,96	6,55	10,71	39,9	23,8	6,27	7,57

Таблиця 4.4 Розрахунок координат ЦТ палива, мастила та води в межах МВ

Паливні приміщення та їх нумерація за епюрою ємності	Маса палива, т	Координати ЦТ, м		Моменти, т·м	
		X	Z	M_x	M_z
23 Цистерни подвійного дна в МВ ПрБ	24,5	-49,71	0,79	-1419	19

24 Цистерни подвійного дна в МВ ЛБ	24,5	-49,71	0,79	-1419	19
30 Цистерни подвійного борту в МВ ПрБ	33,5	-50,65	7,57	-1958	254
31 Цистерни подвійного борту в МВ ЛБ	33,5	-50,65	7,57	-1958	254
Взагалі по судну	$\Sigma P_{м.п} = 116$	$X_{м.п} = -58,2$	$Z_{м.п} = 4,7$	-6754	546

Координати ЦТ палива, мастила та води в МВ визначаються за формулами статичного твердого тіла:

$$X_{м.п} = \sum M_x / \sum P_{м.п} ; Z_{м.п} = \sum M_z / \sum P_{м.п} .$$

Маса палива, $P_{н.с}$, що розміщується поза МВ, може бути знайдена за формулою:

$$P_{н.с} = P_{пал} - P_{п.мв} ,$$

де $P_{пал} = 767$ т – маса палива на весь рейс;

$P_{п.мв} = 86$ т – запас палива, що розміщується в МВ;

$$P_{н.с} = 767 - 86 = 681 \text{ т.}$$

Більша частина палива, що розміщується поза МВ, – мазут, щільність якого знаходиться в межах 0,92...0,99 т/м³. Приймаючи середнє значення щільності палива 0,95 т/м³ та ті ж самі поправки до об'єму цистерн, що і для цистерн в МВ, знаходимо об'єм паливних цистерн, що розміщені поза МВ:

$$V_{н.с} = 1,09 P_{н.с} / 0,95 = 1,15 P_{н.с} , \text{ м}^3$$

$$V_{н.с} = 1,15 \cdot 826 = 950 \text{ м}^3 .$$

Розрахунок координат ЦТ палива, мастила та води поза межами МВ проведемо в табличній формі (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 Розрахунок координат ЦТ палива, мастила та води поза межами МВ

Паливні приміщення та їх нумерація за епюрою ємності	Маса палива поза МВ, т	Координати ЦТ, м		Моменти, т·м	
		X	Z	M _x	M _z
19 Цистерни подвійного дна в тр. №3 ПрБ	303,7	-9,5	0,67	-2885	203

20 Цистерни подвійного дна в тр. №3 ЛБ	303,7	-9,5	0,67	-2885	203
4 Приміщення під кран для люкових кришок	73,6	6,05	2,5	445	184
Взагалі по судну	$\Sigma P_{n.c} = 681$	$X_{n.c} = -6,81$	$Z_{n.c} = 0,87$	-4644	590

Координати ЦТ палива, мастила та води в МВ визначаються за формулами статички твердого тіла:

$$X_{n.c} = \sum M_x / \sum P_{n.c} ; Z_{n.c} = \sum M_z / \sum P_{n.c} .$$

4.2 Визначення диференту судна

Для визначення диференту необхідно знати абсциси ЦТ та ЦВ судна. Абсциса ЦВ береться з кривих плавучості. Координати ЦТ судна в повнім вантажі зі 100% запасів визначаються в табличній формі (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 Координати ЦТ судна в повнім вантажі зі 100% запасів

Розділи навантаження	Маса P , т	Плечі, м		Моменти, т·м	
		X	Z	P_x	P_z
Судно порожнем	3251	-14,42	9,45	-46880	30722
Екіпаж, провізія, вода	97	-67,4	11,8	-6538	1145
Вантаж перевозимий	7200	0,74	9,89	5328	71208
Паливо, мастило, вода в межах МВ	116	-58,2	4,7	-6751	545
Паливо, мастило, вода за межами МВ	986	-6,81	0,87	-6715	858
Судно в повнім вантажі	11250	$X_g = -0,44$	$Z_g = 8,21$	-61556	92363

Координати ЦТ судна, внесені до останнього рядку таблиці 3.7, визначаються за формулами:

$$X_g = \Sigma P_i X_i / \Sigma P_i ; Z_g = \Sigma P_i Z_i / \Sigma P_i .$$

У першому наближенні не виконується рівність $X_g = X_c$. Так як $X_g \neq X_c$, то на судно буде діяти диферентуючий момент $M_d = \Delta(X_g - X_c)$. Виникаючий при диференті судна відновлюючий момент M_e може бути визначений за метацентричною формулою остійності $M_e = \Delta \cdot H \cdot \psi$, де H – повздовжня метацентрична висота, м; ψ - кут диференту, рад. Із рівності моментів диферентуючого та відновлюючого визначається кут диференту:

$$\psi = (X_g - X_c)/H, \text{ рад.}$$

Повздовжня метацентрична висота визначається за формулою:

$$H = R + Z_c - Z_g,$$

де $R=175$ м – повздовжній метацентричний радіус (за кривими плавучості);

$Z_c=4,15$ м – апліката ЦВ (за кривими плавучості);

$Z_g=8,21$ м – з таблиці 4.3;

$$H = 175 + 4,15 - 8,21 = 170,9 \text{ м.}$$

Тоді

$$\psi = (-0,44 - (-0,1))/170,9 = -0,00199, \text{ рад.}$$

Так як кут диференту $\psi \leq 0,002$, то судно можна вважати удиферентованим.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ОСТІЙНОСТІ НА ВЕЛИКИХ КУТАХ КРЕНУ

5.1. Побудова діаграм статичної і динамічної остійності

Метою розрахунку є перевірка відповідності характеристик остійності судна вимогам Правил Регістру. Для цього необхідно побудувати діаграми статичної та динамічної остійності судна.

Діаграма статичної остійності являє собою графік відновлюючого моменту від кута крену, а діаграма динамічної остійності – графік залежності роботи відновлюючого моменту від кута крену. Основними характеристиками діаграми статичної остійності є:

l_{max} – максимальне плече статичної остійності;

θ_{max} – кут максимуму діаграми;

θ – кут заходу діаграми, що відповідає умові $l_{cm}=0$;

h_0 – початкова метацентрична висота, що характеризує кут нахилу дотичної до початкової гілки діаграми.

Діаграма динамічної остійності є інтегральною кривою до діаграми статичної остійності, таким чином максимум діаграми статичної остійності

відповідає точці перегину на діаграмі статичної остійності, а якщо кут крену дорівнює куту заходу, то діаграма динамічної остійності має максимум.

За допомогою плечей остійності форми розраховуються плечі статичної та динамічної остійності для судна в повнім вантажі зі 100% запасів при $Z_g=3,02$ м (див. розділ 3) та $d=6,62$ м. Результати розрахунку приведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1.

	0.0°	2.0°	5.0°	10.0°	15.0°	20.0°	30.0°	40.0°	50.0°	60.0°	70.0°	80.0°	90.0°
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
250.00	0.000	0.973	2.248	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	6.437	7.058	<->
500.00	0.000	0.671	1.637	2.967	<->	<->	<->	<->	<->	6.676	6.925	7.879	<->
750.00	0.000	0.544	1.344	2.555	3.520	4.298	<->	<->	6.578	6.885	7.291	<->	<->
1000.0	0.000	0.473	1.174	2.280	3.222	3.994	5.234	6.082	6.630	7.055	7.596	<->	<->
1250.0	0.000	0.427	1.063	2.085	2.999	3.770	5.030	6.014	6.670	7.200	7.864	<->	<->
1500.0	0.000	0.396	0.986	1.942	2.825	3.596	4.873	5.940	6.703	7.329	8.106	<->	<->
1750.0	0.000	0.372	0.928	1.833	2.686	3.456	4.749	5.851	6.729	7.445	8.329	<->	<->
2000.0	0.000	0.355	0.884	1.748	2.575	3.340	4.650	5.775	6.750	7.552	8.540	<->	<->
2250.0	0.000	0.341	0.849	1.680	2.485	3.244	4.569	5.713	6.765	7.651	<->	<->	<->
2500.0	0.000	0.329	0.820	1.626	2.411	3.163	4.502	5.664	6.770	7.744	<->	<->	<->
2750.0	0.000	0.319	0.796	1.581	2.351	3.095	4.445	5.626	6.764	7.832	<->	<->	<->
3000.0	0.000	0.311	0.776	1.545	2.302	3.039	4.398	5.596	6.759	7.915	<->	<->	<->
3250.0	0.000	0.304	0.760	1.515	2.261	2.992	4.358	5.574	6.759	7.994	<->	<->	<->
3500.0	0.000	0.298	0.746	1.490	2.227	2.952	4.324	5.557	6.763	8.070	<->	<->	<->
3750.0	0.000	0.294	0.735	1.470	2.199	2.920	4.295	5.546	6.771	8.141	<->	<->	<->
4000.0	0.000	0.290	0.726	1.453	2.176	2.893	4.271	5.539	6.784	<->	<->	<->	<->
4250.0	0.000	0.287	0.719	1.439	2.158	2.870	4.252	5.535	6.800	<->	<->	<->	<->
4500.0	0.000	0.285	0.713	1.427	2.142	2.852	4.236	5.535	6.819	<->	<->	<->	<->
4750.0	0.000	0.283	0.708	1.418	2.130	2.837	4.223	5.538	6.841	<->	<->	<->	<->
5000.0	0.000	0.282	0.705	1.412	2.120	2.826	4.214	5.544	6.865	<->	<->	<->	<->
5250.0	0.000	0.281	0.703	1.407	2.113	2.817	4.208	5.552	6.892	<->	<->	<->	<->
5500.0	0.000	0.280	0.701	1.403	2.107	2.810	4.204	5.562	6.920	<->	<->	<->	<->
5750.0	0.000	0.280	0.700	1.401	2.103	2.806	4.203	5.573	6.950	<->	<->	<->	<->
6000.0	0.000	0.280	0.700	1.400	2.101	2.803	4.204	5.587	6.980	<->	<->	<->	<->
6250.0	0.000	0.280	0.700	1.400	2.100	2.803	4.207	5.602	7.011	<->	<->	<->	<->
6500.0	0.000	0.280	0.700	1.401	2.101	2.804	4.212	5.619	7.043	<->	<->	<->	<->
6750.0	0.000	0.280	0.701	1.402	2.103	2.806	4.218	5.636	7.076	<->	<->	<->	<->
7000.0	0.000	0.281	0.702	1.404	2.105	2.809	4.226	5.655	<->	<->	<->	<->	<->
7250.0	0.000	0.282	0.704	1.406	2.109	2.814	4.236	5.675	<->	<->	<->	<->	<->
7500.0	0.000	0.282	0.705	1.409	2.114	2.820	4.247	5.696	<->	<->	<->	<->	<->
7750.0	0.000	0.283	0.707	1.413	2.119	2.827	4.259	5.717	<->	<->	<->	<->	<->
8000.0	0.000	0.284	0.709	1.417	2.125	2.836	4.272	5.738	<->	<->	<->	<->	<->
8250.0	0.000	0.284	0.711	1.421	2.132	2.844	4.287	5.761	<->	<->	<->	<->	<->
8500.0	0.000	0.285	0.713	1.426	2.139	2.854	4.302	5.783	<->	<->	<->	<->	<->
8750.0	0.000	0.286	0.716	1.431	2.147	2.864	4.317	5.806	<->	<->	<->	<->	<->
9000.0	0.000	0.287	0.718	1.437	2.155	2.875	4.334	5.830	<->	<->	<->	<->	<->
9250.0	0.000	0.288	0.721	1.442	2.164	2.887	4.351	5.854	<->	<->	<->	<->	<->
9500.0	0.000	0.289	0.724	1.448	2.173	2.899	4.368	5.879	<->	<->	<->	<->	<->
9750.0	0.000	0.291	0.727	1.454	2.182	2.911	4.386	5.904	<->	<->	<->	<->	<->
10000	0.000	0.292	0.730	1.460	2.191	2.924	4.405	5.929	<->	<->	<->	<->	<->
10250	0.000	0.293	0.733	1.466	2.201	2.937	4.424	5.955	<->	<->	<->	<->	<->
10500	0.000	0.294	0.736	1.473	2.211	2.950	4.443	<->	<->	<->	<->	<->	<->
10750	0.000	0.296	0.740	1.480	2.221	2.964	4.463	<->	<->	<->	<->	<->	<->
11000	0.000	0.297	0.743	1.487	2.231	2.978	4.483	<->	<->	<->	<->	<->	<->
11250	0.000	0.299	0.747	1.494	2.242	2.992	4.503	<->	<->	<->	<->	<->	<->
11500	0.000	0.300	0.750	1.501	2.253	3.006	4.524	<->	<->	<->	<->	<->	<->
11750	0.000	0.302	0.754	1.508	2.263	3.020	4.545	<->	<->	<->	<->	<->	<->
12000	0.000	0.303	0.758	1.516	2.274	3.035	4.566	<->	<->	<->	<->	<->	<->

Таблиця 5.2 Плечі статичної та динамічної остійності

$\theta, \text{град}$	$\sin \theta$	l_f	$l_{cm} = l_f \cdot Z_g \cdot \sin \theta$	Σl_{cm}	$L_d = d\theta/2 \cdot \Sigma l_{cm}$
0	0	0	0	0	0
10	0,174	1,494	0,12	0,12	0,011
20	0,342	2,992	0,27	0,51	0,044
30	0,5	4,5	0,41	1,19	0,103
40	0,643	5,991	0,48	2,08	0,181
50	0,766	7,491	0,45	3,01	0,262
60	0,866	8,991	0,3	3,76	0,327
70	0,94	9,654	0,03	4,09	0,356
80	0,985	10,102	-0,29	3,83	0,333

За даними таблиці.1 побудовані діаграми статичної та динамічної остійності.

5.2 Перевірка остійності за вимогами Правил Регістру.

