

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

Кафедра Суднобудування та ремонту суден

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри



О.В. Щедролоєв

«06» червня 2025 р.

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: **Проект контейнеровоза з розробкою якірно-швартовного пристрою**

Виконав: студент 2111ст групи



Хоменко С.Ю.

Керівник роботи:
д.т.н., професор



Щедролоєв О.В.

Херсон – 2025 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА**

Кафедра Суднобудування та ремонту суден

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Освітня програма «Судноремонт та технічне обслуговування флоту»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми



Кузнєцов А.І.

«12» березня 2025 року

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

Хоменко Сергій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Проект контейнеровоза з розробкою якірно-швартовного пристрою**

Керівник роботи д.т.н, професор Щедролюсєв О.В.

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

Затверджені наказом по ХННІ НУК № **07** від «**12**» **березня 2025 року**

2. Строк подання студентом роботи 06.06.2025 року

3. Вихідні дані до роботи:

3.1. Вантажопідйомність (вантажомісткість) 21000 т

3.2. Вид вантажу (питома завантажувальна кубатура) твердий вантаж густиною 2,6 т/м³

3.3. Швидкість експлуатаційна 15,0 вузлів

3.4. Клас судна за Правилами РСУ для морських суден: КМ  A2 Container ship

3.5. Дальність та район плавання 12000 миль, необмежений

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

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

4.1. Визначення водотоннажності та головних розмірювань судна.

4.2. Розробка теоретичного креслення.

4.3. Набір корпусу за Правилами Регістру.

4.4. Розробка якірно-швартовного пристрою

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

5.1. Теоретичне креслення.

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

5.3. Конструктивний мідель-шпангоут судна.

5.4. Креслення якірно-швартовного пристрою.

5.5. Демонстраційна таблиця.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	старший викладач Соценко В.В.		12.03.2025		12.03.2025
побудова теоретичного креслення	старший викладач Соценко В.В.				
конструкція корпусу	доцент Кузнєцов А.І.				
суднові пристрої та системи	доцент Кузнєцов А.І.				

7. Дата видачі завдання 12.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.	14.03.2025	
2.	Побудова теоретичного креслення.	28.03.2025	
3.	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства. Конструктивний мідель-шпангоут.	11.04.2025	
4.	Розрахунок якірно-швартовного пристрою. Схема якірно-швартовного пристрою.	16.05.2025	
5.	Оформлення пояснювальної записки та завершення оформлення кваліфікаційної роботи й презентацій.	06.06.2025	

Студент



С.Ю. Хоменко

Керівник



О.В. Щедролосєв

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ.....	7
1. Визначення водотоннажності та головних розмірів.....	9
2. Проектування теоретичного креслення	18
3. Розрахунок корпусу судна по правилам реєстру	24
4. Розрахунок якірного-швартовного пристрою	39
Висновки	49
Список використаної літератури.....	50

АНОТАЦІЯ

Відповідно до завдання на дипломну роботу бакалавра, виданого кафедрою суднобудування та ремонту суден Херсонського навчально-наукового інституту НУК, спроектовано судно-контейнеровоз вантажопідйомністю 21000 тон.

У розрахунковій частині проекту виконане наступне:

- визначені водотоннажність судна та головні розміри:

довжина судна між перпендикулярами $L = 153,0$ м;

ширина судна $B = 26,70$ м;

висота борту $D = 15,19$ м;

осадка на міделі $d = 11,25$ м;

- розроблене теоретичне креслення корпусу судна;

- спроектовано конструктивний мідель-шпангоут судна згідно Правил Регістру судноплавства України;

- розроблено якорний пристрій судна.

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

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

Ключові слова: суднобудування, контейнеровоз, водотоннажність, теоретичне креслення, якорно-швартовний пристрій.

ANNOTATION

In accordance with the assignment for the bachelor's thesis issued by the Department of Shipbuilding and Ship Repair of the Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, a container ship with a carrying capacity of 25810 tons was designed.

In the calculation part of the project, the following was done:

- the vessel's displacement and main dimensions were determined:

vessel length between perpendiculars $L = 153.0$ m

Vessel beam $B = 26.70$ m

side height $D = 15.19$ m;

draft at the midship $d = 11.25$ m;

- a theoretical drawing of the ship's hull was developed;
- design of the vessel's structural midship frame in accordance with the of Rules Ukrainian Shipping Register;
- developed the ship's steering device.

Specialized computer programs (automatic graphic systems) were used in the thesis to perform calculations and perform the graphic part: "FreeShip+, Rhinoceros.

The designed vessel meets the requirements of the diploma design assignment, the requirements of the Register Rules and other regulatory documents.

Keywords: shipbuilding, container ship, displacement, theoretical drawing, steering device.

ВСТУП

Контейнеровоз – це тип судна, призначений для транспортування вантажів у контейнерах, які є стандартними багаторазовими резервуарами. Перші контейнеровози з'явилися у 50-ті роки, коли розвивалися міжнародні морські перевезення, і швидко стали популярними завдяки своїй ефективності. Вони дозволяють значно зменшити час доставки, покращити зберігання товарів і оптимізувати всю транспортну систему.

В 90-х роках через активне зростання світової економіки обсяг контейнерних перевезень подвоївся, зростаючи щорічно на 7%. Оціночний ріст перевезень на 6-7% очікується й надалі. У 2000 році сумарний дедвейт контейнеровозів становив 17,42 млн. тонн, що складало 16,5% від усіх суден, поступаючись лише танкерам і балкарам. Лідерами у замовленнях контейнеровозів є Німеччина та Південна Корея.

Спочатку використовувалося кілька типів контейнерів, але згодом основним став 20-футовий контейнер, який став стандартом ISO. На сьогоднішній день 70% вироблених контейнерів — це 20-футові, а 25% — 40-футові. Для перевезення різних типів вантажів створюються спеціалізовані контейнери, наприклад, з вентиляцією, рефрижераторні чи для сипучих матеріалів.

Контейнеровози розраховані на транспортування стандартних контейнерів. На даний момент місткість контейнеровозного флоту досягає 1,2 млн контейнерів. При цьому важливою характеристикою судна є його здатність транспортувати контейнери, що свідчить про значення контейнерної технології у перевезеннях. Очікується, що до 21-го століття обсяг контейнерних перевезень збільшиться в 1,5 рази порівняно з 90-ми роками.

Оскільки контейнеровози перевозять не випадкові вантажі, а стандартні контейнери, це значно прискорює процес завантаження та розвантаження — він у 4-7 разів швидший, ніж на звичайних суховантажах. Контейнеровози мають великі палуби, що унеможливорює важке переміщення вантажу в трюмі.

Існує три покоління контейнеровозів:

1. Судна місткістю 500–700 контейнерів, швидкість — 17–20 вузлів.
2. Судна місткістю 1000–1500 контейнерів, швидкість — 20–22 вузлів.
3. Судна місткістю 2500–3500 контейнерів, швидкість — 25–26 вузлів.

Контейнеровози оснащені подвійними бортами для посилення жорсткості корпусу та люковими закриттями типу понтон, які важать не більше 30-35 тонн для зручності зняття кранами. Вони також використовують спеціальні системи для закріплення контейнерів, враховуючи вплив хвиль під час руху судна.

Міцність корпусу контейнеровозів потребує посиленої уваги, оскільки великі палуби вимагають додаткових зусиль для забезпечення стійкості. Потрібно також забезпечити достатню жорсткість при поперечному згині корпусу судна. Для цього застосовують різні типи закладних засобів, наприклад, ланцюгові чи тросові відтяжки.

Незважаючи на всі переваги, морський транспорт також є джерелом забруднення, особливо через аварії та розливи нафти. Забруднення від експлуатації відбувається постійно, але в невеликих обсягах. Проте аварійні розливи завдають значної шкоди природі, викликаючи масову загибель морських мешканців.

1 ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ

Короткі відомості про судно прототип

Для судна, що проектується, вантажопідйомністю 21000 т, в якості прототипу використовуємо технічні данні судна-контейнеровоза, основні характеристики наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики судна прототипу

Назва елементу	Позн.	Одиниця виміру	Числове значення
Довжина між перпендикулярами	$L_{\perp\perp}$	м	143,32
Довжина найбільша	L	м	155,36
Ширина	B	м	24,30
Висота борту	H	м	14,20
Осадка по КВЛ	T	м	10,75
Коеф. загальної повноти	C_b	-	0,658
Коеф. повноти міделя	C_m	-	0,745
Коеф. повноти КВЛ	C_w	-	0,973
Швидкість експлуатаційна	V_s	вуз.	17,0
Вантажопідйомність	Δ	т	24120
Дальність плавання		миль	12000
Екіпаж		осіб	25

1.1. Визначення водотоннажності та головних елементів проекту у першому наближенні

Водотоннажність у першому наближенні Δ_0 визначається за формулою:

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

де $P_{\Gamma}=12000$ - задана вантажопідйомність судна, т,

$\eta_{\Gamma}=0,48$ – коефіцієнт утилізації водотоннажності за чистою вантажопідйомністю:

$$\Delta_0 = \frac{23000}{0,48} = 27750 \text{ т}$$

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

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

где V_S – швидкість ходу на випробуваннях, вуз

$$V_S = V_{\Sigma} \cdot 1,05 = 17,0 \cdot 1,05 = 17,85 \text{ вуз}$$

$$N_0 = 43750^{1/2} \cdot \frac{15,12^{5/2}}{27,2} = 7825 \text{ кВт}.$$

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

1.3. Визначення водотоннажності у першому наближенні

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

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

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

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

$$m = 1 - a_{\kappa} - a_{\Sigma\kappa} - a_{\Sigma\theta},$$

$$n = a_y + a_{\epsilon\lambda} + a_{\Sigma\kappa 2} + a_{\Sigma\theta},$$

$$p = a_{\Sigma y} + a_m,$$

где a_{κ} – вимірювач маси металевих корпусу,

$a_{\text{ЭК}}$ – вимірювач маси команди,

$a_{\text{ЗВ}}$ – вимірювач маси запасу водотоннажності,

$a_{\text{У}}$ – вимірювач маси суднових пристроїв і систем,

$a_{\text{ЭЛ}}$ – вимірювач маси електрообладнання,

$a_{\text{ЖГ}}$ – Вимірювач маси рідких вантажів,

$a_{\text{СН}}$ – вимірювач маси постачання,

$a_{\text{ЭУ}}$ – вимірювач маси енергетичної установки,

$a_{\text{Т}}$ – вимірювач маси палива.

1.3.1. Определение измерителей масс

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

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

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

$$q_{\text{ЭУ}} = 600/N^{1/4} = 600/7825^{1/4} = 63,79 \text{ кг/кВт},$$

$$a_{\text{ЭУ}} = \frac{63,79 \cdot 17,85^{5/2}}{27,2} = 3,15$$

Вимірювач маси по розділу « Запаси палива , води , масла » визначається за формулою :

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

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

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

R – дальність плавання , миль ,

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

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

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

$a''_m = 0,03$ – коефіцієнт витрати масла для ДВЗ ,

$a'''_m = 0,03$ – коефіцієнт витрати води ,

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

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

$$P_m = 1,15 \cdot 265 \cdot 10^{-6} \frac{25000^{1/2} \cdot 17,85^{3/2}}{27,2} \cdot 12000 = 1603,2 \text{ т.}$$

$$a_m = 1603,2 / 27750^{1/2} = 10,13.$$

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

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

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

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

тоді

$$a_{3.6} = a'_{3.6}(1 - \eta_B) = 0,035(1 - 0,48) = 0,0182$$

Інші вимірники мас приймаємо за статистичними даними [1].

Всі вимірники мас зведено в таблицю 1.1.

Всі вимірювачі мас зведені в таблицю 1.1 :

Таблиця 1.1. Вимірювач мас

Розділ навантаження		Залежність від Δ	Вимірювач a_i	Прим.
01	Корпус	$a_k \cdot \Delta$	0,159	[2]
02	Судові пристрої	$a_y \cdot \Delta^{2/3}$	0,5	[2]
03	Системи	$a_c \cdot \Delta^{2/3}$	0,21	[2]
04	Енергетична установка	$a_{3y} \cdot \Delta^{1/2}$	3,15	розр.
05	Електрообладнання	$a_{3\text{эл}} \cdot \Delta^{2/3}$	0,06	[2]
11	запас водотоннажності	$a_{3\text{в}} \cdot \Delta$	0,0182	розр.
12	Рідкі вантажі	$a_{жг} \cdot \Delta^{2/3}$	0,005	[2]
13	Постачання , майно	$a_{сн} \cdot \Delta$	0,0074	[2]

14	Екіпаж , провізія , вода	$a_{\text{эк}} \cdot \Delta$	0,005	[2]
16	Запас палива , масла , води	$a_m \cdot \Delta^{1/2}$	10,13	розр.

1.3.2. Складання рівняння мас.

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

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

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

$$p = a_{\text{эу}} + a_{\text{т}},$$

$$m = 1 - 0,159 - 0,005 - 0,0182 = 0,817,$$

$$n = 0,5 + 0,06 + 0,005 + 0,0074 = 0,289,$$

$$p = 3,15 + 10,13 = 13,28.$$

Таким чином , рівняння мас має вигляд:

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

$$0,817\Delta - 0,289\Delta^{2/3} - 13,28\Delta^{1/2} = 11000$$

1.3.3. Рішення рівняння мас.

Рівняння мас вирішуємо методом Ньютона.

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

где $f(x_n)$ – значення функції , що виражає рівняння ,

$f'(x_n)$ – значення першої похідної від цієї функції.

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

$$f(\Delta_0) = m\Delta_0 - n\Delta_0^{2/3} - p\Delta_0^{1/2} - P_{\Gamma}$$

$$f(25000) = 0,817\Delta - 0,289\Delta^{2/3} - 13,28\Delta^{1/2} - 11000$$

$$f'(\Delta_0) = m - \frac{2}{3}n\Delta_0^{-1/3} - \frac{1}{2}p\Delta_0^{-1/2}$$

$$f'(25000) = 0,817 \cdot 27500 - \frac{2}{3}0,289 \cdot 27500^{-1/3} - \frac{1}{2}13,28 \cdot 27500^{-1/2}$$

$$\Delta_1 = 27500 \text{ т.}$$

Перевіримо правильність знайденого значення:

$$0,817 \cdot 27497 - 0,289 \cdot 27497^{2/3} - 13,28 \cdot 27497^{1/2} - 12000 = 0.$$

Таким чином , водотоннажність судна в першому наближенні :

$$\Delta_1 = 27500 \text{ т.}$$

Складаємо зведену таблицю розрахунку вагового навантаження в першому наближенні .

Таблиця 1.2. Вагове навантаження в першому наближенні

Розділ навантаження		Залежність від Δ	Маса P_i , т
01	Корпус	$a_k \cdot \Delta$	4372,1
02	Судові пристрої	$a_y \cdot \Delta^{2/3}$	455,51
03	Системи	$a_c \cdot \Delta^{2/3}$	191,3
04	Енергетична установка	$a_{\text{эу}} \cdot \Delta^{1/2}$	522,3
05	Електрообладнання	$a_{\text{эл}} \cdot \Delta^{2/3}$	54,7
11	запас водотоннажності	$a_{\text{зв}} \cdot \Delta$	500,5
12	Рідкі вантажі	$a_{\text{жсг}} \cdot \Delta^{2/3}$	4,6
13	Постачання , майно	$a_{\text{сн}} \cdot \Delta$	203,5
водотоннажність порожньом			6304,4
14	Екіпаж , провізія , вода	$a_{\text{эк}} \cdot \Delta$	137,5
15	Груз		11000,0
16	Запас палива , масла , води	$a_m \cdot \Delta^{1/2}$	1679,8
Дедвейт			13817,3
Повна водотонажність			27501,7

Приймаємо $\Delta_1 = 27501,7 \text{ т.}$

1.4. Розрахунок головних розмірювань у першому наближенні.

1.4.1. Відносна довжина першого наближення визначається за емпіричною формулою:

$$l_1 = \left(2 + \frac{2}{\sqrt[3]{\Delta_1}}\right) V_S^{1/3} = \left(2 + \frac{2}{\sqrt[3]{27122}}\right) 17,85^{1/3} = 5,41.$$

Довжина між перпендикулярами може бути визначена:

$$L_1 = l \Delta_1^{1/3} = 5,40 \cdot 27501^{1/3} = 153,0 \text{ м}$$

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

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

$$B_1 = 162,3/5,89 = 26,70 \text{ м};$$

$$d_1 = 27,58/2,26 = 15,29 \text{ м};$$

$$D_1 = d_1 \cdot (D/d) = 12,20 \cdot 1,32 = 11,25 \text{ м}$$

1.4.2. Визначаємо число Фруда:

$$Fr = \frac{0,514 V_S}{\sqrt{g L_1}} = \frac{0,514 \cdot 17,85}{\sqrt{9,81 \cdot 162,3}} = 0,229.$$

1.4.3. Визначаємо коефіцієнти повноти.