5.2.1 Вимоги Правил регістру до діаграми статичної остійності

Діаграма статичної остійності повинна відповідати наступним вимогам Регістру:

- кут закату діаграми повинен бути не менше 60^0 (для судна, яке проектується кут закату 88^0);
- кут максимуму діаграми повинен бути не менше 30^0 (для судна, що проектується кут максимуму діаграми складає 54^0);
- максимальне плече діаграми статичної остійності повинне бути не менше 0,2 м для суден довжиною 105 м та більше при куті крену $\theta_m \geq 30^0$ (для судна, що проектується максимальне плече 1,06 м).
- для суховантажних суден значення початкової метацентричної висоти повинно бути не менше 0,15 м. для судна, що проектується, початкова метацентрична висота складає:

$$h_0 = r + Z_c - Z_g$$

$$h_0 = 4,29 + 3,52 - 7,6 = 0,22$$

5.2.2 Розрахунок критерія погоди.

Критерій погоди є одною з основних характеристик остійності судна, розрахунок якої проводиться відповідно вимогам Правил Регістру. Критерій погоди розраховується за формулою:

$$K_C = \frac{M_C}{M_V} \geq 1$$

де: M_C – мінімальний опрокидний момент, кН·м ;

M_V – момент, що кренить судно, кН·м

M_C визначається графічно за допомогою діаграми динамічної остійності відповідно методики, описаній в Правилах Регістру. Під час графічних побудов використовується значення розрахункової амплітуди бортової хитавиці, яке розраховується за формулою:

$$\theta = Y \cdot X_1 \cdot X_2 ;$$

$$\text{де } Y = f\left(\frac{\sqrt{h_0}}{B}\right) = f\left(\frac{\sqrt{0,48}}{18,94}\right) = 25^0, [13] (\text{таблиця 2.1.3.1-2-1});$$

$$X_1 = f\left(\frac{B}{d}\right) = f\left(\frac{18,94}{7,96}\right) = f(2,38) = 0,955, [13] (\text{таблиця 2.1.3.1-2});$$

$$X_2 = f(C_B) = f(0,685) = 0,98, [13] (\text{таблиця 2.1.3.1-3});$$

Таким чином розрахункова амплітуда бортової хитавиці складатиме:

$$\theta = 25 \cdot 0,955 \cdot 0,98 = 23 \text{ град.}$$

Значення мінімального динамічного опрокидуючого моменту, отриманого шляхом графічних побудов складає:

$$M_C = BE \cdot \Delta \cdot 9,81 = 0,27 \cdot 11250 \cdot 9,81 = 29798 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

M_V – динамічно приложений момент, що кренить, визваний тиском вітру, кН·м, визначається за формулою:

$$M_V = 0,001 \cdot P_V \cdot A_V \cdot z ;$$

де P_V – тиск вітру (таблиця 2.1.2.2.);

A_V – площа парусності;

z – апліката центру парусності

Подальший розрахунок у формі таблиці (дивись таблицю 5.2);

Таблиця 5.2 Розрахунок бокової парусності судна

Найменування елементів судна	Розміри елемента судна у боковому плані, м	Площа $A_v, \text{м}^2$	Відстань від КВЛ $z_i, \text{м}$	Статичний момент $A_v \cdot z, \text{м}^3$
1. Надводна частина корпусу	107,78 x 3,4	450	1,6	720
2. Бак	11,4 x 3	34,2	4,7	161
3. Козирок	12,2 x 1,8	22	8,5	187
4. 1-ий ярус юта	21,6 x 2,5	54	7,6	410
5. 2-ий ярус рубки	21,6 x 2,5	54	10,1	545
6. 3-ій ярус рубки	14 x 2,5	35	12,6	441
9. Ходовий місток	14x2,5	35	15,1	528
10. Верхній місток	14x1,2	16,8	16,9	284
11. Кожух труби	4 x 10,8	43,2	13,3	574
12. Щогла	0,6 x 17	10,44	14,8	154
Σ	-	755	-	4004
Надбавки на несучільні поверхні	-	$1,05 \Sigma A_v$	-	$1,1 \Sigma A_v \cdot z$
Взагалі	-	830	-	4404

Аплікату центру парусності, відраховану від площі КВЛ розрахуємо за формулою:

$$z = \frac{1,1 \cdot \Sigma F \cdot z}{1,05 \cdot \Sigma F} = \frac{1,1 \cdot 4004}{1,05 \cdot 830} = 5,3 \text{ м}$$

Тиск вітру P_v згідно [13] табл. 2.1.2.2. дорівнює 1150 Па

Таким чином динамічний момент, що кренить, складатиме:

$$M_v = 0,001 \cdot 1150 \cdot 807 \cdot 5,3 = 4918 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Розрахуємо критерій погоди:

$$K_c = \frac{29798}{4918} = 6,06 > 1$$

Розрахований критерій погоди задовольняє вимогам Правил Регістру.

Враховуючи параметри діаграми статичної остійності (дивись п.5.2.1) та значення критерію погоди можна стверджувати про задовільність стійності спроектованого судна вимогам Правил Регістру.

Діаграма статичної остійності повинна відповідати наступним вимогам Регістру:

- кут закату діаграми повинен бути не менше 60^0 (для судна, яке проектується кут закату 87^0);
- кут максимуму діаграми повинен бути не менше 30^0 (для судна, що проектується кут максимуму діаграми складає 50^0);
- максимальне плече діаграми статичної остійності повинне бути не менше 0,2 м для суден довжиною 105 м та більше при куті крену $\theta_m \geq 30^0$ (для судна, що проектується максимальне плече 0,882 м).
- для суховантажних суден значення початкової метацентричної висоти повинно бути не менше 0,15 м. для судна, що проектується, початкова метацентрична висота складає:

$$h_0 = r + Z_c - Z_g = h_0 = 4,29 + 3,52 - 7,6 = 0,22$$

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК НЕПОТОПЛЮВАНOSTІ СУДНА

Непотоплюваністю як морехідною якістю судна визначається здатність зберігати безпечну осадку та позитивну остійність при затопленні забортною водою через пробоїну зовнішньої обшивки одного або декількох водонепроникних відсіків в міцнім корпусі.

Непотоплюваність зв'язана з аварійним станом судна, коли зберігання плавучості та остійності при надходженні води у відсіки корпусу є вирішальним фактором безпечного його плавання.

При затопленні забортною водою обумовленого числа відсіків судно вважається непотоплюваним, якщо діюча ватерлінія не перетинає допустимої лінії занурення корпусу, що встановлюється з урахунком необхідного запасу надводного борту і якщо у судна зберігається позитивна метацентрична висота.

За допустиму межу занурення судна приймається так звана допустима лінія занурення – лінія перетину зовнішньої поверхні настилу палуби перегородок з зовнішньою поверхнею бортової обшивки у борта.

Розрахунок непотоплюваності для проектуємого судна виконується за допомогою побудови кривої допустимих довжин відсіків. Під допустимими довжинами відсіків вважаються такі відстані між поперечними водонепроникними перегородками, які забезпечують посадку ушкодженого судна до допустимої лінії занурення.

Розрахунок і побудова кривої допустимих довжин відсіків виконується у наступній послідовності. На масштабі Бонжана проводять 7 ватерліній, дотичних до допустимої лінії занурення. При цьому одна з них проводиться горизонтально, три нахилені в ніс і три в корму.

Знайдемо l за формулою:

$$l = 1,5(D - d_0) + 0,1 \cdot D,$$

де $D = 10,72$ м – висота борту;

$d_0 = 6,62$ м – осадка до КВЛ;

$$l = 1,5(10,72 - 6,62) + 0,1 \cdot 10,72 = 6,17 \text{ м.}$$

Це значення відкладемо на осадці судна d_n та d_k від допустимої лінії занурення. До знайдених точок проведемо ватерлінії з носової та кормової крайньої точки ВП.

Для кожної ватерлінії за масштабом Бонжана визначаємо об'ємну водотоннажність і абсцису центру величини X_c , потім визначаємо об'єм води, що влилася, і абсцису ЦТ відсіку X_i .

Знімаючи з масштабу Бонжана площі ω занурених частин шпангоутів для всіх ватерліній можна визначити водотоннажність судна для i -ої допустимої ватерлінії за формулою:

$$V_i = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \omega dx.$$

Статичний момент зануреного об'єму відносно площини міделів – шпангоута[14]:

$$M_i = \Delta L \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} k \omega dx.$$

Об'єм води, що влилася в поки що невідомий відсік, що затопив судно до допустимої лінії занурення:

$$v_i = V_i - V,$$

де $V=10043 \text{ м}^3$ – водотоннажність судна до затоплення.

Статичний момент об'єму води, що влилася:

$$m_i = M - M_i,$$

де M – статичний момент об'єму відносно міделів – шпангоуту;

$$M = V \cdot X_c,$$

$X_c=0,10 \text{ м}$ – абсциса ЦВ зануреного об'єму;

$$M = 10043 \cdot 0,1 = 1004 \text{ м}^4.$$

Абсциса X_i центру тяжіння затопленого об'єму визначається за формулою:

$$X_i = m_i / V_i$$

Розрахунок виконується в табличній формі і для кожної ватерлінії окремо. За результатами розрахунку будується крива допустимих об'ємів відсіків. (таблиця 6.2)

Щоб перейти від кривої допустимих об'ємів до кривої допустимих довжин водонепроникних відсіків, необхідно до стройової за шпангоутами до допустимої лінії занурення додати інтегральну криву. Її ординати виражаються у вигляді інтегралу з перемінною верхньою межею:

$$V_x = \int_{l/2}^x W_n dx,$$

де V_x – перемінний об'єм, рахуючи від носу до деякого поперечного перерізу, абсциса якого X , м;

W_n – площа зануреної частини шпангоутів до допустимої лінії занурення, м².

Ординати інтегральної кривої, для заданої стройової за шпангоутами до допустимої лінії занурення, розраховуються за допомогою правила трапецій за формулою:

$$V_n = \frac{\Delta L}{2} \cdot \Sigma W_{int}.$$

Різницею довільних ординат n і $n+1$ цієї кривої буде визначатися об'єм заповнення V_i , а різниця їх абсцис буде відповідати допустимій довжині відсіку l_i на корпусі судна.

Розрахунок ординат інтегральної кривої виконується у табличній формі (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1 Розрахунок ординат інтегральної кривої

№шп	Fшп	$\Sigma_{\text{инт}}$	$(\Sigma_{\text{инт}} * \Delta L)/2$	$\Delta L/2$	$\Delta L2$	ΔL
I	II	III	IV	V	VI	VII
0	6,10	0,00	0,00	3,307	43,75	6,615
1	55,42	61,52	203,45	3,307	43,75	6,615
2	102,22	219,16	724,76	3,307	43,75	6,615
3	140,52	461,90	1527,50	3,307	43,75	6,615
4	167,36	769,78	2545,66	3,307	43,75	6,615
5	185,98	1123,12	3714,16	3,307	43,75	6,615
6	197,08	1506,18	4980,94	3,307	43,75	6,615
7	203,46	1906,72	6305,52	3,307	43,75	6,615
8	205,62	2315,80	7658,35	3,307	43,75	6,615
9	206,78	2728,20	9022,16	3,307	43,75	6,615
10	207,24	3142,22	10391,32	3,307	43,75	6,615
11	206,42	3555,88	11759,30	3,307	43,75	6,615
12	204,52	3966,82	13118,27	3,307	43,75	6,615
13	199,56	4370,90	14454,57	3,307	43,75	6,615
14	190,56	4761,02	15744,69	3,307	43,75	6,615
15	176,38	5127,96	16958,16	3,307	43,75	6,615
16	158,98	5463,32	18067,20	3,307	43,75	6,615
17	131,74	5754,04	19028,61	3,307	43,75	6,615
18	96,72	5982,50	19784,13	3,307	43,75	6,615
19	58,20	6137,42	20296,45	3,307	43,75	6,615
20	16,72	6212,34	20544,21	3,307	43,75	6,615

№ шт шт шт	К	1 WL		2WL		3WL		4WL		5WL		6WL		7WL	
		ω	кω	ω	кω	ω	кω	ω	кω	ω	кω	ω	кω	ω	кω
0	5	5,92	29,6	5,92	29,6	6,02	30,1	6,08	30,4	1,6	8,0	0	0	0	0
2	4	75,38	301,5	77,4	309,6	79,5	318,24	80,9	323,6	67,6	270,5	52,2	208,6	39,9	159,6
4	3	119,5	358,5	124,8	374,4	129,4	388,2	134,0	402,0	117,7	353,0	97,3	291,8	79,7	239,0
6	2	136	272	144,6	289,2	152,0	304,2	159,9	319,8	143,7	287,5	123,4	246,8	105,3	210,7
8	1	135,8	135,8	147,6	147,6	157,7	157,8	167,9	167,9	153,8	153,8	135,8	135,8	119,8	119,8
10	0	129,6	0	144,1	0	156,9	0	169,4	0	157,7	0	142,4	0	128,8	0
12	-1	119,5	-119,6	137,0	-137,1	152,8	-152,8	167,2	-167,3	157,6	-157,6	145,3	-145,2	134,8	-134,8
14	-2	101,86	-203,7	121,8	-243,8	139,3	-278,6	156,8	-313,7	149,4	-298,8	139,9	-279,8	131,4	-262,8
16	-3	73,3	-220	94,2	-282,6	112,9	-338,9	132,5	-397,6	127,3	-381,8	120,7	-362	114,9	-344,7
18	-4	32,8	-131,4	48,6	-194,6	64,7	-258,9	82,7	-330,8	80,1	-320,3	76,9	-307,4	70	-280
20	-5	0	0	0	0	41,8	-209	15,3	-76,8	52,0	-260,2	51,3	-256,4	52,7	-263,5
Σ		929,9	422,78	1046,4	292,4	1193,3	-39,8	1272,8	-42,0	1208,7	-346,0	1085,0	-467,6	977,4	-556,7
Π=(ω ₀ +ω ₂₀)/ γ		2,96	14,8	2,96	14,8	23,91	-89,5	10,69	-23,0	26,82	-126,1	25,6	-128,2	26,3	-131,8
Σ'=Σ-Π		926,94	407,98	1043,4	277,6	1169,4	49,7	1262,1	19,0	1181,8	-219,9	1059,3	-339,4	951,0	-425,0
V _r =ΔLΣ'ω		10836		12197,3		13670,4		14753,7		13815,7		12383,2		11117,3	
M _r =ΔL ² Σ'kω		55753,2		37935,7		6790,4		-2593,7		-30045		-46387		-58072	
V _r '		1255,9		2617,3		4090,4		5173,7		4235,7		2803,2		1537,3	
M _r '		48970,2		31153		7,44		-9376,7		-36828		-53170		-64855	
m _r '		38,99		11,90		0,00182		-1,812		-8,69		-18,97		-42,187	

РОЗДІЛ 7. НАБІР КОРПУСУ ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРУ

7.1 Загальні відомості про судно, що проектується

7.1.1 Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Судно призначене для перевезення генеральних, насипних та лісних вантажів і контейнерів, з кормовим розташуванням машинного відділення, коротким баком, транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, двухпалубне, з подвійним дном і одинарними бортами. Верхня палуба і подвійне дно мають повздовжню систему набору, нижня палуба та борти – поперечну систему набору.