Кф. загальної повноти: $C_B = \delta = 1,09 - 1,68 \cdot Fr = 0,704$

Кф. повздовжньої повноти: $C_P = \varphi = 0,04 + 0,96 \delta = 0,716$

Кф. повноти ватерлінії: $C_W = \alpha = 0,8780 \varphi + 0,1733 = 0,802$

Кф. повноти мідель-шпангоута: $C_M = \beta = \delta / \varphi = 0,983$

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

$$C_{B_2} = C_{B_1} = 0,704;$$

$$C_{M_2} = C_{M_1} = 0,716;$$

$$C_{W_2} = C_{W_1} = 0,802.$$

Коефіцієнт подібності визначається за формулою

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} = \sqrt[3]{\frac{27602,1}{27501,7}} = 1,004;$$

$$L_2 = L_1 \cdot \lambda = 162,3 \cdot 1,004 = 153,0 \text{ м};$$

$$B_2 = B_1 \cdot \lambda = 27,58 \cdot 1,004 = 26,70 \text{ м};$$

$$D_2 = D_1 \cdot \lambda = 16,1 \cdot 1,004 = 11,25 \text{ м};$$

$$d_2 = d_1 \cdot \lambda = 12,20 \cdot 1,004 = 15,19 \text{ м};$$

$$\Delta_2 = K_{gc} \cdot \gamma \cdot C_{B_2} \cdot L_2 \cdot B_2 \cdot d_2 = 1,01 \cdot 1,025 \cdot 0,704 \cdot 163,0 \cdot 27,70 \cdot 11,25 = 27610,1 \text{ т.}$$

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

$$\left| \frac{27610 - 27510}{27620} \right| = 0,011 \leq 0,03.$$

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

1.4.5 Таблиця 1.3 – Головні елементи судна

Назва елементу	Позн.	Одиниця виміру	Числове значення
Довжина між перпендикулярами	$L_{\perp\perp}$	м	153,0
Ширина	B	м	26,70
Висота борту	D	м	15,19
Осадка по ВВЛ	d	м	11,25
Коеф. загальної повноти	C_B	-	0,704
Коеф. повноти міделя	C_M	-	0,716
Коеф. повноти ВВЛ	C_W	-	0,802
Коеф. поздовжньої повноти	C_P	-	0,983
Вагова водотоннажність	Δ	т	27610

1.5 Поділ судна на відсіки

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

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

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 153,0 + 0,48 = 0,786 \text{ м.}$$

Приймаємо $a_0 = 800$ мм.

Шпацию в районі ахтерпика и форпика приймаємо 600 мм.

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

$$L_{\text{фор}} = 0,05 \cdot L = 0,05 \cdot 153,0 = 7,65 \text{ м;}$$

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

$$L_{\text{axm}} = 0,04 \cdot L = 6,12 \text{ м.}$$

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ

2.1 Розрахунок теоретичного креслення

2.1.1 Розрахунок ординат теоретичного креслення

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

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

2.1.2 Побудова обводів форштевня та ахтерштевня

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

Характеристиками носового бульба є:

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

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

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

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

де $Fr = 0,229$

$$l_{\text{нб}} = 0,051 - 0,115 \cdot 0,229 \pm 0,006 = 0,031 \text{ м},$$

$$L_{\text{нб}} = 163 \cdot 0,031 = 5,05 \text{ м};$$

– найбільша ширина бульба:

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

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

$$B_{\text{нб}} = 26,70 \cdot 0,17 = 4,539 \text{ м};$$

– найбільша висота шпангоута найбільшої площі бульба:

$$H_{\text{нб}} = 0,93 \cdot d = 0,93 \cdot 11,25 = 10,46 \text{ м};$$

- висота передньої точки бульба від основної площини:

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

де: $h_{\text{нб}} = 0,6$ тоді:

$$H_{\text{нбп}} = 0,6 \cdot 11,25 = 6,75 \text{ м};$$

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

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

$$\psi_{\text{нб}} = 34 - 105 \cdot 0,229 = 10 \text{ град.}$$

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

2.2 Розрахунок мінімального літнього надводного борту

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

Згідно Правил прийняті наступні позначення:

$D_p = 15,19$ м – висота борту;

$B_p = 26,70$ – ширина судна;

$d_p = 0,85D = 0,85 \cdot 15,19 = 12,92$ м – розрахункова осадка;

Розрахункову довжину визначено, як:

$$L_p = \max \left\{ L_{p_1}; L_{p_2} \right\};$$

де: $L_{p_1} = L + \Delta l_n$;

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

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

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

$$L_{p_1} = 153 + 1,98 = 154,98 \text{ м};$$

$$L_{p_2} = 0,96(153 + 1,98 + 5,2) = 153,78 \text{ м};$$

$$L_p = \max \left\{ 153,78; 154,98 \right\} = 154,98 \text{ м.}$$

Коефіцієнт загальної повноти розраховано, як:

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

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

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

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

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

$$V_{ВВЛ} = \frac{27610}{1,01 \cdot 1,025} = 26863$$

Тоді:

$$V_p = 26863 \left(\frac{13,76}{12,25} \right)^{0,802/0,704} = 26676 \text{ м}^3.$$

$$C_{Bp} = \frac{26676}{154,98 \cdot 26,70 \cdot 12,92} = 0,666.$$

Мінімальний надводний борт знаходиться за формулою:

$$F(F_0)_{g_{1234min}}, \text{ мм.}$$

де: F_0 – базисний надводний борт для розрахункової довжини; визначається за таблицею 4.1.3.2 []:

$$F_0 = 2580 \text{ мм};$$

$$\chi_g = \frac{C_{Bp} + 0,68}{1,36} = \frac{0,666 + 0,68}{1,36} = 0,99.$$

Δ_1 – поправка на висоту борта, мм

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

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

$$\Delta_1 = \left(15,19 - \frac{154,98}{15} \right) 250 = 1347,5 \text{ мм.}$$

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

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

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

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

Приймаємо $K_H = 0,196$, тоді:

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

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

Таблиця 2.1 Розрахунок профілю стандартної сідлуватості.

Положення ординати		Ордината Z_i , мм	f	$Z_i \cdot f$
Кормова половина	Кормовий перпендикуляр	$25(L_p/3+10)=1625$	1	1625
	1/6 L від КП	$11,1(L_p/3+10)=721$	3	2163
	1/3 L від КП	$2,8(L_p/3+10)=179$	3	546
	Середина довжини судна	0	1	0
Носова половина	Середина довжини судна	0	1	0
	1/3 L від НП	$5,6(L_p/3+10)=364$	3	1092
	1/6 L від НП	$22,2(L_p/3+10)=1443$	3	4329
	Носовий перпендикуляр	$50(L_p/3+10)=3250$	1	3250

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

– недолік сідлуватості в носу:

$$\Delta C_K = \frac{\sum Z_{icm}^K \cdot f_i}{8} = \frac{(1625 + 2163 + 538)}{8} = 541$$

– недолік сідлуватості в кормі:

$$\Delta C_H = \frac{\sum Z_{icm}^K \cdot f_i}{8} = \frac{(1092 + 4329 + 3250)}{8} = 1083$$

– недолік сідлуватості по судну взагалі:

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

$$\Delta C = \frac{541 + 1083}{2} = 812 \text{ мм}$$

Поправка Δ_3 визначається за формулою:

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

де: $S = 38,58 \text{ м}$ – сумарна довжина закритих надбудов;

$$\Delta_3 = 812 \left(0,75 - \frac{38,58}{2 \cdot 164,98} \right) = 514 \text{ мм}$$

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

Таким чином мінімальний надводний борт буде дорівнювати:

$$F_{min} = 2580 \cdot 0,99 + 1347 - 210 + 514 = 4205 \text{ мм.}$$

Максимально допустима осадка визначається за формулою:

$$dp_{min_{max}}, \text{ м}$$

$$d_{max} = 15,19 - 4,205 = 10,99 \text{ м}$$

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

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

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

$$F_{\min \text{ н}} = \left(6075 \left(\frac{153}{100} \right) - 1875 \left(\frac{153}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{153}{100} \right)^3 \right) \left(2,08 + 0,609 \cdot 0,666 - 1,603 \cdot 0,802 - 0,0129 \frac{164}{13,69} \right) = 6106 \text{ мм.}$$

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

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

$$H_{\phi} = 15,19 - 11,25 = 3,94 \text{ м}$$

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

$$l_6 \geq 0,07L$$

$$l_6 \geq 0,07 \cdot 153 = 10,71$$

Висота бака $h_6 = 2,5\text{м}$

$$H_\phi = D - d + h_6$$

$$H_\phi = 15,19 - 11,25 + 2,5 = 6,44$$

Максимально дозволена осадка судна

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

$$d_{max} = 15,19 - 6,1 = 9,09$$

За отриманими результатами будуємо теоретичне креслення.

3 РОЗРАХУНОК КОРПУСУ СУДНА ПО ПРАВИЛАМ РЕГІСТРУ

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУДНО, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

3.1.1 Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Проектоване судно є контейнеровозом з кормовим розташуванням машинного відділення і житлової надбудови, з подовженим баком, U-образним носом і транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, поперечні водонепроникні перегородки.

Схему поздовжнього перерізу корпусу з розділенням судна на відсіки див. (рис.1).

3.1.2. Вибір шпаций

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою

$$a_0 = 0,002L + 0,48 \text{ м,}$$

де L - довжина між перпендикулярами, м.

$$a_0 = 0,002 \cdot 153,0 + 0,48 = 0,786 \text{ м.}$$

Правила дозволяють відхилення взятої шпациї від нормальної в межах $\pm 25 \%$. Розраховану величину шпациї необхідно округлити: взяти рівною величині стандартної шпациї згідно з ОСТ 5.1099-78.

Приймаю: поздовжня шпация рівна поперечній $a_0 = 800 \text{ мм}$.

3.1.3. Вибір системи набору перекриттів корпусу судна

Короткі надбудови і рубки, бортове перекриття набираємо за поперечною системою набору. Перекриття верхньої палуби і днищове перекриття судна набираємо за поздовжньою системою, що забезпечує необхідну міцність і стійкість їх елементів (пластин) при мінімальних витратах матеріалу.