Набір корпусу судна виконуємо за Регістром Судноплавства України (2024 р.).

7.1.2 Вибір шпациї

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою:

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

де $L = 107,78$ м – довжина судна між перпендикулярами,

$$a_0 = 0,002 \cdot 107,78 + 0,48 = 0,752 \text{ м}$$

Правилами [11] дозволяється відхилення взятої шпациї від нормальної в межах 25%. Розраховану величину округлюємо до значення стандартної шпациї і прийнято згідно ОСТ 5.1099–78:

$$a_0 = 0,8 \text{ м.}$$

Висота вертикального кіля (подвійного дна) повинна бути:

$$h_{BK} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} \text{ м;} \quad (7.1)$$

$$h_{BK} = \frac{107,78 - 40}{570} + 0,04 \cdot 18,21 + 3,5 \cdot \frac{6,62}{18,21} = 1,30 \text{ м,}$$

прийнято $h_{BK} = 1,2$ м;

7.1.3 Вибір марки матеріалу

Для виготовлення корпусу судна за рекомендацією Правил вибираємо суднобудівну сталь 09Г2С. Характеристики цих сталей приведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 Механічні властивості суднобудівних сталей

Категорія (марка) сталі	Межа плинності і R_{EH} , МПа	Відносне подовженн я δ , %	Нижня температура , °C	Коефіцієнт використання механічних властивостей, η
09Г2С	315	18	-60	0,78

За розрахункові характеристики матеріалу конструкцій корпусу прийнято верхню межу плинності (табл. 7.1) і розрахункові нормативні межі плинності за нормальними і дотичними напруженнями, визначаємі за формулами:

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

$$\sigma_H = \frac{235}{0,78} = 301 \text{ МПа}, \quad \tau_H = 0,57 \cdot 301 = 172 \text{ МПа};$$

7.2 Основні положення щодо визначення розмірів в'язів

7.2.1 Вимоги до розмірів елементів конструкцій корпусу

Момент опору, см^3 , площі поперечного перерізу, за вимогами Правил Регістру [11] для складених балок, визначається за формулою:

$$W = W' + \Delta W, \quad (7.2)$$

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

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 (див. п. 7.2.3);

σ_H – нормативна межа плинності за нормальними напруженнями, МПа (див. п. 7.1.3).

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:

$$W = h \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F} \right) \right], \text{см}^3, \quad (7.3)$$

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 .

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

$$i = \frac{h_c^2}{1 + \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F}} \cdot \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F} \right) \right], \text{см}^4. \quad (7.4)$$

Товщина обшивки або настилу визначається за формулою:

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \sigma_H}} + \Delta S \quad \text{мм}, \quad (7.5)$$

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. 7.1.3.)

ΔS – запас на знос і корозію, мм;

7.2.2 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;

прийнято $T = 24$ роки.

Значення u відповідно до Правил Регістру і розрахункове значення ΔS приведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 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
1.2	Обшивка подвійних бортів	0,11	1,32
2.1.2	Зовнішня обшивка борту	0,17	2,04
3.1.4	Зовнішня обшивка дна	0,20	2,4
4.1.2	Настил 2-го дна у вантажному трюмі	0,15	1,8
4.1.4	Настил другого дна у машинному відділенні	0,2	2,4
4.2.2	Міждонний лист	0,2	2,4
5.1.3	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,13	1,56
6.1	Повздовжні балки палуби, бімси, рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	0,12	1,44
7.1	Повздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки	0,10	1,2
8.2	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, повздовжні балки днища і другого дна	0,20	2,4
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0,10	1,2

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

$$\Delta W = 0,1h_c\Delta S \left[b + \frac{h_c}{6} \left(2 - \frac{2b + h_c}{2b_{\text{пл}} + h_c} \right) \right], \quad (7.6)$$

де h_c – висота стінки балки, см;

ΔS – запас на знос і корозію, мм (див. таблицю 7.2);

$b, b_{\text{пл}}$ – ширина вільного і приєднаного поясів балки, см.

7.2.3 Стійкість елементів конструкції корпусу

Стійкість конструкції вважається забезпеченою, якщо виконується умова:

$$k\sigma_c \leq \sigma_{cr}; \tau_c \leq \tau_{cr}, \quad (7.7)$$

де σ_e, τ_e – 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:

$$\sigma_e = (206 \cdot i) / (f \cdot l^2), \text{ МПа} \quad (7.8)$$

де i – момент інерції балки з приєднаним пояском, см⁴, розрахований за формулою (7.4) при $F_I = 0$ для товщини, зменшеної на величину ΔS (див. табл. 1.6.5.5-2); f , см² – площа поперечного перерізу балки (див. п. 7.2.1), розрахована для товщини, зменшеної на величину ΔS ; l – прогін балки, м.

7.3 Розрахункові навантаження

7.3.1 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:

$$P_{st} = 10z_i, \text{ кПа}, \quad (7.9)$$

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

Розрахунковий тиск для точок прикладання навантажень нижче ВВЛ:

$$P = P_w + P_{st}, \text{ кПа}; \quad (7.10)$$

– для точок прикладання навантажень вище ВВЛ:

$$P = P_w, \text{ кПа}. \quad (7.11)$$

Хвильовий тиск:

– для точок прикладання навантажень нижче ВВЛ:

$$P_w = P_{w0} - 1,5C_w z_i / d, \text{ кПа} \quad (7.12)$$

– для точок прикладання навантажень вище ВВЛ:

$$P_w = P_{w0} - 7,5a_x z_i, \text{ кПа}, \quad (7.13)$$

де $d = 6,97$ м – осадка судна по ВВЛ;

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:

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

для $L = 107,78 \text{ м}$ $C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - 131,8}{100} \right)^{3/2} = 8,60;$

$$a_v = 0,8V_0(L/10^3 + 0,4)/\sqrt{L} + 1,5;$$

$$a_x = k_x(1 - 2x_l/L) \geq 0,267;$$

$V_0=11,0$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$k_x=0,5$ – для поперечного перерізу у корму від міделя;

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

прийнято $x_l = 63,0$ м. Отже,

$$a_v = 0,8 \cdot 18 \cdot (131,8/10^3 + 0,4)/\sqrt{131,8} + 1,5 = 2,17;$$

$$a_x = 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot 63,0/107,78) = 0,022;$$

прийнято $a_x = 0,267;$

$$a_v \cdot a_x = 2,17 \cdot 0,267 = 0,58,$$

прийнято $a_v \cdot a_x = 0,6.$

Тиск P_w на рівні ВВЛ:

$$P_{w0} = 5 \cdot 8,6 \cdot 0,6 = 25,8 \text{ кПа.}$$

Тиск P на рівні ВП, кПа, визначається за формулою:

$$P = P_w = P_{w0} - 7,5 a_x z_i = 25,8 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 4,1 = 17,6 \text{ кПа;}$$

Тиск P на рівні днища, кПа, визначається за формулою:

$$P = P_{w0} - 1,5 C_w z_i / d + 10 z_i = 25,8 - 1,5 \cdot 8,6 \cdot 7,5 / 7,5 + 10 \cdot 7,5 = 87,9 \text{ кПа;}$$

Тиск P на рівні другого дна, кПа, визначається за формулою:

$$P = P_{w0} - 1,5 C_w z_i / d + 10 z_i = 25,8 - 1,5 \cdot 8,6 \cdot 6,3 / 7,5 + 10 \cdot 6,3 = 78,0 \text{ кПа;}$$

Тиск P на рівні $0,5D$, кПа, визначається за формулою:

$$P = P_{w0} - 1,5 C_w z_i / d + 10 z_i = 25,8 - 1,5 \cdot 8,6 \cdot 1,7 / 7,5 + 10 \cdot 1,7 = 39,9 \text{ кПа;}$$

Тиск P на рівні $0,4D$, кПа, визначається за формулою:

$$P = P_{w0} - 1,5 C_{wi} / d + 10 z_i = 25,8 - 1,5 \cdot 8,6 \cdot 2,86 / 7,5 + 10 \cdot 2,86 = 49,5 \text{ кПа.}$$

7.3.2 Навантаження викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на перекриття вантажних палуб, платформ, подвійного дна від штучного вантажу визначається за формулою:

$$P_{\text{обл}} = \rho_{\text{в}} g h_{\text{в}} \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) \geq 20, \text{ кПа} \quad (7.14)$$

де $\rho_{\text{в}} = 0,413 \text{ т/м}^3$ – питома вага вантажу;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$h_{\text{в}}$ м – розрахункова висота укладання вантажу в трюмі, $h_{\text{в.тр}} = 5,7 \text{ м}$,
 $h_{\text{в.ни}} = 4,7 \text{ м}$;

a_z – розрахункове прискорення, м/с^2 , у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

$$a_z = \sqrt{a_{\text{cz}}^2 + a_{\text{kz}}^2 + 0,4 \cdot a_{\text{dz}}^2},$$

де a_{cz} – проекція прискорення центра ваги судна на вертикальну вісь;

a_{kz} і a_{dz} – проекції прискорень в точці, що розглядається, від кільової та бортової хитавиці на вертикальну вісь.

$$\left. \begin{aligned} a_{\text{cz}} &= 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{1/3} g; \\ a_{\text{kz}} &= \left(\frac{2\pi}{T_{\text{к}}} \right)^2 \psi \cdot x_0; \\ a_{\text{dz}} &= \left(\frac{2\pi}{T_{\text{б}}} \right)^2 \theta \cdot y_0. \end{aligned} \right\}$$

де $T_{\text{к}}$ – період кільової хитавиці, с, дорівнює:

$$T_{\text{к}} = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{V_0}{\sqrt{L}} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8\sqrt{131,8}}{1 + 0,4 \frac{18}{\sqrt{131,8}} \left(\frac{131,8}{10^3} + 0,4 \right)} = 6,90 \text{ с};$$

$T_{\text{б}}$ – період бортової хитавиці, с, дорівнює:

$$T_{\text{б}} = \frac{cB}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 19,4}{\sqrt{1,358}} = 13,3 \text{ с},$$

де $c = 0,8$ – числовий коефіцієнт;

$h=0,07B=0,07 \cdot 18,21=1,358$ – метацентрична висота, м, в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна;

Визначимо розрахунковий кут крену, рад:

$$\theta = \frac{0,6}{1+0,5L10^{-2}} = \frac{0,6}{1+0,5 \cdot 131,8 \cdot 10^{-2}} = 0,36 \text{ рад};$$

Визначимо розрахунковий кут диференту, рад, який визначається за формулою:

$$\psi = \frac{0,23}{1+L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1+131,8 \cdot 10^{-2}} = 0,1 \text{ рад}.$$

Тепер потрібно визначити прискорення:

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{1/3} g = 0,2 \left(\frac{100}{131,8} \right)^{1/3} \cdot 9,81 = 1,78 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{6,90} \right)^2 \cdot 0,1 \cdot 2,9 = 0,24 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{\delta z} = \left(\frac{2\pi}{T_6} \right)^2 \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{13,3} \right)^2 \cdot 0,36 \cdot 9,87 = 0,79 \text{ м/с}^2;$$

де $x_0=2,9$ м, - відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна;

$y_0=9,87$ м, - відстань розглядуваної точки від діаметральної площини.

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\delta z}^2} = \sqrt{1,78^2 + 0,24^2 + 0,4 \cdot 0,79^2} = 1,86 \text{ м/с}^2.$$

Визначимо тиск на настил другого дна за формулою (7.14):

$$P_{rz} = \rho_{\delta} g h_{\delta} \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) = 0,513 \cdot 9,81 \cdot 5,7 \left(1 + \frac{1,86}{9,81} \right) = 34,1 \text{ кПа}.$$

$$P_{rz} > 20 \text{ кПа}.$$

7.3.3 Розрахунковий тиск на настил другого дна прийнято більшим з наступних значень:

$$P_{rz} = 34,1 \text{ кПа (див. п. 7.3.2);}$$

$$P_{\text{вип}} = 7,5h_{\text{н}} - \text{тиск на випробуваннях, кПа;}$$

$P_{аз} = 10,5(d - h)$ – тиск аварійного затоплення, кПа;

$P_{\sigma} = 0,75g(z_i + \Delta_z)$ – розрахунковий тиск на конструкцію внутрішнього дна, якщо міждонний простір заповнений баластом;

$P = \rho_{в}gz_i + p_k$ – розрахунковий тиск на конструкцію внутрішнього дна, якщо міждонний простір заповнений баластом;

$h_n = D - h + 1,5 = 11,6 - 1,2 + 1,5 = 11,9$ м – вертикальна відстань настилу другого дна від верху повітряної труби;

$p_k = 15$ кПа – тиск запобіжного клапана;

$z_i = 10,4$ м, - відстань виміряна в діаметральній площині від розглядуваної в'язі до верхньої палуби;

$\Delta_z = 1,5$ м, - висота повітряної трубки;

$h = 1,2$ м – фактична висота другого дна.

$$P_{вин} = 7,5 \cdot 11,9 = 89 \text{ кПа};$$

$$P_{аз} = 10,5(7,5 - 1,2) = 66,2 \text{ кПа};$$

$$P = 0,513 \cdot 9,81 \cdot 10,4 + 15 = 67,3 \text{ кПа};$$

$$P_{\sigma} = 0,75 \cdot 9,81(10,4 + 1,5) = 87,6 \text{ кПа};$$

Прийнято $P = 89$ кПа.

7.3.4 Розрахунковий тиск на нижню палубу

Розрахунковий тиск на нижню палубу визначаємо за формулою (7.14):

$$P = \rho_{\sigma}gh_{\sigma}\left(1 + \frac{a_z}{g}\right) = 0,513 \cdot 9,81 \cdot 4,7\left(1 + \frac{1,86}{9,81}\right) = 28,1 \text{ кПа}.$$

$$P > 20 \text{ кПа}.$$

7.4 Загальна повздожня міцність

Розрахунковий згинаючий момент на тихій воді визначається за формулою[4]:

$$M_{sw} = \pm 76C_wBL^2(C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Хвильовий згинаючий момент, що викликає перегин корпусу судна:

$$M_w^I = 190C_wBL^2C_b \cdot 10^{-3} \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Хвильовий згинаючий момент, що викликає прогин корпусу судна:

$$M_w^2 = -110C_wBL^2(C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ кН}\cdot\text{м};$$

де $C_w=8,6$ — хвильовий коефіцієнт (див. п. 7.3.1);

$C_b = 0,66$ — коефіцієнт загальної повноти судна. Отже, маємо:

$$M_{sw} = 76 \cdot 8,6 \cdot 18,21 \cdot 107,78^2 (0,66 + 0,7) \cdot 10^{-3} = 299 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м (для перегину);}$$

$$M_{sw} = -76 \cdot 8,6 \cdot 18,21 \cdot 107,78^2 \cdot (0,66 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -299 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м (для прогину);}$$

$$M_w^I = 190 \cdot 8,6 \cdot 18,21 \cdot 107,78^2 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3} = 363 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м (для перегину);}$$

$$M_w^2 = -110 \cdot 8,6 \cdot 18,21 \cdot 107,78^2 \cdot (0,66 + 0,7) \cdot 10^{-3} = -434 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м (для}$$

прогину).

Момент опору площі розглянутого поперечного перерізу корпусу судна (для палуби й днища) повинен бути не менший від визначеного за формулою:

$$W_d = (M_T/\sigma) \cdot 10^3, \quad (7.16)$$

де $M_T = |M_{sw} + M_w|$ — розрахунковий згинаючий момент, кН·м, у розглянутому перерізі, що дорівнює максимуму абсолютної величини алгебраїчної суми складових M_{sw} і M_w ;

$\sigma = 175/\eta$ — допустимі напруження, МПа;

η — коефіцієнт (див. п. 7.1.3.); $\eta = 0,78$,

$$\sigma = 175/0,78 = 224 \text{ МПа.}$$

В усіх випадках момент опору площі поперечного перерізу корпусу в середній частині судна (для палуби й днища) повинний бути не менший від визначеного за формулою:

$$W_{min} = C_w B L^2 (C_b + 0,7) \cdot \eta \text{ см}^3;$$

$$W_{min} = 8,6 \cdot 18,21 \cdot 107,78^2 (0,66 + 0,7) \cdot 0,78 = 3,07 \cdot 10^6 \text{ см}^3 = 3,07 \text{ м}^3.$$

Визначаємо момент опору та згинаючий момент згідно (7.16):

— у випадку перегину судна при перевірці міцності верхньої палуби

$$M_T = (299 + 363) \cdot 10^3 = 662 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad W_d = (662 \cdot 10^3 / 224) = 2,96 \text{ м}^3;$$

— у випадку прогину судна при перевірці міцності днища:

$$M_T = (-299 + (-434)) \cdot 10^3 = 733 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad W_b = (733 \cdot 10^3 / 224) = 3,27 \text{ м}^3;$$

Момент інерції площі поперечного перерізу корпусу в середній частині судна повинний бути не менш:

$$I_{min} = 3 C_w B L^2 (C_b + 0,7) = 3 \cdot 8,6 \cdot 18,21 \cdot 107,78^2 (0,66 + 0,7) = 1,182 \cdot 10^7 \text{ см}^4.$$

7.5 Проектування елементів конструкції корпусу судна за Правилами Регістру

7.5.1 Проектування зовнішньої обшивки корпусу

Товщина зовнішньої обшивки з умови міцності визначається за формулою (7.5), 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;

$\sigma_n = 301$ Мпа (див. п. 7.1.3);

менший розмір пластини прийнято $a = 0,8$ м, ΔS – з табл. 7.2.

Розрахунок товщини листів зовнішньої обшивки з умови міцності приведений у табл. 7.3.

Стійкість зовнішньої обшивки розраховується за умовою виразу (7.7).

Розрахункові стискаючі напруги визначаються за формулою:

$$\sigma_c = \frac{M_T}{I} z_i \cdot 10^5 \text{ Мпа}, \quad (7.17)$$

де M_T – розрахунковий згинаючий момент (див. п. 7.4):

– при перегині судна: $M_T = 662 \cdot 10^3$ кН·м,

– при прогині судна: $M_T = 733 \cdot 10^3$ кН·м.

Розрахункові величини та позначення	Обшивка днища	Надскуловий пояс обшивки борту	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	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Більший розмір пластини b , м	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Відношення a/b	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5a/b$	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Розрахункове навантаження P , кПа	87,9	78	49,5	39,9	25,8	17,6
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	8,91	8,39	6,68	6,0	4,83	3,99
Додаток до товщини ΔS , мм	2,4	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	11,31	10,4	8,72	8,04	6,87	6,03

Мінімальна товщина для зовнішньої обшивки днища і бортів:

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5,5 + 0,04 \cdot 131,8) \sqrt{0,78} = 9,5 \text{ мм.}$$

$I = W_d(D - e) \cdot 10^2$ – момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, см⁴;

z_i – відстань розрахункової точки від нейтральної осі, м;

$W_d = 3,27 \cdot 10^6 \text{ см}^3$, $W_d = 2,96 \cdot 10^6 \text{ см}^3$ – момент опору палуби в середній частині судна при прогині і перегині відповідно (див. п. 7.4);

$D = 11,6 \text{ м}$ – висота борту;

e – відстань нейтральної осі від основної площини, м, визначається приблизно за формулою:

$$e = (0,34 + 0,06L \cdot 10^{-2})D = (0,34 + 0,06 \cdot 107,78 \cdot 10^{-2}) \cdot 11,6 = 4,86 \text{ м.}$$

Тоді:

– для прогину: $I = 3,27 \cdot 10^6 \cdot (11,6 - 4,86) \cdot 10^2 = 2,20 \cdot 10^9 \text{ см}^4$.

– для перегину: $I = 2,96 \cdot 10^6 \cdot (11,6 - 4,86) \cdot 10^2 = 1,995 \cdot 10^9 \text{ см}^4$.

За розрахунковий згинаючий момент для обшивки дна і надскулового поясу беремо момент, що викликає перегин корпусу, а для ширстреку і підширстречного поясу – що викликає прогин.

Критичні напруження $\sigma_{cr} = k\sigma_c$ визначаються за умови стійкості пластин, при цьому $k = 1$ для пластин.

Відношення σ_{cr}/R_{EH} визначає формулу для розрахунку ейлерових напружень:

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{EH} \leq 0,5, \quad \sigma_e = \sigma_{cr};$$

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{EH} > 0,5, \quad \sigma_e = 0,25R_{EH}^2/(R_{EH} - \sigma_{cr}).$$

де $R_{EH} = 315 \text{ МПа}$ (див. п. 7.1.3).

Товщина пластини зовнішньої обшивки, що відповідає умовам стійкості, визначається за формулою:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854n}} + \Delta S \text{ мм},$$

де b – сторона пластини, що сприймає нормальні стискаючі напруження, м;

n – коефіцієнт, що залежить від виду навантаження пластин (редукційного коефіцієнту ψ (див.табл.1.6.5.5-1) розподілу стискаючих напружень на кромці пластини) і відношення сторін $\gamma = a/b$;

ΔS – доповнення товщини на знос і корозію, мм (див.табл.1.6.5.5-2).

Розрахунок товщини листових конструкцій зовнішньої обшивки із умови стійкості приведений у табл. 7.4.

Ширина горизонтального кіля повинна бути не менш:

$$b_k = 800 + 5L = 800 + 5 \cdot 107,78 = 1459 \text{ мм}$$

і не більш 2000 мм. Прийнято $b_k = 1600 \text{ мм}$. Товщина його повинна бути на 2 мм більше товщини обшивки дна.

Товщину скулового поясу прийнято дорівнюючій товщині обшивки днища.

Ширину ширстреку прийнято дорівнюючій ширині горизонтального кіля $b_{ш} = 1600$ мм, а його товщину прийнято дорівнюючій товщині настилу верхньої палуби.

7.5.2 Проектування настилу верхньої палуби

Товщина настилу верхньої палуби із умови міцності визначається за формулою (7.5).

При цьому для верхньої палуби:

$m = 15,8$; $a = 0,8$ м – відстань між поперечними палубними балками; $b = 2,7$ м; $k = 1,2 - 0,5(a/b) = 1,2 - 0,5 \cdot (0,8/2,7) = 1,05$; $P = 17,6$ кПа (див. п. 7.3.1); $k_{\sigma} = 0,6$ для поперечної системи набору; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 1.3); $\Delta S = 1,2$ мм (див. табл. 7.2).

Товщина настилу верхньої палуби:

$$S = 15,8 \cdot 0,7 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{\frac{17,6}{0,6 \cdot 301}} + 1,2 = 5,34 \text{ мм.}$$

Мінімальна товщина для настилу верхньої палуби:

$$S_{\min} = (7 + 0,02 \cdot L) \sqrt{\eta} = (7 + 0,02 \cdot 131,8) \sqrt{0,78} = 8,51 \text{ мм.}$$

Стійкість пластин настилу верхньої палуби розраховується аналогічно розрахунку зовнішньої обшивки (див. п. 7.5.1). За розрахунковий згинаючий момент прийнято момент, що викликає прогин судна. Результати розрахунку наведено в таблиці 7.4.

7.5.3 Проектування настилу другого дна

Товщина настилу другого дна і міждонного листа з умови міцності визначається за формулою (7.5). При цьому:

$m = 15,8$; $P = 89$ кПа (див. п. 3.3.3); $k_{\sigma} = 0,8$ для поперечної системи набору; $a = 0,8$ м; $b = 2,7$ м; $k = 1,2 - 0,5(a/b) = 1,2 - 0,5(0,8/2,7) = 1,05$; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3); $\Delta S = 1,8$ мм (див. табл. 7.2).

Товщина настилу другого дна:

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{\frac{89}{0,8 \cdot 301}} + 1,8 = 9,1 \text{ мм.}$$

Мінімальна товщина для настилу другого дна:

$$S_{\min} = (5 + 0,035 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5 + 0,035 \cdot 131,8) \sqrt{0,78} = 8,5 \text{ мм.}$$

Розрахунок товщини настилу другого дна і міждонного листа із умови стійкості виконуємо аналогічно розрахунку товщини зовнішньої обшивки дна (див. п. 7.5.1). За розрахунковий згинаючий момент прийнято момент, що викликає перегин судна, $R_{EH} = 315$ МПа (див. п. 7.1.3). Результати розрахунку приведені в табл. 7.4.

7.5.4 Проектування настилу нижньої палуби

Товщина настилу нижньої палуби з умови міцності визначається за формулою (7.5). При цьому для нижньої палуби:

$m = 15,8$; $a = 0,8$ м – відстань між повздовжніми палубними балками; $b = 2,7$ м; $k = 1,2 - 0,5(a/b) = 1,2 - 0,5 \cdot (0,8/2,7) = 1,05$; $P = 28,1$ кПа (див. п. 7.3.4); $k_{\sigma} = 0,8$ для повздовжньої системи набору; $\sigma_H = 301$ МПа (див. п. 1.3); $\Delta S = 1,32$ мм (див. таблиця 7.2).

Товщина настилу нижньої палуби:

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot \sqrt{\frac{28,1}{0,8 \cdot 301}} + 1,32 = 6,0 \text{ мм.}$$

Мінімальна товщина для настилу нижньої палуби:

$$S_{\min} = (7 + 0,01 \cdot L) \sqrt{\eta} = (7 + 0,01 \cdot 131,8) \sqrt{0,78} = 7,4 \text{ мм.}$$

Настил нижньої палуби на стійкість не перевіряється.