3.1.4. Вибір марки і категорії сталі

Вибір сталі залежить від ступеня відповідальності, умов роботи конструкцій та економічних міркувань. Сталі підвищеної міцності рекомендується застосовувати при довжині суден більше 130 м або при можливих температурах експлуатації нижче -20°C .

Для виготовлення суднового корпусу використовую суднобудівну сталь

підвищеної міцності з границею плинності $R_{eH} = 315$ МПа.

Характеристика сталі наведена в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Границя плинності, R_{eH}		315 МПа
Коефіцієнт використання механічних властивостей, η		0,78
Нижня границя температури, t_{min}		-60 °С
Відносне подовження		18 %
Приблизна вартість 1т (відносно вартості 1т сталі ВСт3сп)		130 %
Нормативна границя плинності	За нормальним напруженням, σ_n	301,3 МПа
	За дотичним напруженням, τ_n	171,7 МПа

Як розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взято нормативні границі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n напруженнями: $\sigma_n = 235/\eta$, $\tau_n = 0.57 \cdot \sigma_n$, МПа, де η - коефіцієнт, що визначається за табл.3.1.

3.1.5. Креслення обводів мідель-шпангоута

Підйом t лінії днища і радіус R закруглення скули визначаються за формулами

$$t = d \cdot (1 - C_m); \quad R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}} \text{ м},$$

$$t = 11,25 \cdot (1 - 0,983) = 0,169 \text{ м}; \quad R = \sqrt{\frac{24,8 \cdot 0,169}{0,86}} = 2,15 \text{ м};$$

де $d = 11,25$ м – осадка; $B = 26,70$ м – ширина судна; $C_m = 0,983$ – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута. Висота подвійного дна розраховується за формулою

$$h = \frac{L-40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} \geq 0,65 \text{ м}$$

$$h = \frac{153-40}{570} + 0,04 \cdot 24.8 + 3,5 \cdot \frac{9,94}{138.4} = 1,4 \text{ м},$$

приймаю $h = 1,4 \text{ м}$.

Внутрішнє дно на судні простягається від форпикової до ахтерпикової перегородки та від борту до борту.

Крайній пояс внутрішнього дна (міждонний лист) горизонтальний.

Ширина вантажних люків і шахти машинного відділення наведена в завданні. Ширина горизонтального кіля визначається за формулою

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

$$b_k = 800 + 5 \cdot 153 = 1565 \text{ мм}.$$

Приймаю $b_k = 2000 \text{ мм}$.

Комінгс верхньої палуби знаходиться в одній площині з днищевими стрингерами. Місця розміщення поздовжніх балок основного набору позначаються, починаючи від діаметральної площини, і не збігаються з пазами листів. Мінімальна відстань між пазами листів і лініями зварювання поздовжніх балок — 75 мм.

3.1.6 Урахування зносу і корозії в'язей корпусу

Урахування впливу зносу і корозії на розміри в'язей корпусу ґрунтується на нормуванні міцності в середині періоду експлуатації конструкції. Будівельна товщина, яку вимагають Правила для листових конструкцій, визначається за формулою

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

де S' - товщина листа, мм, яка відповідає середині періоду служби судна; ΔS - запас на знос і корозію, мм; U - середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу і корозії, яке беруть відповідно до табл. 3.2; T - період служби конструкції, роки, (береться $T = 24$ роки); якщо $T < 12$ років, то $\Delta S = 0$.

Таблиця 3.2

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	U , мм/рік, група I
1.1	Настил верхньої палуби	0,10
1.2	Настил нижніх палуб і платформ	0,11
2.1.2	Зовнішня обшивка борту	0,17
3.1.4	Зовнішня обшивка дна	0,20
4.1.2	Настил другого дна у вантажному трюмі	0,15
4.1.4	Настил другого дна в машинному відділенні	0,20
4.2.4	Міждонний лист	0,20
5.1.3	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,13
6.1	Поздовжні балки палуби, бімси, рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	0,12
7.1	Поздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки, горизонтальні рами перегородок	0,10
8.2	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і другого дна у відсіках подвійного дна	0,20
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0,10

3.2. РОЗРАХУНКОВІ НАВАНТАЖЕННЯ

3.2.1. Розрахункові навантаження на корпус судна

Розрахункові навантаження на корпус судна з боку моря визначаються статичним P_{st} і хвильовим P_w тиском води. Розрахунковий статичний тиск P_{st} , кПа, для точок, які розташовані нижче ватерлінії, визначається за формулою $P_{st} = 10 \cdot z_i$, де z_i - відстань точок прикладання навантаження від ватерлінії, м. Розрахунковий тиск для точок прикладання навантаження, розташованих нижче ватерлінії,

$$P = P_w + P_{st}, \text{ кПа};$$

для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії,

$$P = P_w, \text{ кПа}.$$

Хвильовий тиск:

– для точок прикладання навантажень, розташованих нижче ватерлінії,

$$P_w = P_{wo} - 1,5 \cdot C_w \cdot z_i/d, \text{ кПа}$$

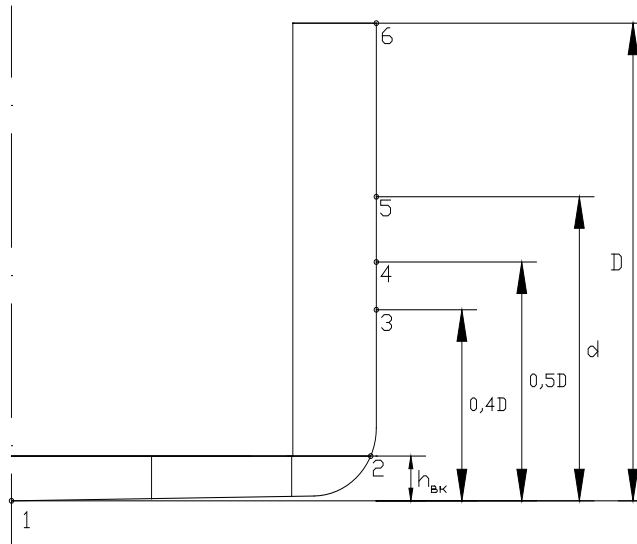


Рисунок 3.1. Визначення навантажень з боку моря

Для точки 1, коли $z_i = 11,25$ м $P_w = 26,1 - 1,5 \cdot 8,7 \cdot 11,25/11,2 = 13,05$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 11,25 = 99,4 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 13,05 + 99,4 = 112,45 \text{ кПа}$$

Для точки 2, коли $z_i = 8,54$ м $P_w = 26,1 - 1,5 \cdot 8,7 \cdot 8,54/11,25 = 14,89$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 8,54 = 85,4 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 14,89 + 85,4 = 100,29 \text{ кПа}$$

Для точки 3, коли $z_i = 3,88$ м $P_w = 26,1 - 1,5 \cdot 8,7 \cdot 3,88/11,25 = 21$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 3,88 = 38,8 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 21 + 38,8 = 59,8 \text{ кПа}$$

Для точки 4, коли $z_i = 2,37$ $P_w = 26,1 - 1,5 \cdot 8,7 \cdot 2,37/11,25 = 23$ кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 2,37 = 23,7 \text{ кПа}$$

$$P = P_w + P_{st} = 23 + 23.7 = 46.7 \text{ кПа}$$

Для точки 5, коли $z_i = 0$

$$P_w = P_{wo} = 26,1 \text{ кПа}$$

$$P_{st} = 0$$

– для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії,

$$P_w = P_{wo} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i \geq P_{min}^M$$

Для точки 6, коли $z_i = 5.2$ $P_w = P_{wo} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i \geq P_{min}$

$$P_w = 26,1 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 5.2 = 15.69 \text{ кПа},$$

$$P_{min} \text{ кПа}; P_w = 15.69 \text{ кПа} > P_{min}$$

$$P_{wo} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x, \text{ - хвильовий тиск}$$

Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6, при цьому повинно бути $a_x \geq 0,267$, C_w - хвильовий фактор:

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

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300-153}{100}\right)^{3/2} = 8,7$$

$$a_v = \frac{0,8v_0\left(\frac{L}{10^3}+0,4\right)}{\sqrt{L}} + 1,5; \quad a_x = k_x\left(1 - 2\frac{x_1}{L}\right) \geq 0,267;$$

$$a_v = \frac{0,8 \cdot 16 \cdot \left(\frac{153}{10^3} + 0,4\right)}{\sqrt{138,4}} + 1,5 = 2,085;$$

$$a_x = 0,8 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{64,9}{153}\right) = 0,086, \text{ приймаю } a_x = 0,267$$

$$a_v \cdot a_x = 2,085 \cdot 0,267 = 0,556 \leq 0,6, \text{ приймаю } a_v \cdot a_x = 0,6$$

$$P_{wo} = 5 \cdot 8,7 \cdot 0,6 = 26,1 \text{ кПа}.$$

де $v_0 = 16$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$k_x = 0,8$ для поперечних перерізів у ніс від міделя;

$x_1 = 64,9$ м - відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього

носового перпендикуляра, м.

Таблиця 3.3

№ точок	Відстань до точок z_i , м	Статичний тиск P_{st} , кПа	Хвильовий тиск P_w , кПа	Розрахунковий тиск P , кПа
1	11,25	99,4	13,05	112,45
2	8,54	85,4	14,89	100,29
3	3,88	38,8	21	59,8
4	2,37	23,7	23	46,7
5	0	0	26,1	26,1
6	5,2	-	15,69	15,69

Розподіл навантажень P_w і P_{st} по контуру поперечного перерізу судна показаний нижче:

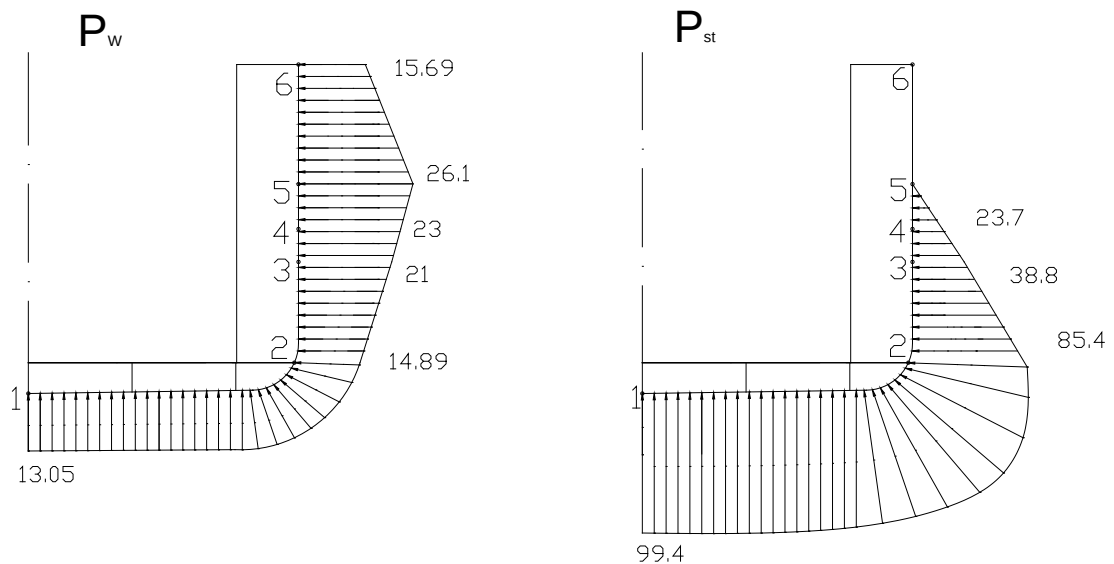


Рисунок 3.2 Величини хвильового та статичного тисків

3.2.2. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на друге дно від контейнерів визначається за формулою

$$P_{\delta} = \frac{P_k \cdot N}{S_k} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) \geq 20 \text{ кПа},$$

де $P_k=14$ – вага одного контейнера, т; $N=6$ – кількість ярусів контейнерів в трюмі, од.; $S_k=2,44 \cdot 6,1=14,88$ – площа основи контейнера, м², $g= 9,81$ м/с² - прискорення вільного падіння; a_z – розрахункове прискорення, м/с², у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\delta z}^2}, \text{ м/с}^2,$$

де a_{cz} – проекція прискорення, м/с², центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці; $a_{kz}, a_{\delta z}$ – проекції прискорень, м/с², на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кільової і бортової хитавиці.

Проекції прискорень визначаються за формулами:

$$a_{cx} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot g, \text{ м/с}^2 \quad a_{kz} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_k}\right) \cdot \psi \cdot x_0, \text{ м/с}^2$$

$$a_{\delta z} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_{\delta}}\right)^2 \cdot \theta \cdot y_0, \text{ м/с}^2$$

$$\text{де} \quad T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{v_0}{L} \cdot \left(\frac{L}{10^3} + 0,4\right)}; \quad T_{\delta} = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}}, \text{ с};$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}}; \quad \theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}},$$

де T_k, T_{δ} – періоди кільової і бортової хитавиці, с, відповідно; ψ, θ – розрахункові кути диференту і крену, рад, відповідно; $x_0 = 29,08$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна, м; $y_0 = B/2 = 12,4$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини, м; $v_0 = 16,0$ вузл. – специфікаційна швидкість судна, вузли; $c=0,8$ – числовий коефіцієнт; $h=0,07B=1,74$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м.

$$\text{Отримаємо:} \quad a_{cz} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{153}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,76 \text{ м/с}^2,$$

$$T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{v_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8 \cdot \sqrt{153}}{1 + 0,4 \cdot \frac{16}{153} \left(\frac{153}{10^3} + 0,4 \right)} = 9,18 \text{ с}$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 153 \cdot 10^{-2}} = 0,096 \text{ рад.}$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{9,18} \right)^2 \cdot 0,096 \cdot 29,08 = 1,306 \text{ м/с}^2,$$

$$h = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 24,8 = 1,736 \text{ м.}$$

$$T_{\delta} = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 24,8}{\sqrt{1,736}} = 15,06 \text{ с;}$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 153 \cdot 10^{-2}} = 0,35 \text{ рад.}$$

$$a_{\delta z} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_{\delta}} \right) \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{15,06} \right)^2 \cdot 0,35 \cdot 12,4 = 0,755 \text{ м/с}^2.$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 a_{\delta z}^2} = \sqrt{1,76^2 + 1,306^2 + 0,4 \cdot 0,755^2} = 2,243, \text{ м/с}^2,$$

$$P_{\delta} = \frac{P_k \cdot N}{S_k} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) = \frac{14 \cdot 6}{14,88} \cdot 9,81 \cdot \left(1 + \frac{2,243}{9,81} \right) = 68,04, \text{ кПа.}$$

$$P_{\delta} = 68,04 \text{ кПа} \geq 20 \text{ кПа}$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

$$P_{\text{вун}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1,5), \text{ кПа.}$$

$$\text{де } Z_i = D - h_{\text{вк}} = 15,19 - 1,4 = 13,74 \text{ м.}$$

$$\text{Маємо: } P_{\text{вун}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1,5) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (13,74 + 1,5) = 153,24, \text{ кПа.}$$

3. 4. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ КОРПУСУ СУДНА ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРУ

Проектування конструкцій набору подвійного борту.

3.4.1.1 Визначення товщини внутрішнього борту.

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

$$\text{де } m=15,8; k_{\sigma}=0,6; k=1; a=0,8 \text{ м; } \sigma_n=301,3 \text{ МПа; } \Delta S=2,04;$$

$$P = P_{\text{вун}} = \rho \cdot g \cdot (D - h_{\text{вк}} + 1,5) = 153,24 \text{ кПа} - \text{розрахунковий тиск;}$$

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{153,24}{0,6 \cdot 301,3}} + 2,04 = 13,68 \text{ мм}$$

$$S_{\min} \text{ мм}$$

Приймаємо $S=14$ мм.

3.4.1.2. Визначення товщини листів зовнішньої обшивки борту.

Товщину листів, що знаходяться між скуловим і підширстречним поясами приймаємо рівною $S=14$ мм.

3.4.1.3. Визначення товщини платформ і діафрагм.

Товщину платформ приймаємо рівною $S=14$ мм.

Товщину діафрагм приймаємо рівною $S=9$ мм.

$$S_{\min} \text{ мм.}$$

3.4.1.4. Визначення профілю шпангоута зовнішнього борту.

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

$$W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} \cdot \omega_k,$$

де $P = P_{St} + P_w$ - розрахунковий тиск;

$z_i = 2,23 \text{ м}$ - відстань середини прогону шпангоута від вантажної ватерлінії;

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 26,1 - 1,5 \cdot \frac{8,7 \cdot 2,23}{11,25} = 23,17 \text{ кПа};$$

$$P = 22,3 + 23,17 = 45,47 \text{ кПа};$$

$$P_{i_{\min}}$$

Приймаю $P = 53,06 \text{ кПа}$;

$a = 0,8 \text{ м}$ - шпация;

$l = 3,8 \text{ м}$ - прогін балки між платформами;

$m = 18$ - коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,65$ - коефіцієнт допустимих напружень;

$\sigma_n = 301,3 \text{ МПа}$ - нормальні напруження;

ω_k - поправка на знос і корозію.

$$W' = \frac{53.06 \cdot 0,8 \cdot 3,8^2 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 174 \text{ см}^3 < 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6/W' = 0,07 + 6/174 = 0,0022$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,0022 \cdot 1,6 = 1$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 291,03 \cdot 1 = 291,03 \text{ см}^3$$

За сортаментом(ГОСТ 9235–76)обираємо штабобульб симетричний Т22610 (h=200 мм; S=10 мм; b=62 мм; f=29,26 см²; W=305 см³).

3.4.1.5. Визначення профілю шпангоута внутрішнього борту.