Таблиця 7.4. Розрахунок товщин листових конструкцій на стійкість

Розрахункові величини	Перегин			Прогин		
	Обшивка дна	Надскуловий пояс зовнішнього борту	Настил другого дна	Підширст рековий пояс	Ширстрек	Верхня палуба
$M_{sw}, \text{кНм}$	$299 \cdot 10^3$	$299 \cdot 10^3$	$299 \cdot 10^3$	$-299 \cdot 10^3$	$-299 \cdot 10^3$	$-299 \cdot 10^3$
$M_w, \text{кНм}$	$363 \cdot 10^3$	$363 \cdot 10^3$	$363 \cdot 10^3$	$-434 \cdot 10^3$	$-434 \cdot 10^3$	$-434 \cdot 10^3$
$M_T, \text{кНм}$	$662 \cdot 10^3$	$662 \cdot 10^3$	$662 \cdot 10^3$	$733 \cdot 10^3$	$733 \cdot 10^3$	$733 \cdot 10^3$
$Z_i, \text{м}$	4,86	3,36	3,66	2,64	6,74	6,74
$\sigma_c, \text{МПа}$	161,3	111,5	121,4	88,0	225	225
$\sigma_{cr} = k \sigma_c, \text{МПа}$	161,3	111,5	121,4	88,0	225	225
σ_{cr} / R_{eH}	0,512	0,35	0,39	0,28	0,71	0,71
$\sigma_e, \text{МПа}$	161,3	111,5	121,4	88,0	275	275
$a, \text{м}$	2,1	2,1	2,7	2,1	2,1	2,1
$b, \text{м}$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Коефіцієнт ψ	1	0,77	1	0,85	0,911	1
Коефіцієнт n	11,7	12,3	16,3	11,8	11	10,9
$S' = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{(0,1854 \cdot n)}}$	6,89	5,60	5,07	5,08	9,29	9,31
$\Delta s, \text{мм}$	2,4	2,4	1,8	2,04	2,04	1,2
$S = \Delta s + S', \text{мм}$	9,3	8,0	6,9	7,1	11,3	10,5

Результати проектування листових конструкцій з урахуванням вимог міцності, стійкості і регламентованих Правилами мінімальних товщин приведені в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 Проектування листових конструкцій

Назва листової конструкції та умовні позначення її товщини	Значення товщин, мм			
	по міцності	по стійкості	мінімальна	прийнята
Обшивка днища $S_{дн}$	11,3	9,3	9,5	12
Горизонтальний киль S_k	—	—	—	14
Скуловий пояс $S_{ск}$	10,4	8,0	9,5	12
Надскуловий пояс $S_{нск}$	10,4	8,0	9,5	12
Обшивка борту на рівні ВВЛ S_b	6,87	8,0	9,5	10
Підширстрековий пояс $S_{пш}$	—	7,1	9,5	10
Ширстрек $S_{ш}$	6,03	11,3	9,5	12
Палубний стрінгер $S_{пс}$	—	—	—	12
Настил верхньої палуби $S_{вп}$	5,34	10,5	8,5	12
Настил нижньої палуби $S_{нп}$	6,0	—	7,4	8
Настил другого дна $S_{од}$	9,1	6,9	8,5	10
Настил другого дна під люком $S_{одл}$	—	—	—	12

7.5.5 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. Конструкція подвійного дна проектується за повздовжньою системою набору (рис. 7.1). Основний набір перекриття – це повздовжні балки днища і другого дна, розташовані через одну шпацию $a = 0,8$ м. Суцільні флори розташовуються через кожні чотири шпациї $a_0 = 3,2$ м,

водонепроникні флори – під кожною поперечною перебіркою. У діаметральній площині судна (ДП) розташований вертикальний киль.

7.5.5.1 Проектування конструкції флорів

Висота суцільного флора дорівнює висоті вертикального кіля $h_{фл} = 1,2$ м.

Посередині висоти флора розміщуються лази, вертикальний розмір яких не повинний перевищувати половину висоти флора 0,6 м: прийнято

$h_{фл} = 600$ мм. Ці вирізи підкріплюються ребрами жорсткості, площа перерізу яких повинна компенсувати площу поперечного перерізу вирізу. Товщина суцільного флора визначається за формулою:

$$S = \alpha k a \sqrt{\eta} + \Delta S \text{ мм},$$

де $\alpha = 0,023L + 5,8 = 0,023 \cdot 107,78 + 5,8 = 8,83$;

$\eta = 0,78$ (див.табл.7.1);

$k = k_1 k_2$;

k_1, k_2 – коефіцієнти, які визначаються відповідно за табл. 2.4.4.3-1 і

2.4.4.3-2:

$k_1 = 1,65$ при $a_{\phi}/a_0 = 3,2/0,8 = 4$,

де $a_{\phi} = 3,2$ м – відстань між суцільними флорами;

$a_0 = 0,8$ м – подовжня шпация;

$k_2 = 0,86$ при двох стрингерах на один борт;

$k = 1,65 \cdot 0,86 = 1,419$

$a = 0,8$ м – відстань між ребрами жорсткості флора, що дорівнює шпация;

$\Delta S = 2,4$ мм (див. таблиця 7.2). Тоді:

$$S = 8,83 \cdot 1,419 \cdot 0,8 \sqrt{0,78} + 2,4 = 11,3 \text{ мм}.$$

Мінімальна будівельна товщина суцільного флора:

$$S_{\min} = 0,035L + 6 = 0,035 \cdot 131,8 + 6 = 10,6 \text{ мм}.$$

З урахуванням вимог мінімальної товщини прийнято $S_{сф} = 12$ мм.

Товщина непроникного флора визначається за формулою (7.5), при цьому:

$m = 15,8$; $k_{\sigma} = 0,85$; $a = 0,8$ м, $b = 3,2$ м; $k = 1,2 - 0,5 \cdot (0,8/3,2) = 1,075$;

$\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3); $\Delta S = 2,4$ мм (див. табл. 7.2).

Розрахунковий тиск $P = 89$ кПа;

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1,075 \cdot \sqrt{\frac{89}{0,85 \cdot 301}} + 2,4 = 10,4 \text{ мм}.$$

Згідно з п.2.4.4.3.3 товщина непроникного флора повинна бути не менше мінімальної будівельної товщини суцільного флора, тому прийнято товщину непроникного флора 12 мм.

7.5.5.2 Проектування вертикального кіля і днищових стрингерів

Висота вертикального кіля $h_{вк} = 1,2$ м (див. п. 7.1.2). Товщина вертикального кіля визначається за формулою (2.4.4.2.1.):

$$S = \alpha_k h \frac{h}{h_\phi} \sqrt{\eta} + \Delta S \text{ мм},$$

де $\alpha_k = 0,03L + 8,3$, але не більше ніж 11,2;

$$\alpha_k = 0,03 \cdot 107,78 + 8,3 = 12,3, \text{ приймаємо } \alpha_k = 11,2$$

$$\eta = 0,78 \text{ (див. табл. 7.1);}$$

$h = 1,2$ м – необхідна згідно (7.1) висота вертикального кіля;

$h_\phi = 1,2$ м – фактична висота вертикального кіля;

$$\Delta S = 2,4 \text{ мм (див. табл. 7.2);}$$

$$S = 11,2 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,2}{1,2} \sqrt{0,78} + 2,4 = 14,0 \text{ мм.}$$

Товщина вертикального кіля повинна бути на 1 мм більша від товщини суцільного флора і не менша, ніж:

$$S_{\min} = 0,035L + 6 = 0,035 \cdot 131,8 + 6 = 10,6 \text{ мм.}$$

Товщина непроникних ділянок вертикального кіля визначається також за формулою (7.5), при цьому:

$$m = 15,8; k_\sigma = 0,75; a = 0,8 \text{ м; } k = 1,2 - 0,5a/h_\phi = 1,2 - 0,5 \cdot 0,8/1,2 = 0,9;$$

$\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3); $\Delta S = 2,4$ мм (див. табл. 7.2). Розрахунковий тиск приймається такий же як і для непроникного флора $P = 89$ кПа;

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{89}{0,75 \cdot 301}} + 2,4 = 9,5 \text{ мм.}$$

з урахуванням вимог мінімальної товщини і того що товщина стрингера повинна бути не менш товщини суцільного флору, прийнято:

$$\text{для вертикального кіля } S_{вк} = 14 \text{ мм,}$$

$$\text{для днищового стрингера } S_{дк} = 14 \text{ мм.}$$

7.5.5.3 Проектування балок основного набору

Момент опору повздовжніх балок основного набору повинний бути не менш визначеного за формулою (7.2), при цьому: $m = 12$, $P = 87,9$ кПа для балок

днища і $P = 89$ кПа для балок другого дна; $l = 3,2$ м – прогін балок між суцільними флорами; $a = 0,8$ м; $k_\sigma = 0,45$ для балок днища і $k_\sigma = 0,6$ для балок другого дна: $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3); $k = 1,1$ – коефіцієнт запасу за стійкістю (для поздовжніх балок основного набору).

Для балок днища:

$$Q = 87,9 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 225 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{225 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 301} = 443 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{443} \right) = 0,082;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,082 \cdot 2,4 = 1,196;$$

$$W = W' w_k = 443 \cdot 1,196 = 529 \text{ см}^3.$$

Прийнято штабобульб симетричний 27812 з такими характеристиками $W = 660 \text{ см}^3$, $f = 48,33 \text{ см}^2$, $i = 13800 \text{ см}^4$.

Стійкість ребра жорсткості розраховується за умовою виразу (7.7), при цьому за розрахункові стискаючі напруження прийнято напруження від згинаючого моменту, що викликає перегин судна, на рівні середини другого дна (див. п. 7.2.3): за виразом (7.17) $z_i = e - 0,5 h_{\partial\partial} = 4,86 - 0,5 \cdot 1,2 = 4,26$ м.

Критичні напруження визначаються в залежності від ейлерових напружень σ_e , які визначаються за формулою (7.8), де $l = 3,2$ м:

$$\sigma_c = \frac{662 \cdot 10^3}{1,995 \cdot 10^9} 4,26 \cdot 10^5 = 141,4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_e = (206 \cdot 13800) / (48,33 \cdot 3,2^2) = 5744 \text{ МПа};$$

при $\sigma_e / R_{EH} = 5744 / 315 = 18,2 \geq 0,5$:

$$\sigma_{cr} = R_{EH} (1 - R_{EH} / 4 \sigma_e) = 315 (1 - 315 / (4 \cdot 5744)) = 311 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 141,4 = 156 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c = 156 \text{ МПа} \leq \sigma_{cr} = 311 \text{ МПа}.$$

Так умова стійкості і вимоги п. 7.2.2 виконуються, прийнято для поздовжніх балок днища штабобульб симетричний.

Для балок другого дна:

$$Q = 89 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 228 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{228 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301} = 337 \text{ см}^3,$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{337} \right) = 0,086;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,086 \cdot 2,4 = 1,206;$$

$$W = W' w_k = 337 \cdot 1,206 = 406 \text{ см}^3.$$

Прийнято штабобульб симетричний 2468 з такими характеристиками $W=420 \text{ см}^3, f=33,17 \text{ см}^2, i=7530 \text{ см}^4$.

Стійкість ребра жорсткості розраховується за умовою виразу (7.7), при цьому за розрахункові стискаючі напруження прийнято напруження від згинаючого моменту, що викликає перегин судна, на рівні середини другого дна: за виразом (7.17) $z_i=4,26 \text{ м}$. Критичні напруження визначаються в залежності від ейлерових напружень σ_e , які визначаються за формулою (7.8), де $l = 3,2 \text{ м}$:

$$\sigma_c = \frac{662 \cdot 10^3}{1,995 \cdot 10^9} 4,26 \cdot 10^5 = 141 \text{ МПа};$$

$$\sigma_e = (206 \cdot 7530) / (33,17 \cdot 3,2^2) = 4566 \text{ МПа};$$

при $\sigma_e / R_{EH} = 4566 / 315 = 14,5 \geq 0,5$:

$$\sigma_{cr} = R_{EH} (1 - R_{EH} / 4 \sigma_e) = 315 (1 - 315 / (4 \cdot 4566)) = 310 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 141,0 = 155,1 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c = 156 \text{ МПа} \leq \sigma_{cr} = 310 \text{ МПа}.$$

Так умова стійкості і вимоги п. 7.2.2 виконуються, прийнято для поздовжніх балок другого дна штабобульб симетричний 2468.

7.5.6 Проектування конструкцій борту

У районі вантажного відсіку зовнішня обшивка борту підкріплюється основним набором – шпангоутами. Рамні шпангоути і бортові стрингери відсутні в трюмному та між палубному приміщеннях.

7.5.6.1 Проектування балок основного набору (шпангоутів)

Момент опору шпангоута повинен бути не менший від визначеного за формулою (7.2), при цьому: $m = 18$, $P = 49,5$ кПа; $l = 5,7$ м – прогін шпангоута між внутрішнім дном і нижньою палубою, м; $a = 0,8$ м; $k_\sigma = 0,65$; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3);

$$Q = 49,5 \cdot 0,8 \cdot 5,70 = 226 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{226 \cdot 5,70 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 301} = 365 \text{ см}^3,$$

$$\alpha_\kappa = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{365} \right) = 0,085;$$

$$w_\kappa = 1 + \alpha_\kappa \cdot \Delta S = 1 + 0,085 \cdot 1,2 = 1,102;$$

$$W = W' \omega_k = 365 \cdot 1,102 = 403 \text{ см}^3.$$

Прийнято штабобульб симетричний 2468 ($W = 442 \text{ см}^3$, $I = 9100 \text{ см}^2$).

Момент опору шпангоута в міжпалубному приміщенні повинен бути не менший від визначеного за формулою (7.2), при цьому: $m = 10$, $P = 17,6$ кПа; $l = 4,7$ м – прогін шпангоута між внутрішнім дном і нижньою палубою, м; $a = 0,8$ м; $k_\sigma = 0,65$; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3).

$$Q = 17,6 \cdot 0,8 \cdot 4,7 = 66,2 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{66,2 \cdot 4,7 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,65 \cdot 301} = 192,8 \text{ см}^3,$$

$$\alpha_\kappa = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{192,8} \right) = 0,101;$$

$$w_\kappa = 1 + \alpha_\kappa \cdot \Delta S = 1 + 0,101 \cdot 1,2 = 1,121;$$

$W = W' \omega_k = 192,8 \cdot 1,121 = 216 \text{ см}^3$. Прийнято штабобульб симетричний 1858

($W = 221 \text{ см}^3$, $I = 3620 \text{ см}^4$) [4].

7.5.6.2. Закріплення кінців шпангоутів

З'єднання балок набору, як правило, повинне виконуватись встик.

Розміри книць, c , см, які з'єднують балки основного набору, визначаються по формулі: $c = 5\sqrt{\frac{W}{S}}$,

де W – момент опору, см^3 , перерізу балки, що закріплюється, який вимагається Правилами; S – товщина, мм, книць.

Товщина книць приймається рівною товщині стінки балки, що закріплюється. Товщина книць може бути зменшена на 1 мм, якщо товщина стінки більше 7 мм; на 2 мм, якщо товщина стінки більше 12 мм. Якщо книця з'єднує дві балки різного профілю, то при визначенні розмірів книць використовуються характеристики меншого з двох профілів.

Висота книць h повинна бути не менше 0,7 розміру c . При довжині вільної кромки l , мм, більше $45S$ (S – товщина, мм, книць), вільна кромка підкріплюється фланцем або пояском. Ширина фланцю повинна бути не менше 50 мм, ширина пояску – не менше 75 мм. Товщина пояску книць не повинна бути менше товщини книць.