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

$$W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} \cdot \omega_k,$$

$$\text{де } P = P_{\text{вн}} = \rho \cdot g \cdot \left(D - h_{\text{вк}} - \frac{l_{\text{пл}}}{2} \right) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \left(15,14 - 1,4 - \frac{3,8}{2} \right) =$$

119.5кПа – розрахунковий тиск;

$a = 0,8\text{м}$ – шпация;

$l = 3,8\text{м}$ – прогін балки між платформами;

$m = 18$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,65$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$\sigma_n = 301,3\text{МПа}$ – нормальні напруження;

ω_k – поправка на знос і корозію.

$$W' = \frac{119.05 \cdot 0,8 \cdot 3,8^2 \cdot 10^3}{18 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 390.12 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{390.12} \right) = 0,084$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,084 \cdot 1,2 = 1,1$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 390.2 \cdot 1,1 = 429.13 \text{ см}^3$$

S_{min}

За сортаментом(ГОСТ 9235–76)обираємо штабобульб симетричний Т24710

($h=240$ мм; $S=10.5$ мм; $b=75.5$ мм; $f=38.65$ см²; $W=464$ см³).

3.4.1.6. Визначення профілю бiмсів платформ.

Бiмси платформ приймаємо такого ж профілю як і шпангоути внутрішнього борту.

- 1 платформа – бiмс профілю Т24710;
- 2 платформа – бiмс профілю Т24710;
- 3 платформа – бiмс профілю Т24710.

3.4.1.7. Визначення катету бiмсової косинки.

$$c = 5 \cdot \sqrt{\frac{W}{S}} = 5 \cdot \sqrt{\frac{464}{10.5}} = 33.24 \text{мм},$$

де $W = 464$ см³ – момент опору поперечного перерізу шпангоута внутрішнього борту;

$S = 10.5$ мм – товщина стінки шпангоута.

Висота книці повинна бути не менша, ніж:

$$h_{\text{нотр}} = 0,7 \cdot c = 0,7 \cdot 33.24 = 23,27 \text{см};$$

Так як товщина стінки перевищує 7 мм, то товщина книці зменшуємо на 1 мм:

$$S_{\text{кн}} = 10,5 - 1 = 9.5 \text{мм};$$

Товщина косинки $S=9.5$ мм, $h=25$ см.

3.4.1.8. Визначення профілю поздовжніх балок анти крутильної коробки.

- Поздовжні балки зовнішнього борту:

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

$$W = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} \cdot \omega_k,$$

$$P = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i = 26,1 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 4,37 = 17,35 \text{кПа} - \text{розрахунковий}$$

тиск;

$a = 0,8\text{м}$ – шпация;

$l = 2,4\text{м}$ – прогін балки між діафрагмами;

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,6$ – коефіцієнт допустимих напружень;

$\sigma_n = 301,3\text{МПа}$ – нормальні напруження;

ω_k – поправка на знос і корозію.

$$W' = \frac{17,35 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301,3} = 36,85\text{см}^3 < 200\text{см}^3$$

$$\alpha_k = 0,07 + 6/W' = 0,07 + 6/36,85 = 0,23; \quad \omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,233 \cdot 2 = 1,467$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 37,8 \cdot 1,46 = 55,2\text{см}^3$$

S_{min}

За сортаментом (ГОСТ 21937-76) приймаємо І 16а (h=160 мм, S=9 мм, b=36 мм, f=18см², W=147см³).

Продольні балки внутрішнього борту приймаємо такі ж як і продольні балки зовнішнього борту.

Перевіримо на стійкість поздовжні балки анти крутильної коробки.

$$\text{Фактичні ейлерові напруження: } \sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2};$$

де $l = 3 \cdot a_{noper} = 3 \cdot 0,8 = 2,4\text{м}$ - прогін балки;

$$h_{cm} = h - 0,125 \cdot h = 160 - 0,125 \cdot 160 = 140\text{мм} = 14\text{см}- \text{розрахункова}$$

висота стінки штабобульба;

$$f_{cm} = S_{cm} \cdot h_{cm} = 0,9 \cdot 14 = 12,6\text{см}^2 - \text{площа поперечн. перерізу стінки штабобульба};$$

$$S_n = \frac{f - h \cdot S_{cm}}{b - S_{cm}} = \frac{18 - 16 \cdot 0,9}{3,6 - 1} = 1,38\text{см}- \text{товщина бульба штабобульба};$$

$$\Delta S = 0,24\text{мм};$$

$$S'_n = S_n - \Delta S = 1,38 - 0,24 = 1,14 \text{ см};$$

$$S'_{cm} = S_{cm} - \Delta S = 0,9 - 0,24 = 0,66 \text{ см};$$

$$S'_{nn} = S_{nn} - \Delta S = 1,5 - 0,24 = 1,26 \text{ см};$$

$$b_{nn} = a_{prod} = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см} - \text{ширина приєднаного пояса};$$

$$F = S'_{cm} \cdot h_{cm} = 0,66 \cdot 14 = 9,24 \text{ см}^2 - \text{площа стінки штабобульба};$$

$$F' = S'_n \cdot b = 1,14 \cdot 3,6 = 4,104 \text{ см}^2 - \text{площа бульба штабобульба};$$

$$F'' = S'_{nn} \cdot b_{nn} = 1,26 \cdot 80 = 100,8 \text{ см}^2 - \text{площа приєднаного пояса};$$

Площа поперечного перерізу штабобульбаб

$$f^* = F + F' + F'' = 9,24 + 4,1 + 100,8 = 114,14 \text{ см}^2;$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$i^* = \frac{h_{cm}^2}{1 + \frac{2F' + F}{2F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F' + F}{2F'' + F} \right) \right] = \frac{14^2}{1 + \frac{2 \cdot 4,1 + 9,24}{2 \cdot 100,8 + 9,24}} \cdot \left[4,1 + \frac{9,24}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 4,1 + 9,24}{2 \cdot 100,8 + 9,24} \right) \right] =$$

1682,2 см⁴; Фактичне ейлерове напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 1682,2}{114,14 \cdot 2,4^2} = 527,1 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr} - \text{умова стійкості},$$

$$\text{Потрібні ейлерові напруження: } k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad \sigma_{cui} = 224,43 \text{ МПа};$$

$$k = 1,1 - \text{коефіцієнт запасу за стійкістю};$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e} \right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 527,1} \right) = 267,94 \text{ МПа} - \text{критичне напруження};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 224,43 = 246,93 \text{ МПа} < \sigma_{cr} = 267,94 \text{ МПа};$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю І 16а є стійкою (обраний профіль підходить)

3.4.1.9. Визначення розмірів ребра жорсткості вирізів у діафрагмі.

Виріз у діафрагмі в районі анти крутильної коробки необхідно підкріпити пояском.

$$S_n = S_d + (2 \div 5) = 10 + 2 = 12 \text{ мм};$$

$$b = 10 \cdot S_n = 10 \cdot 12 = 120 \text{ мм}.$$

Вирізи у діафрагмі нижче анти крутильної коробки також підкріплюють.

3.4.1.10. Визначення розмірів комінгсу.

Комінгс назначаємо конструктивно, так як внутрішній борт є стійкою опорою для комінгсу.

Стінка комінгсу – 11×1200 ;

Поясок комінгсу – 15×200 ;

Згідно розрахункам набору корпусу побудовано креслення мідель-шпангоут.

4 РОЗРАХУНОК ЯКІРНОГО-ШВАРТОВНОГО ПРИСТРОЮ

4.1 Головні характеристики судна

Довжина судна між перпендикулярами $L = 153,0$ м

Ширина судна $B = 26,70$ м

Висота борта судна $D = 15,19$ м

Осадка судна по КВЛ $d = 11,325$ м

Коефіцієнт загальної повноти судна $C_b = 0,704$

Об'ємна водотоннажність судна при осадці до КВЛ $\Delta = 27640$ м³

4.2 Умови якірної стоянки

Глибина якірної стоянки - 90 м

Сила вітру - 5 балів

Швидкість течії - 4 вуз.