7.5.7 Проектування конструкції верхньої палуби

Конструкція верхньої палуби має повздовжню систему набору. Основний набір – це повздовжні палубні балки, які мають опори на рамних бімсах і поперечних перегородках. Висота стінки діафрагми з ребром жорсткості під палубою, на яку спираються балки, розраховується як для рамного бімсу.

7.5.7.1 Проектування конструкції повздовжніх палубних балок

Мінімальний момент опору повздовжніх палубних балок визначається за формулою (7.2), при цьому: $P = 17,6$ кПа – розрахунковий тиск, прийнятий як і для настилу палуби; $m=12$; $a=0,8$ м – відстань між повздовжніми балками; $l=3,2$ м – відстань між бімсами; $k_\sigma=0,45$; $\sigma_n = 301$ МПа, $\kappa = 1,1$ – коефіцієнт запасу за стійкістю.

$$Q = 17,6 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 45,1 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{45,1 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 301} = 88,7 \text{ см}^3,$$

$$\alpha_\kappa = 0,07 + 6 / W = 0,07 + 6 / 88,7 = 0,138;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,138 \cdot 1,5 = 1,206;$$

$$W = W' \omega_k = 88,7 \cdot 1,206 = 107 \text{ см}^3.$$

Прийнято штабобульб несиметричний 14⁶ (W= 112 см³, I = 1398 см², f=16,9 см²).

Стійкість повздовжніх балок розраховується за умовою виразу (7.7).

$$\sigma_c = \frac{733000}{2,20 \cdot 10^9} 6,74 \cdot 10^5 = 225 \text{ МПа};$$

$$\sigma_e = (206 \cdot 1398) / (16,9 \cdot 3,2^2) = 1664 \text{ МПа};$$

при $\sigma_e / R_{EH} = 1664 / 315 = 5,3 \geq 0,5$:

$$\sigma_{cr} = R_{EH}(1 - R_{EH} / 4\sigma_e) = 315(1 - 315 / (4 \cdot 1664)) = 300 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 225 = 248 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c = 248 \text{ МПа} \leq \sigma_{cr} = 300 \text{ МПа}.$$

Умова стійкості виконується.

7.5.7.2 Проектування рамного бімсу

Мінімальний момент опору площі поперечного перерізу рамного бімсу визначається за формулою (7.2), де розрахунковий тиск $P=17,6$ кПа приймається такий же, як і для повздовжніх палубних балок (див. п. 7.5.7.1); $m = 10$; $a = 3,2$ м – відстань між бімсами; $l=2,95$ м – прогін рамного бімсу; $k_\sigma=0,65$; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3).

$$Q = 17,6 \cdot 3,2 \cdot 2,95 = 166,1 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{166,1 \cdot 2,95 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,65 \cdot 301} = 250 \text{ см}^3,$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{250} \right) = 0,093;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,093 \cdot 1,5 = 1,140;$$

$$W = W' \omega_k = 250 \cdot 1,140 = 285 \text{ см}^3.$$

Товщина стінки рамного бімса повинна бути не менше від визначеної за формулою:

$$f_c = f'_c \cdot \omega_k;$$

$$f'_c = \frac{10 N_{\max}}{k_\tau \tau_n}$$

де $N_{\max}=0,5Pa_1$, кН; $P=17,6$ кПа – розрахунковий тиск на рамний бімс; $a=3,2$ м - відстань між рамними бімсами; $k_\tau=0,65$; $l=2,95$ м, - прогін рамного бімса між опорами, $\tau_n = 172$ Мпа (див.п.7.1.3).

$$N_{\max}=0,5Pa_1=0,5 \cdot 17,6 \cdot 3,2 \cdot 2,95 = 83,1 \text{ кН};$$

$$f'_c = \frac{10 N_{\max}}{k_\tau \tau_n} = \frac{10 \cdot 83,1}{0,65 \cdot 172} = 7,43 \text{ см}^2;$$

$$f_c = f'_c \cdot \omega_k = 7,43 \cdot 1,140 = 8,50 \text{ см}^3.$$

Прийнято штабобульб симетричний 20610 ($W=305 \text{ см}^3$).

7.5.7.3 Проектування бімсу НП

Мінімальний момент опору площі поперечного перерізу бімсу НП визначається за формулою (7.2), де розрахунковий тиск $P=28,1$ кПа (див.п.7.3.4); $m = 10$; $a = 0,8$ м – відстань між бімсами; $l=2,95$ м – прогін рамного бімсу; $k_\sigma = 0,65$; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3).

$$Q = 28,1 \cdot 0,8 \cdot 2,95 = 66,3 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{66,3 \cdot 2,95 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,65 \cdot 301} = 100,0 \text{ см}^3,$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6 / W = 0,07 + 6 / 100,0 = 0,130;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,130 \cdot 1,5 = 1,195;$$

$$W = W' \omega_k = 100,0 \cdot 1,195 = 119,5 \text{ см}^3.$$

Прийнято штабобульб симетричний 1646 ($W=147 \text{ см}^3$, $I = 2190 \text{ см}^4$).

7.5.7.4 Проектування комінгс-карлінгса ВП

Мінімальний момент опору поперечного перерізу комінгсу вантажного люку як складеної балки з ребрами жорсткості визначається за формулою:

$$W = W' \omega_k + \Delta W,$$

де W' – дивись п. 7.2.1; ΔW – додаток моменту опору, розрахований збільшенням товщини елементів профілю на величину ΔS [4]; $P = 0,7P_{w6} =$

$=0,7 \cdot 17,6 = 12,32$ кПа – тиск на ВП; $m = 10$; $a = 5,225$ м – ширина яка дорівнює половині доданих відстаней між комінгс-карлінгсом і бортом та між комінгс-карлінгсами; $l = 3,2$ м – прогін комінгс-карлінгса; $k_\sigma = 0,35$; $\sigma_n = 301$ МПа (див. п. 7.1.3).

$$Q = 12,32 \cdot 5,225 \cdot 3,2 = 206 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{206 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,35 \cdot 301} = 626 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{626} \right) = 0,077;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,077 \cdot 1,5 = 1,116;$$

$$\Delta W = 0,1h\Delta S \left[b + \frac{h}{6} \left(2 - \frac{2b+h}{2b_{nn}+h} \right) \right];$$

де $h = 50$ – висота стінки балки, см; $\Delta S = 1,5$ – запас на знос і корозію, мм; $b = 30$, $b_{nn} = 160$ – ширина відповідно вільного і приєднаного поясів балки, см [4].

$$\Delta W = 0,1 \cdot 50 \cdot 1,5 \left[30 + \frac{50}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot 30 + 50}{2 \cdot 160 + 50} \right) \right] = 331 \text{ см}^3;$$

$$W = W' \omega_k + \Delta W = 626 \cdot 1,116 + 331 = 1030 \text{ см}^3.$$

Площа стінки карлінгсу верхньої палуби визначається за формулою [4]:

$$f_c = f'_c + 0,1h\Delta S; \quad (1.6.4.3-1)$$

$$f'_c = \frac{10N_{\max}}{k_\tau \tau_n}; \quad (1.6.4.3-2)$$

де f'_c – площа поперечного перерізу стінки балки без урахування запасу на знос, см²; $N_{\max} = nPal$ – максимальна величина перерізувальної сили, кН; $n = 0,5$ – коефіцієнт, який визначається у відповідних розділах Правил [11]; $k_\tau = 0,65$ – коефіцієнт допустимих дотичних напружень [11]; $h = 50$ – висота стінки балки, см; $\tau_n = 172$ Мпа (див. п. 7.1.3).

$$N_{\max} = 0,5 \cdot 12,32 \cdot 5,225 \cdot 3,2 = 206 \text{ кН};$$

$$f'_c = \frac{10206}{0,65 \cdot 172} = 18,4 \text{ см}^2;$$

$$f_c = f'_c + 0,1h\Delta S = 18,4 + 0,1 \cdot 50 \cdot 1,5 = 25,9 \text{ см}^2.$$

За отриманими даними вибираємо составну балку (рис.7.4), перевірку якої виконаємо в таблиці 7.6.

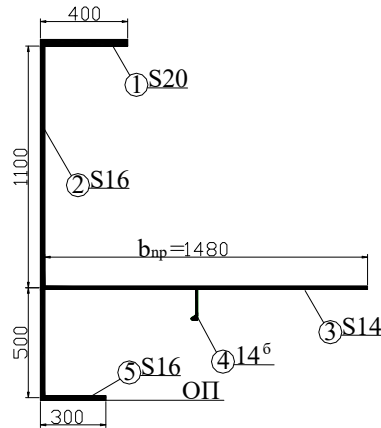


Рис 7.4. Комінгс-карлінгс ВП

Положення центру тяжіння:

$$Z_c = \Sigma_2 / \Sigma_1 = 43670 / 608 = 71,8 \text{ см.}$$

Момент інерції перерізу:

$$I_c = 2 \left[(\Sigma_3 + \Sigma_4) - Z_c^2 \cdot \Sigma_1 \right] = 2 \left[(4123494 + 54613) - 71,8^2 \cdot 608,1 \right] = 1974898 \text{ см}^4$$

Момент опору перерізу:

$$W_c = I_c / (Z_{\max} - Z_c) = 1974898 / (160 - 71,8) = 22391 \text{ см}^3,$$

де $Z_{\max} = 160 \text{ см}$ – висота стінки.

$W_c = 22391 \text{ см}^3 > W = 1030 \text{ см}^3$ – умова виконується.

7.5.7.5 Проектування карлінгса НП

Мінімальний момент опору поперечного перерізу комінгсу вантажного люку як складеної балки з ребрами жорсткості визначається за формулою :

$$W = W' \omega_k,$$

де W' - див. п. 7.2.1; $P = 28,1 \text{ кПа}$; $m = 10$; $a = 5,225 \text{ м}$ – ширина яка дорівнює половині доданих відстаней між карлінгсом і бортом та між карлінгсами; $l = 3,2 \text{ м}$ – прогін карлінгса; $k_\sigma = 0,7$; $\sigma_n = 301 \text{ МПа}$ (див. п. 7.1.3).

$$Q = 28,1 \cdot 5,225 \cdot 3,2 = 470 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{470 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,7 \cdot 301} = 714 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{714} \right) = 0,076;$$

$$w_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,076 \cdot 1,5 = 1,114;$$

$$W = W' \omega_k = 714 \cdot 1,114 = 795 \text{ см}^3.$$

Вибираємо составну балку (рис 7.5), перевірку якої виконаємо в таблиці 7.7.

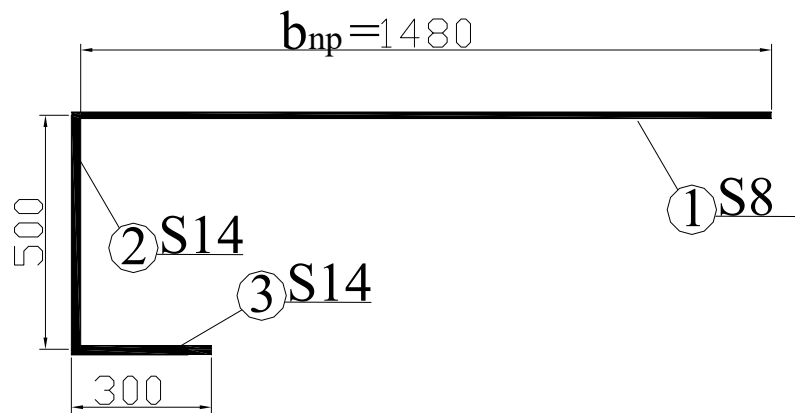


Рис. 7.5. Карлінгс НП

Положення центра тяжіння

$$Z_C = \Sigma_2 / \Sigma_1 = 7849 / 230 = 34,1 \text{ см.}$$

Момент інерції перерізу:

$$I_C = 2 \left[(\Sigma_3 + \Sigma_4) - Z_C^2 \cdot \Sigma_1 \right] = 2 \left[(369984 + 11443) - 34,1^2 \cdot 230 \right] = 227961 \text{ см}^4$$

Момент опору перерізу:

$$W_C = I_C / (Z_{\max} - Z_C) = 227961 / (50 - 34,1) = 14337 \text{ см}^3,$$

де $Z_{\max} = 50 \text{ см}$ – висота стінки.

$W_C = 14337 \text{ см}^3 > W = 795 \text{ см}^3$ – умова виконується.

7.6 Перевірка загальної повздовжньої міцності корпусу судна

Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса виконується в табл. 7.8. Схема еквівалентного бруса показана на рис. 7.6. У розрахунку порівняльна вісь співпадає з основною площиною.

За результатами табл. 7.8 маємо:

- 1) площа еквівалентного бруса:

$$P_{\text{еб}} = 2\Sigma F_i = 2 \cdot 5640 = 11280 \text{ см}^2;$$

- 2) відстань нейтральної осі від осі порівняння:

$$e = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} = \frac{22650}{5640} = 4,3 \text{ м};$$

- 3) центральний момент інерції поперечного перерізу корпусу судна відносно нейтральної осі:

$$I = 2[(\Sigma_3 + \Sigma_4) - e^2 \Sigma_1] = 2 \cdot [(193024 + 602) - 4,3^2 \cdot 5640] = 22,0 \text{ м}^4;$$

- 4) фактичний момент опору поперечного перерізу корпусу:

— для верхньої палуби:

$$W_d^\phi = I / (D - e) = 22,0 / (11,6 - 4,3) = 3,01 \text{ м}^3 > W_d^H = 2,96 \text{ м}^3;$$

— для днища:

$$W_b^\phi = I / e = 22,0 / 4,3 = 5,10 \text{ м}^3 > W_b^H = 3,27 \text{ м}^3.$$

Оскільки фактичні значення моментів опору днища і верхньої палуби не менше необхідних мінімальних значень (див. п. 7.4), загальна повздовжня міцність корпусу судна вважається забезпеченою.

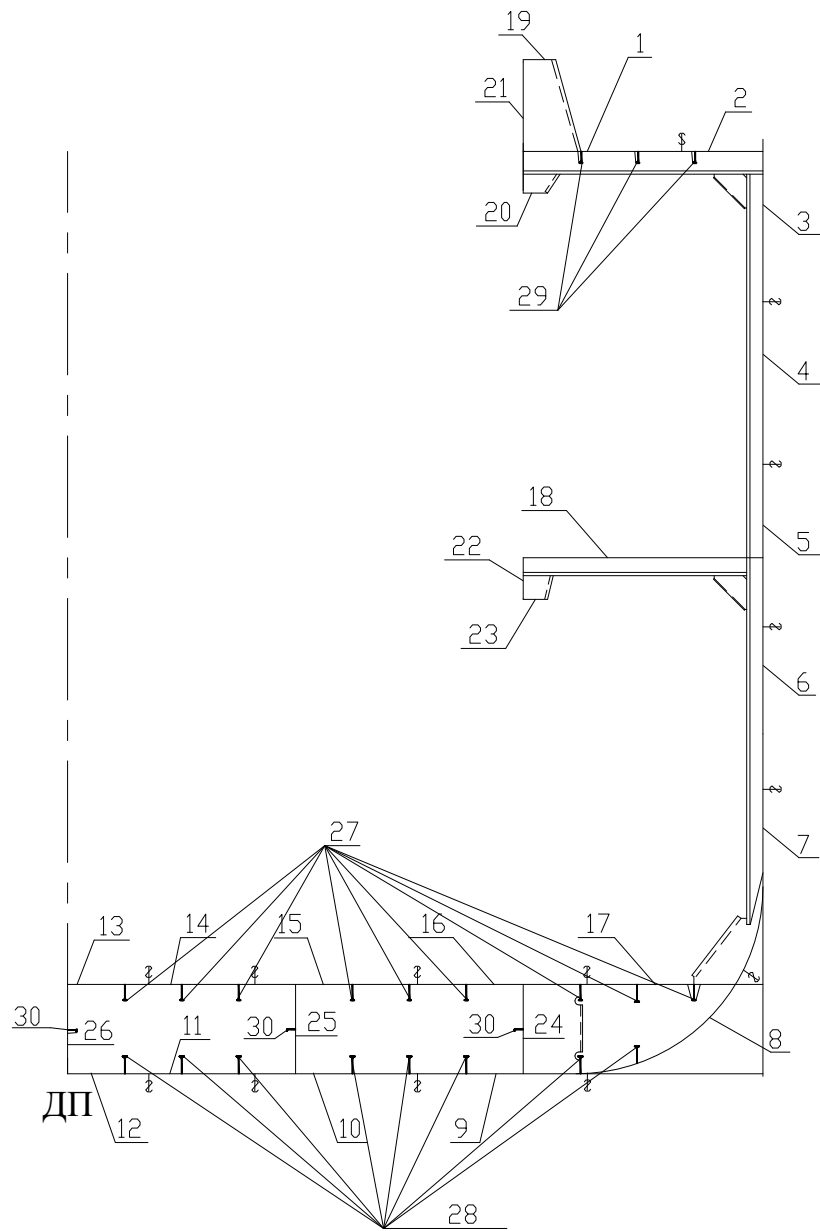


Рисунок 7.6 Схема еквівалентного бруса

Таблиця 7.8. Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса

№ в'язі в еквівалентному брусі	Найменування в'язів еквівалентного бруса	Розміри в'язів, мм	Площа поперечного перерізу в'язів $F, \text{см}^2$	Відстань центру тяжіння перерізу в'язі від осі порівн. $z, \text{м}$	Статичний момент Fz площі перерізу в'язів відносно осі порівняння, $\text{см}^3\text{м}$	Момент інерції площі перерізу в'язів від – носно осі порівняння $Fz^2, \text{см}^2\text{м}^2$	Власний момент інерції площі перерізу в'язів $i, \text{см}^2\text{м}^2$
1	Лист настилу ВП	12x2000	240	11,32	2717	30754	-
2	Палубний стрингер	12x1200	144	11,32	1630	18453	-
3	Ширстрек	12x2000	240	10,4	2496	25958	80,0
4	Лист обшивки борту	10x2000	200	9,47	1894	17936	66,7
5	Лист обшивки борту	10x2000	200	7,47	1494	11160	66,7
6	Лист обшивки борту	12x2000	240	5,47	1313	7181	80,0
7	Лист обшивки борту	12x2000	240	3,47	833	2890	80,0
8	Скуловий лист	12x2250	270	1,46	394	576	113,9
9	Лист обшивки днища	12x2000	240	0	0	0	-
10	Лист обшивки днища	12x2000	240	0	0	0	-
11	Лист обшивки днища	12x2000	240	0	0	0	-
12	Горизонтальний кіль	14x800	112	0	0	0	-
13	Лист настилу подвійного дна	12x1200	144	1,3	187	243	-
14	Лист настилу подвійного дна	10x2000	200	1,3	260	338	-
15	Лист настилу подвійного дна	10x2000	200	1,3	260	338	-
16	Лист настилу подвійного дна	10x2000	200	1,3	260	338	-
17	Лист настилу подвійного дна	10x2000	200	1,3	260	338	-
18	Лист настилу НП	8x3200	256	5,6	1434	8028	-
19	Полка комінгсу ВП	20x400	80	12,42	993	12341	-
20	Полка карлінгсу ВП	20x300	60	11,1	666	7393	-
21	Стінка комінгс-карлінгсу ВП	16x1600	256	11,8	3021	35645	54,6
22	Стінка карлінгсу НП	14x500	70	5,35	374	2004	0
23	Полка карлінгсу НП	14x300	42	5,1	214	1092	-
24	Днищовий стрінгер	14x1300	168	0,65	109,2	71	20,2
25	Днищовий стрінгер	14x1300	168	0,65	109,2	71	20,2
26	Вертикальний кіль	14x1300	168	0,65	109,2	71	20,2
27	Р.ж. подвійного дна	2468, 9шт	299	1,08	322	348	-
28	Р.ж. днища	27812, 8шт	435	0,135	58,7	7,93	-
29	Р.ж. ВП	14 ⁶ , 3 шт.	63,6	11,2	712	7978	-
30	Р.ж. дн.стрінгера	2468, 3 шт.	99,5	0,6	59,7	35,8	-
Σ		-	Σ ₁ =5702	-	Σ ₂ =21536	Σ ₃ =191605	Σ ₄ =602

1) площа еквівалентного бруса

$$P_{e6} = 2\Sigma_1 = 2 \cdot 5702 = 11404 \text{ см}^2;$$

2) відстань нейтральної осі від осі порівняння

$$e = \Sigma_1 / \Sigma_2 = 21536 / 5704 = 3,7 \text{ м};$$

3) центральний момент інерції поперечного перерізу корпусу судна відносно нейтральної осі:

$$I = 2[(\Sigma_3 + \Sigma_4) - e^2 \Sigma_1] = 2 \cdot [(191605 + 602) - 3,7^2 \cdot 5702] = 23 \text{ м}^4;$$

4) фактичний момент опору поперечного перерізу корпусу:

для верхньої палуби

$$W_d^\phi = I / (D - e) = 22,5 / (11,32 - 3,7) = 3,02 \text{ м}^3 > W_d^H = 2,99 \text{ м}^3;$$

для днища

$$W_b^\phi = I / e = 23,0 / 3,7 = 6,21 \text{ м}^3 > W_b^H = 3,28 \text{ м}^3.$$

Таким чином геометричні характеристик еквівалентного бруса відповідають вимогам Регістру.

РОЗДІЛ 8. ПРИНЦИПОВА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ СУДНА

8.1 Головні розмірювання судна

- довжина найбільша	$L_{\text{нб}}=114,71 \text{ м};$
- довжина між перпендикулярами	$L=107,78 \text{ м};$
- ширина	$B=18,21 \text{ м};$
- висота борту	$D=10,72 \text{ м};$
- осадка	$d=6,60 \text{ м};$
- дедвейт	$D_w=8000 \text{ т.}$

8.2 Виготовлення деталей корпусу

8.2.1 Виготовлення деталей корпусу з листа і профілю виконується на механізованих лініях цеху № 1 у прольотах 1...4. Обробка металу розділена на 7 запусків. Запуск металу в обробку виконується в наступній послідовності:

- 1-й запуск – кормові секції, корма від ОП до палуби юта;
- 2-й запуск – носові секції;
- 3-й запуск – днищеві і бортові секції, фундамент під кран;
- 4-й запуск - днищеві і бортові секції, фундамент під кран;
- 5-й запуск - днищеві і бортові секції, секції поперечних перегородок;
- 6-й запуск - днищеві і бортові секції;
- 7-й запуск - секції надбудови;
- 8-й запуск – люкові закриття;
- 9-й запуск – фундаменти, пристрої, вентиляційні канали.

8.2.2 Комплектація металу на попереднє виправлення, очищення і ґрунтовку виконується по запусках, типорозмірам, а також відповідно до черговості обробки листів. Після ґрунтовки кожен лист маркірується номером картки для порізки.

8.2.3 Різання листів деталей виконується по керуючим програмам з розміткою установки набору і ліній для контролю гнучкості.

8.2.4 Після виготовлення деталей виконується округлення вільних кромek радіусом 1,5 мм згідно ТУ-000-56041-162-94 і їх ґрунтування.

8.2.5 Гнуття листового і профільного прокату виробляється по шаблонах чи металевим каркасам, виготовленим по місцю.

8.2.6 Після виготовлення плоскі деталі проходять остаточне виправлення.

8.2.7 Комплектація деталей на зборку виконується по комплектувальній відомості з урахуванням відомості комплектації на вузлову зборку.

8.2.8 Після порізки листів ділові відходи маркіруються відповідно до відомості і здаються на склад. Ділові відходи можуть використовуватися тільки за узгодженням з Технічним відділом.

8.3 Виготовлення вузлів корпусних секцій

8.3.1 Виготовлення вузлів набору об'ємних кормових і носових секцій, днищевих і бортових секцій передбачається на спецділянках цехів № 2, 11.

8.3.2 Зборка вузлів вентиляційних каналів, пристроїв, виготовлення підсекцій, стінок і вигоронок передбачається на площах цеху № 2 (4 – 7 прольоти).

8.3.3 При виготовленні вузлів передбачається округлення всіх вільних кромek згідно ТУ-000-56041-162-94, а також ґрунтування виконаних зварних швів і округлених кромek.

8.4 Виготовлення корпусних секцій

8.4.1 Виготовлення корпусних секцій передбачається на площі цехів № 2, 11.

8.4.2 Розподіл обсягу робіт між цехами :

8.4.2.1 Цех № 2 виготовляє секції:

- носової кінцевості;
- кормової кінцевості з роз'ємом по ДП;
- спонсонів;

- надбудови з роз'ємом по ДП;
- перегородок з роз'ємом по ДП;
- фундаменти, вентиляційні канали, щогли, фундаменти під кран.

8.4.2.2 Цех № 11 виготовляє:

- днищеві секції з роз'ємом по ДП;
- кришки люкових закриттів, бортові секції;

Днищеві секції, крім обговорених особливо, виготовляються від борта до борта. Транспортування секцій з цеху № 11 у цех № 2 передбачається за допомогою трейлера вантажопідйомністю 350 т під кран “Фламінго”. Подальша передача секцій до місця установки здійснюється на судовозних балках.

8.4.3 Особливості виготовлення секцій

8.4.3.1 При виготовленні секції передбачається мінімальне виготовлення стієчних постілей для зборки криволінійних секцій. Конструкції збираються:

- днищеві секції – на другому дні;
- секції (п/с дейдвудної труби) – на кінцевих перебірках (установка обшивки по набору);
- носові, кормові секції, секції надбудови збираються в об'єм на палубах у стієчних постілях;
- складання секції фальшборту передбачається на стапелі на контрфорсах подетально.

У зв'язку з тим, що всі об'ємні секції мають значну висоту для установки, зборки і зварювання зовнішньої обшивки, передбачається застосування риштування на приварних кронштейнах, виготовленого по місцю, по типовому кресленню.

8.4.3.2 При виготовленні секцій передбачається установка наступних конструкцій:

- привального бруса (в бортових і об'ємних секціях);
- деталей спускних отворів і їхнє маркірування в днищових секціях;

- контейнерних стаканів у днищових секціях;
- стаканів для найтовів;
- деталей протекторного захисту, фундаментів.

8.4.3.3 Усі вільні кромки секцій повинні бути закруглені при їхньому виготовленні, залишки складських пристосувань вилучені, місця їхньої установки зачищені. Секції виготовляються без припусків.

8.4.3.4 При виготовленні секцій передбачається прогрів із гладкої сторони місць з'єднання набору з листами настилів і обшивкою для усунення деформації (бухтинуватості) листів.

8.4.3.5 Усі секції підлягають зважуванню після їхнього виготовлення зі складанням актів.

8.4.3.6 Попереднє укрупнення

До передачі на стапель передбачається укрупнення 3-х ярусів надбудови (загальною масою до 40 т).

8.5 Стапельні роботи

8.5.1 Формування корпусу судна здійснюється в 9-м прольоті БКЦ-2 на першому і другому стапельних місцях. Розміщення судна на стапельних місцях у відповідності зі схемою № Т-ОКТ-2001-23.02, розробленої для суден пр. 372Н.

8.5.2 У 9-м прольоті БКЦ-2 виробляється:

- формування корпусу в районі J шп.... корми, при цьому установка секцій бортових виконується після подачі всіх інших секцій до місця установки;
- формування підводної частини гвинторульового комплексу.

8.5.3 На першому стапельному місці:

8.5.3.1 Формується:

- носовий напівкорпус;
- кормовий напівкорпус.

8.5.3.2 Установлюється димова труба, укрупнений блок надбудови, щогли.

8.5.4 За допомогою пристрою поперечного переміщення напівкорпуси і циліндрична вставка передаються на друге стапельне місце.

8.5.5 На другому стапельному місці виробляється стикування корпуса. Здійснюється підготовка судна до спуска.