4.3 Характеристика постачання

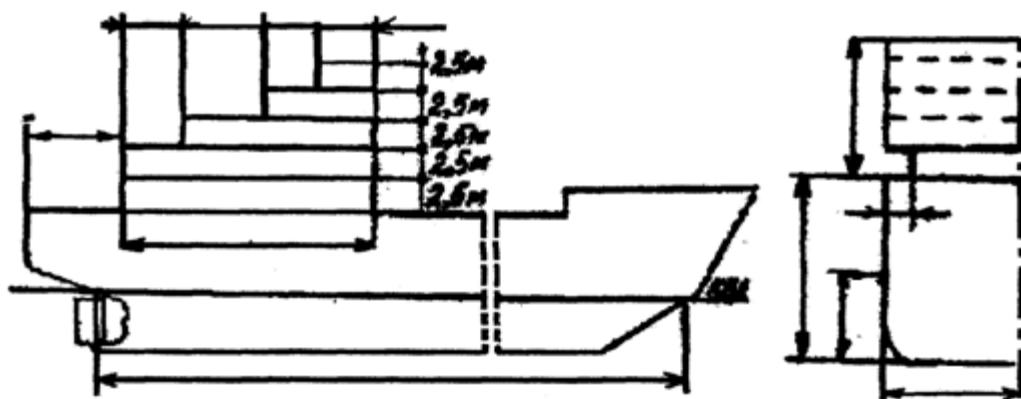


Рисунок 4.1 - Схема розташування надбудов

Елементи якірного пристрою визначаються за Правилами Регістру [1] у залежності від характеристики постачання:

$$N_n = \Delta^{2/3} + 2Bh + 0,1A, \text{ м}^2$$

$h = a + \sum h_i$ – висота від КВЛ до верхньої кромки настилу палуби найвищої рубки, м;

Відстань від ВЛ до верхньої кромки настилу ВП у борта на міделі, м:

$$a = D - d$$

$$a = 15,19 - 11,25 = 3,94 \text{ м}$$

Висота в ДП кожного яруса надбудови :

$$h_i = 2,5 \text{ м}$$

$$h = 2,02 + 5 \cdot 2,5 = 14,52 \text{ м}$$

A – площа парусності в межах довжини судна L_1 , що враховується від КВЛ, м^2 ;

$$A = (D - d) \cdot 0,98L + 5 \cdot h_i \cdot l = (15,19 - 11,25) \cdot 0,98 \cdot 153,0 + 5 \cdot 2,5 \cdot (28,0 + 28,0 + 22,9 + 15,3 + 5,09) = 1490$$

Характеристика постачання дорівнює:

$$N_n = 11120^{2/3} + 2 \cdot 18,8 \cdot 14,52 + 0,1 \cdot 1490 = 1193$$

4.4 Вибір станових якорів. В залежності від характеристики постачання обираємо кількість і масу станових якорів (табл.3.1.3-1 [1])

Кількість станових якорів – 3

Маса кожного якоря M , кг - 3540 кг.

4.4.1 Відповідно до вимог Правил Регістру [1] при проектуванні якірного пристрою застосовуємо один з найбільш розповсюджених видів якорів – якір Холла.

Остаточню, відповідно до нормативних розрахунків по виготовленню якорів, приймаємо для судна якір Холла з веретеном прямокутного перерізу з такими характеристиками:

- якір Холла К 4000 ГОСТ 761-74

4.5 Вибір калібру та сумарної довжини обох якірних ланцюгів. Калібр якірного ланцюга обирається в залежності від характеристики постачання по таблиці 2.2.1[1]

$d_{\text{ц}} = 48 \text{ мм}$ - (матеріал особливої міцності категорії 3)

Визначаємо розривне навантаження якірного ланцюга по таблиці 2.3.1.[1]

В залежності від калібру ланцюга : $T_p = 1810 \text{ кН}$

Сумарная довжина обох ланцюгів: 522,5 м

Довжина ланцюга правого борту $L_{\text{цПБ}} = 275 \text{ м} - 10 \text{ смичок}$

Довжина ланцюга лівого борту $L_{\text{цЛБ}} = 247,5 \text{ м} - 9 \text{ смичок}$

4.6 Перевірка надійності якірної стоянки. Прийнята довжина якірного ланцюга забезпечить таку стоянку, при якій на ґрунті буде знаходитися ділянка ланцюга не менше 25-20 м, в залежності від глибини якірної стоянки.

Величина сили, викликаной течією, визначається за формулою:

$$R_m = (\zeta_{\text{тп}} + \zeta_{\text{ш}} + \zeta_{\text{сч}}) \rho v_{\text{т}}^2 \Omega / 2 + R_{\text{ж}}, \text{ Н,}$$

де Ω – площа змоченої поверхні корпусу судна, м^2 , що обчислюється при коефіцієнті загальної повноти $C_b = 0,709 < 0,7$ за формулою:

$$\Omega = L(2 \cdot d + 1,37 \cdot (C_b - 0,274) \cdot B) = 153,0(2 \cdot 11,24 + 1,13 \cdot (0,709 - 0,274)18,8) = 2785 \text{ м}^2;$$

$\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$ – масова густина морської води;

$v_{\text{т}} = 2,06 \text{ м/с}$ – швидкість течії;

ζ_{mp} – коефіцієнт опору тертя еквівалентної технічно гладкої пластини, що обчислюється за формулою:

$$\zeta_{mp} = 0,455 / (\lg Re)^{2,58},$$

де $Re = v_T L / \nu = 1,285 \cdot 153,0 / 1,57 \cdot 10^{-6} = 1,042 \cdot 10^8$ – число Рейнольдса;

$\nu = 1,57 \cdot 10^{-6}$ м/с² – кінематичний коефіцієнт в'язкості води;

$\zeta_{ш}$ – коефіцієнт опору, що враховує місцеву і загальну шорсткість обшивки корпусу, прийнятий для оброслого корпусу $\zeta_{ш} = 0,25 \cdot 10^{-3}$;

$\zeta_{вч}$ – коефіцієнт опору, що враховує наявність виступаючих частин, прийнятий для одновального судна $\zeta_{вч} = 0,2 \cdot 10^{-3}$;

$R_{зг}$ – опір застопороного гребного гвинта, Н, що визначається за формулою

$$R_{зг} = 258,5 \cdot \theta \cdot D_{зг}^2 \cdot v_m^2,$$

де $\theta = 0,55$; $D_{зг} = 0,65d = 0,65 \cdot 11,25 = 6,1$ м

$$R_{зг} = 258,5 \cdot 0,55 \cdot 6,1^2 \cdot 2,06^2 = 18440 \text{ Н};$$

$$\zeta_{mp} = 0,455 / (\lg 1,093 \cdot 10^8)^{2,58} = 2,1 \cdot 10^{-3};$$

$$R_m = (2,1 + 0,25 + 0,2) \cdot 10^{-3} \cdot 1025 \cdot 2,06^2 \cdot 2785/2 + 18440 = 33800 \text{ Н}$$

Сила тиску вітру на надводну частину корпусу судна при стоянці на одному якорі обчислюється за формулою:

$$R_v = k_v \cdot p_{cp} \cdot (S_{bn} \sin \alpha_v + S_{fn} \cos \alpha_v),$$

де $k_v = 0,8$ – коефіцієнт повітряного опору;

$p_{cp} = 58$ Па – середній тиск вітру на пластину, розташовану перпендикулярно до його напрямку при 5 балах за шкалою Бофорта;

$S_{\phi n}, S_{\phi n}$ – приведені площі бічної і фронтальної парусності, м^2 , що обчислюються за формулами:

$$S_{\phi n} = S_{\phi n} + 0,3S_{\phi k}; S_{\phi n} = S_{\phi n} + 0,3S_{\phi k};$$

де $S_{\phi n}, S_{\phi k}$ – площі проекцій на діаметральну площину (ДП) надбудов (з урахуванням палубного вантажу) і надводної частини корпусу, м^2 ;

$S_{\phi n}, S_{\phi k}$ – площі проекцій надбудов і корпусу на площину мідель-шпангоуту, м^2 ; $\alpha_e = 30^\circ$ – кут між напрямком вітру і ДП судна;

$$S_{\phi n} = 235 \text{ м}^2$$

$$S_{\phi k} = 272,9 \text{ м}^2$$

$$S_{\phi n} = 235 + 0,3 \cdot 272,9 = 316,8 \text{ м}^2$$

$$S_{\phi n} = 5h(B-4) = 5 \cdot 2,5(18,8-4) = 185 \text{ м}^2$$

$$S_{\phi k} = (D + h_{\text{юм}} - d) \cdot B = (15,19 + 3,0 - 11,25) \cdot 26,7 = 94,4 \text{ м}^2$$

$$S_{\phi n} = 185 + 0,3 \cdot 94,4 = 213,3 \text{ м}^2$$

$$R_s = 0,8 \cdot 59 \cdot (316,8 \cdot \sin 30^\circ + 213,3 \cdot \cos 30^\circ) = 16195 \text{ Н}$$

Сумарна горизонтальна сила, що діє на судно,

$$R = R_m + R_s = 33800 + 16195 = 49995 \text{ Н}$$

Друга умова надійної якірної стоянки виконується, якщо

$$l_z \geq (25 \dots 50) \text{ м}$$

Довжина провисаючого участку якірного ланцюгу, що задовольняє цій умові,

$$l = h \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot R_s}{m_n g h}} = 90 \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 49995}{43,7 \cdot 9,81 \cdot 90}} = 170,6 \text{ м}$$

m_n – лінійна маса якірного ланцюга у воді;

$$m_{ц} = 0,019d_{ц}^2$$

$$m_{ц} = 0,019 \cdot 48^2 = 43,7 \text{ кг}$$

Довжина ділянки якірного ланцюга, м, що лежить на ґрунті,

$$l_2 = l_0 - l - l_1,$$

де $l_0 = 275$ м – повна довжина якірного ланцюгу для одного якоря з урахунком якірної і корінної змичок, м

$$l_1 = 25 \text{ м}$$

$$l_2 = 275 - 170,6 - 25 = 79,4 \text{ м}$$

$$79,4 \geq (25 \dots 50) \text{ м},$$

отже, умова виконується.