8.6 Застосовуване оснащення

8.6.1 Передбачається використання всього оснащення, розробленого і замовленого для проекту 372Н. При цьому підлягають поновленню:

- обухи – 25%;
- рибини – 25%;
- стійки стієчних постілей – 25%;
- упори для фіксування контрфорсів вантажного люка на період зварювання (за с/з № 103/14-730 від 17.02.2001 р.) – 25%;
- приварні кронштейни риштування – 25%;
- гребінки – 25%;
- дерев'яні деталі риштування і опорного пристрою – по актах списання.

8.6.2 Установка риштування передбачається на всю висоту борта. У місцях формування корпусів – на другому стапельному місці використовуються колони по монтажним стикам. У районі фундаментів під крани і по надбудові – риштування на приварних кронштейнах.

8.6.3 Испити корпуса на водонепроникність, за винятком району монтажних стиків, передбачається на першому стапельному місці.

8.7 Испит на герметичність

Іспит на непроникність і герметичність виробляється відповідно до вимог Російського Морського Регістра Судноплавства.

8.8 Спуск на воду

Спуск судна на воду виконується через наливну док-камеру.

8.9 Добудування

Після спуска на воду судно встановлюється біля добудовчої набережної для завершення механомонтажних, добудовчих, електромонтажних робіт і проведення іспитів.

8.10 Дільні речі і пристрої

8.10.1 Монтаж роульсів, Панамських клюзів, кіпових планок, кнехтів, ярусних люверсів для шнурівки, контейнерних кріплень у подвійному дні для вантажного трюму і їхніх підкріплень, кілець горловин, двері у форпик, металеві двері (крім дверей, що попадають на стик секцій), трапів вертикальних і скоб-трапів виконується в об'ємних секціях.

8.10.2 Установка вікон, ілюмінаторів, глухих світлових люків, сталевих вхідних люків, сталевих дверей у фальшборті, сходень, трапів вертикальних у надбудовах виконується в блоках.

8.10.3 Леєрне огороження на головній палубі установлюється в міру формування основного корпусу.

8.10.4 Леєрне огороження, штормпоручні надбудови установлюються в міру формування блоку надбудови.

8.10.5 Сигнальні щогли, фундамент під магнітний компас, опори для вантажних стріл кранів установлюються після формування корпусу й установки блоку надбудови на судно.

8.10.6 Установка деталей насичення на комінгсах вантажних трюмів, у тому числі водонепроникних ніш під електроустаткування, і вентиляційних голівок, виконується в об'ємі сформованого корпусу.

8.10.7 Монтаж опор для контейнерів на головній палубі, ящиків для матеріалів кріплення контейнерів, ящики для підвісного шлюпкового двигуна, корзин для швартування канатів виконувати в об'ємі сформованого корпусу.

8.10.8 Після спуска судна на воду проводиться монтаж:

- вантажного крана;
- крана для переміщення кришок люкового закриття;
- крана для завантаження шлюпки вільного падіння;
- люкових закриттів;
- шлюпки вільного падіння.

8.11 Виготовлення і монтаж трубопроводів

8.11.1 Трубопроводи суднових систем і систем суднової енергетичної установки (СЕУ) виготовляються по робочим кресленням, тривимірним ізометричним ескізам з розмірами і технологічними ескізами зі сталевих труб, що мають робочий сертифікат виготовлювача (для трубопроводів III класу) або сертифікат РСУ (для трубопроводів I класу).

8.11.2 Трубопроводи баластно–висушуючої системи виготовляються з пластикових труб фірми Ameron. З'єднання труб передбачається за допомогою клею. Виготовлення і монтаж трубопроводів баластно–висушуючої системи здійснюється за технологією фірми Ameron трубопровідниками, що мають спеціальний сертифікат.

8.11.3 Вигини трубопроводів зі сталі виконуються за допомогою приварки до прямих ділянок фасонних частин (колін), що мають радіус вигину $1,5D$.

8.11.4 Вигини більших радіусів виконуються за допомогою трубогнущого обладнання.

8.11.5 Відгалуження на сталевих трубопроводах виконуються за допомогою приварки до прямих ділянок фасонних частин – трійників. Окремі відростки виконуються традиційним методом – розкриття вирізу, припасування відростка і його приварки.

8.11.6 З'єднання труб виконуються на муфтах і фланцях.

8.11.7 Проходи через непроникні перегородки і палуби виконуються з використанням муфт зі сталевих труб і перегородочних вварів.

8.11.8 Трубомонтажний цех здійснює весь цикл робіт з виготовлення, монтажу й іспиту трубопроводів:

- викриття вирізів;
- установка деталей проходу труб через палуби і перегородки з їхнім кінцевим приварюванням до корпусу;
- виготовлення і монтаж труб;
- монтаж арматури;

- іспиту труб на міцність і щільність.

8.11.9 Більшість трубопроводів монтується при зборці секцій. Трубопроводи, встановлювані в міждонному просторі, монтуються до установки зовнішньої обшивки. Труби, розташовані в машинно – котельному відділенні (МКВ), надбудові і відкритих частинах монтуються на стапелі.

10.11.10 Захист від корозії сталевих трубопроводів здійснюється методом гарячого оцинкування, застосуванням стовщених труб та за допомогою нанесення лакофарбових покриттів.

8.12 Механомонтажні роботи

8.12.1 Монтаж гвинтурульового комплексу буде виконуватися в 9-м прольоті БКЦ – 2.

8.12.2 Дейдвудна труба буде уварена в секцію при зборці.

8.12.3 Гельмпортובה труба буде вварена в секцію в остаточно обробленому виді при зборці секцій, з контролем положення осі балера при зборці кормового напівкорпуса.

8.12.4 Після закінчення формування кормові кінцевості будуть виконані:

- розточення посадочних місць під підшипники;
- запресування підшипників;
- монтаж гвинта регульованого шагу (ГРШ) і дейдвудного пристрою;
- монтаж балера з пером руля.

8.12.5 Установка тунелю і фундаменту підрулюючого пристрою (ПП) буде проведена при зборці секцій носового напівкорпуса на першому стапельному місці з наступним монтажем ПП, встановленням цистерн системи гідравліки і монтажем системи змащення.

8.12.6 Виготовлення і встановлення цистерн МВ, занурення і монтування головних і допоміжних механізмів й устаткування.

8.12.7 Виконати монтаж рульового пристрою з монтажем рульової машини з виготовленням і монтажем системи змащення балера.

8.13 Системи вентиляції і кондиціонування повітря

Виконати і встановити вентиляційні канали і труби, як при зборці секцій, так і при формуванні корпусу, а також вентиляційні люки, заслінки включаючи деталі проходу каналів і труб через перегородки і палуби. Остаточний монтаж системи вентиляції і кондиціонування буде виконаний при добудуванні.

8.14 Установка електрослюсарного насичення (ЕСН)

8.14.1 Прокладка кабельних трас передбачається в жолобах, у захисних трубах, а в приміщеннях невеликі траси кріпляться до прутків і смуг.

8.14.2 Установка деталей електрослюсарного насичення для прокладки кабелів і кріплення електрообладнання виконується в сформованих блоках після:

- установки всіх фундаментів для обладнання і механізмів;
- рихтування перегородок і палуб;
- труб великого діаметру (більш 100 мм);
- каналів системи вентиляції і кондиціонування повітря;
- монтажу механізмів на штатних місцях.

Після стикування всіх блоків у цілий корпус установлюються забійні деталі.

8.14.3 Виготовлення жолобів для кабельних трас, деталей для проходу кабелів через перегородки, набір і палуби, і деталей кріплення електрообладнання передбачається в цехових умовах.

8.14.4 Труби захисту кабелів виготовляються по розмірах, зазначеним у робочих кресленнях. У випадку відсутності розмірів – по шаблонам, знятим з місця. Труби в об'ємних секціях встановлюються до накриття зовнішньої обшивки. В іншому керуватися вимогами розділу “Виготовлення і монтаж трубопроводів”.

8.14.5 Для попередження ушкоджень перетворювачів лага, ехолота і деталей катодного захисту під час зварювальних робіт при вварюванні їхніх корпусів у зовнішню обшивку – перетворювачі, аноди й електроди

демонтуються з корпусів, що поставляються. Після вварювання корпусів у зовнішню обшивку – встановлюються на місце з наступним іспитом на герметичність відповідно до вимог креслень.

8.14.6 Завантаження великогабаритного електрообладнання в замкнуті приміщення передбачається через тимчасові вирізи в палубах чи перегородках згідно схеми завантаження обладнання.

8.14.7 Монтаж електроустаткування вагою менш 20 кг і кабельний монтаж виконує спеціалізоване підприємство.

8.15 Захист від корозії

8.15.1 Корпус

8.15.1.1 Перед запуском в обробку листовий металопрокат ($\delta=4$ мм і більше) і профільний прокат, крім обговореного в картах негрунтуємих деталей, підлягає дрібOMETному очищенню на автоматичних поточних лініях.

8.15.1.2 Вільні кромки деталей, округлення яких виконує цех № 1, повинні бути заґрунтовані в цеху.

8.15.1.3 Вільні кромки деталей, округлення яких виконують у цехах № 2, № 11, повинні бути заґрунтовані ремонтною ґрунтовкою до зборки вузлів, секцій. Вільні кромки, що утворилися в процесі зборки вузлів, підсекцій, секцій, а також зварювальні шви й ушкоджені в результаті зборки місця, повинні бути заґрунтовані ремонтною ґрунтовкою після рихтування методом прогріву, крім зварювальних швів підлягаючих іспиту на непроникність.

8.15.1.4 Не підлягають підґрунтовці в секціях поверхні, що утворюють цистерни питної води, палива, мастила.

8.15.1.5 Після укрупнення секцій і здачі на комплектність і якість, буде виконане фарбування за повною схемою:

- цистерн баластних і ахтерпіка;
- цистерн охолодження дейдвуда;
- цистерн стічних вод;
- кофердамів і сухих відсіків;

- зовнішньої обшивки в районі кіль блоків;
- коридору систем.

8.15.1.6 Після формування корпусу і здачі під фарбування провести фарбування зовнішніх і внутрішніх приміщень відповідно до відомостей фарбування.

8.15.1.7 Секційні і стапельні фундаменти після виготовлення підлягають підґрунтовці в місцях ушкоджень межопераційного покриття та в районі зварювальних швів і прилягаючих до них ділянок. Після установки фундаменти підлягають фарбуванню по схемах прилягаючих до них поверхонь.

Трубопроводи по судну

8.15.2.1 Очищення і захисні покриття (цинкування гарячим способом, консервацію і ґрунтування) виконує цех № 6 після виготовлення труб до установки в секцію чи на судно відповідно до вимог креслень і відомостей ґрунтовки.

8.15.2.2 Труби з нержавіючої сталі і кольорових металів встановлюють на судно без фарбування.

8.15.2.3 Сталеві труби після очищення чи оцинкування, розташовані поза цистернами палива і мастила, повинні бути заґрунтовані по відомостям ґрунтовки.

Труби, встановлені в секціях, блоках, у корпусі судна, підлягають фарбуванню по схемах фарбування приміщень, де вони розташовані.

Вироби машинобудівної частини (МБЧ)

Вироби МБЧ після виготовлення піддаються очищенню, оцинкуванню гарячим способом, ґрунтуванню, фарбуванню, консервації відповідно до вимог креслень і відомостей фарбування.

ВИСНОВОК

Результатом дипломного проектування є проект універсального суховантажного судна з розробкою принципіальною технологією побудови судна. .

Дане судно спроектовано на клас Регістра судноплавства України.

Нижче приведені основні розмірності судна які змінилися в процесі модернізації:

- довжина між перпендикулярами	$L=107,88$ м;
- ширина	$B=18,21$ м;
- висота борту	$D=10,72$ м;
- осадка	$d=6,62$ м;
- коефіцієнт повноти водотоннажності	$C_B=0,791$;
- коефіцієнт повноти мідель – шпангоута	$C_M=0,932$;
- коефіцієнт повноти ВВЛ	$C_w=0,854$.

За своїми характеристиками спроектоване судно повністю відповідає вимогам «Правил класифікації та побудови морських суден» Регістру судноплавства України.

У розділі «Принципова технологія побудови судна» була розроблена послідовність побудови судна, та загальна принципова технологія побудови судна.

В цілому розроблений проект задовольняє вимогам Регістру судноплавства України, та вимогам нормативних документів, які стосуються охорони праці та навколишнього середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В. Е. Леонов. Катализ и катализаторы. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Выпуск 24. Киев, Наукова думка, 1986, с.26-35.
2. Звонов В. Л., Леонов В. Е., Черных В. И., Балакин В. К. Применение бензино метанольной смеси в качестве автомобильного топлива.— В кн.: Защита воздушного бассейна от загрязнения токсическими выбросами транспортных средств: Тез. докл. Всесоюз. конф. Харьков, 1981, с. 117—119.
3. Кротов О. І., Голюков В. І., Еганов О. Ю., Бондаренко О. В. Проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. -156 с.
4. О.В. Бондаренко, О. І. Кротов, Л. Г. Матвеев, С. О. Прокудин Особливості проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. - Ч. 1. - 76 с.
5. О. В. Бондаренко, О. І. Кротов, Л. Г. Матвеев, С. О. Прокудин Особливості проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2004. - Ч. 2. - 80 с.
6. Регістр судноплавства України. Правила про вантажну марку морських суден. - Регістр судноплавства України, 2020.
7. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 2. - Регістр судноплавства України, 2020.
8. Петропавлов Ю. В. Разработка теоретического чертежа судна: методические указания. Херсон, ХФ НУК, 2012. - 60 с.
9. Петропавлов Ю. В., Узлов А. Н. Удифференровка морских грузовых судов: методические указания. Николаев: УГМТУ, 2003. – 40 с.
10. Петропавлов Ю. В., Коршиков Р. Ю. Расчет парусности судна: методические указания. Херсон. - ХФ НУК, 2012. - 14 с.

11. Картава А. И. Проверочные расчеты основных элементов судна, его мореходных и эксплуатационных качеств при дипломном проектировании: учеб. пособие. Николаев: НКИ, 1982. – 48 с.
12. Проектування мідель-шпангоута суховантажних суден: методичні вказівки / В. Г. Матвеев та ін.; Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 76 с.