4.7 Вибір якірних механізмів. Тягове зусилля F_1 на зірочці якірного механізму повинне бути не менш визначеного за формулою:

$$F_1 = a d_{л}^2, \text{ Н},$$

де $a = 46,6$ – для ланцюгів категорії 3

$$d_{л} = 48 \text{ мм} – \text{калібр якірного ланцюгу}$$

$$F_1 = 46,6 \cdot 48^2 = 103,0 \text{ кН}$$

Швидкість вибирання одного якірного ланцюгу з якорем нормальної тримаючої сили на протязі 30 хв. повинна бути не менш 0,15 м/с. При підході якоря до клюзу якірний механізм повинний забезпечувати швидкість не більш 0,17 м/с, при втягуванні в клюз – не більш 0,12 м/с.

Для відриву якоря від ґрунту якірний механізм повинний забезпечувати на протязі двох хвилин створення в ланцюзі на одній зірочці тягового зусилля не менш:

$$F_3 = 1,5F_1 = 1,5 \cdot 103,0 = 154,5 \text{ кН.}$$

Необхідна потужність якірного механізму

$$N_{\text{я}} = 10^{-3} \cdot (F_1 v / \eta), \text{ кВт}$$

де $v = 0,17 \text{ м/с}$ – необхідна швидкість вибирання ланцюгу;

$\eta = 0,75$ – загальний ККД механізму;

$$N_{\text{я}} = 10^{-3} \cdot (103,0 \cdot 0,17 / 0,75) = 23,3 \text{ кВт.}$$

Приймаємо в якості якірного механізму АШЛ марки MV8.

Характеристики АШЛ марки MV8:

Номінальне тягове зусилля $T_{\text{л}}$, кН

78,4

Швидкість вибирання ланцюгу, м/с

- мінімальна $v_{\text{мін}}$, м/с	0,13
- номінальна $v_{\text{ном}}$, м/с	0,42
- максимальна $v_{\text{ном}}$, м/с	0,63
- Витрати робочої рідини, $Q_{\text{л}}$, л/хв	255
- Маса M , т	4,0

4.8 Розрахунок ланцюгових ящиків. Ланцюгові ящики передбачаються для ланцюгів кожного борту.

Діаметр ланцюгового ящика визначається за формулою:

$$D = k_1 \cdot d_{\text{л}}, \text{ м}$$

де k_1 – коефіцієнт, який дорівнює 0,03-0,035

Приймаємо $k_1 = 0,033$

$d_{\text{л}} = 48$ мм – калібр якірного ланцюгу;

$$D = 0,033 \cdot 48 = 1,58 \text{ м}$$

З урахуванням розмірів носової кінцевості судна для зручного розміщення ланцюгового ящика приймаємо його діаметр $D = 1,6$ м.

Висота ланцюгового ящика визначається за формулою:

$$H = 1,27 \cdot V/D^2 + h_k + h, \text{ м}$$

де V – об'єм ланцюгового ящика, необхідний для укладання якірного ланцюгу без урахування конусної частини, м^3 ;

$$V = 0,9 d_{\text{л}}^2 (L - L_1) \cdot 10^{-5}$$

$L = 275$ м – загальна довжина якірного ланцюгу, що поміщається в ящик;

L_1 – довжина ланцюгу, що розміщується в конусі, утвореному при самоукладанні, м;

$$L_1 = 1,6(D^3/d_{\text{л}}^2) \cdot 10^4 = 1,6(1,6^3/48^2) \cdot 10^4 = 28,4 \text{ м}$$

$$V = 0,9 \cdot 48^2 (275 - 28,4) \cdot 10^{-5} = 5,11 \text{ м}^3$$

h_k – висота конуса, утвореного якірним ланцюгом при самоукладанні у верхній частині ланцюгового ящика, м.

$$h_k = 0,55D = 0,55 \cdot 1,6 = 0,88 \text{ м.}$$

$h = 2,5l_{3\phi}$ – запас висоти ланцюгового ящика, м.

$l_{3\phi} = 6 d_{\text{л}}$ – довжина загальної ланки якірного ланцюгу, м.

$$l_{3\phi} = 6 \cdot 0,048 = 0,288 \text{ м}; \quad h = 2,5 \cdot 0,288 = 0,72 \text{ м}$$

$$H = 1,27 \cdot 5,11/1,6^2 + 0,88 + 0,72 = 4,13 \text{ м.}$$

4.9 Розрахунок якірних клюзів. Для проектуемого якірного пристрою обираємо нормальний (звичайний) клюз. Бортової раструб клюза приварюється до зовнішньої обшивки, товщина якої в даному місці збільшується. Бортовий та палубні раструби з'єднані якірною трубою. Її товщина визначається по формулі:

$$t_1 \geq 0,4 \cdot d_{\text{ц}}$$

$$t_1 \geq 0,4 \cdot 48 = 19,2 \text{ мм}$$

Товщина верхньої частини розраховується по формуле:

$$t_2 = 0,65 \cdot t_1$$

$$t_2 = 0,65 \cdot 19,2 = 12,48 \text{ мм}$$

Діаметр клюзової труби:

$$D_{\text{к}} = (9 \div 10) \cdot d_{\text{ц}}$$

$$D_{\text{к}} = 9 \cdot 48 = 432 \text{ мм}$$

Довжина клюзової труби:

$$L_{\text{к}} = (150 \div 185) \cdot \sqrt[3]{M}$$

$$L_{\text{к}} = 165 \cdot \sqrt[3]{4000} = 2600 \text{ мм}$$

Радіус закруглення палубного раструба:

$$R_{\text{к}} = 9,5 \cdot d_{\text{ц}}$$

$$R_{\text{к}} = 9,5 \cdot 48 = 456 \text{ мм}$$

4.10 Вибір пристрою для кріплення та віддачі корінного кінця якірного ланцюгу. Якірний ланцюг кріпиться до корпусу судна за допомогою пристрою для кріплення та віддачі корінного кінця якірного ланцюгу з кутовим ричагом.

Обираємо пристрій для кріплення та віддачі корінного кінця якірного ланцюгу за таблицею 2.6.1. [1] в залежності від калібру ланцюга $d_{\text{ц}} = 48$ мм.

4.11 Вибір якірних стопорів. Обираємо стопор роликового типу RP з таблиці 2.8.3. [1] в залежності від калібру ланцюга $d_{\text{ц}} = 48$ мм.

ВИСНОВКИ

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

У розрахунковій частині проекту була визначена водотоннажність судна та головні розміри: водотоннажність $\Delta = 27610$ т; довжина судна між перпендикулярами $L_{\text{пш}} = 153,0$ м; ширина судна $B = 26,70$ м; висота борту $D = 15,19$ м; осадка на міделі $d = 11,25$ м.

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

Був розроблений якірний пристрій судна.

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

СПИСОК ВИКОРАСТОННОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

12. Кротов О. І, Ільїн С. Ф., Клева Я. А. Курсове і дипломне проектування транспортних суден: Ч 1. Методика і загальні вимоги. Методичні вказівки. Миколаїв : НУК, 2009. 52 с.
13. Матвєєв В. Г., Кузнецов А. І., Мартинець Б. М., Михайлов Б. М., Узлов О.М., Цибенко М.О., Шарун Г. В. Проектування конструктивного міделъ-шпангоута суховантажних суден. Методичні вказівки. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 74 с.
14. Некрасов В. О., Кротов О. І., Шестопад В. П., Потай І. Ю. Розрахунки статички судна. Частина І. Плавучість та початкова остійність : навчальний посібник. Миколаїв :УДМТУ, 2002. 56 с.
15. Петропавлов Ю. В. Разработка теоретического чертежа судна : методические указания. Херсон : ХФ НУК, 2012. 60 с.
16. Петропавлов Ю. В., Узлов А. Н. Удифференровка морских грузовых судов: методические указания. Николаев : УГМТУ, 2003. 40 с.
17. Петропавлов Ю. В., Коршиков Р. Ю Расчет парусности судна: методические указания. Херсон : ХФ НУК, 2012. 14 с.
18. Пістун І. П., Тубальцев А. М., Тубальцева Н. П. Охорона праці в суднобудуванні : Навчальний посібник. Львів : «Тріада плюс», 2009. 580 с.
19. Технологія виготовлення конструкцій корпусу судна: Підручник / О. С. Рашковський, В. М. Перов, С. М. Сліжевський, Н. В. Цикало; за заг. ред. проф. О.С. Рашковського (Рекомендовано Вченою радою НУК імені адмірала Макарова як підручник, протокол № 10 від 28.10.2016 р.). Миколаїв : НУК, 2017. 304 с.
20. Технологія виготовлення деталей корпусу судна: Навчальний посібник / О.С. Рашковський, С.І. Жигуліна, В.М. Перов, С.М. Сліжевський; Під заг. ред. проф. О.С. Рашковського. Миколаїв : НУК, 2009. 136 с.
21. Технологія корпусобудівних робіт: Підручник / Рашковський О.С., Щедролосєв О.В., Фаріонов А.М., Цикало Н.В., Перов В.М., Сліжевський С.М.; за

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

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