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. Щедролосєв
«09» грудня 2024 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: **Розробка проекту контейнеровоза з технологією виготовлення бортової секції**

Виконав: студент 6112м групи

Грига А.О.

Керівник роботи:
к.н., доцент

Коновалова Г.В.

Херсон – 2024 р.

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

Кафедра Суднобудування та ремонту суден
Спеціальність 135 «Суднобудування»
Освітня програма «Суднокорпусобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
О.В. Щедролосєв
«10» жовтня 2024 року

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

Студенту Грига Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Розробка проекту контейнеровоза з технологією виготовлення бортової секції
Керівник роботи к.н., доцент Коновалова Ганна Василівна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)
Затверджені наказом по ХННІ НУК **№ 10** від **« 10 » жовтня 2024 року**
2. Термін подання роботи: 06.12.2024 р.
3. Вихідні дані по роботі: рід вантажу – контейнери з густиною $\mu_г = 2{,}6$ м^3/т; масова водотоннажність – 11060,0 т; район плавання – необмежений; дальність плавання – 10000 миль.

4. Перелік питань, що належить до розробки (найменування розділів): визначення водотоннажності та головних розмірювань; розробка теоретичного креслення; розрахунок навантаження, визначення координат ЦВ судна та удифеферентування судна; розрахунок остійності судна; розрахунок непотоплюваності судна; набір корпусу судна за правилами РСУ; технологія виготовлення бортової секції
5. Перелік презентаційних матеріалів: теоретичне креслення; єпюра ємності; криві елементи судна; загальне розташування; діаграма остійності судна; докування судна; креслення мідель-шпангоута.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
1 – 10	к.н., доцент Коновалова Г.В.		17.10.2024		18.10.2024

7. Дата видачі завдання 17.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення водотоннажності та головних розмірювань	14.10.2024	
2	Розробка теоретичного креслення	21.10.2024	
3	Розрахунок навантаження, визначення координат ЦВ та удиферентування судна	04.11.2024	
4	Розрахунок остійності судна	11.11.2024	
5	Розрахунок непотоплюваності судна	13.11.2024	
6	Набір корпусу судна за правилами РСУ	18.11.2024	
7	Технологія виготовлення бортової секції	25.11.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи	02.12.2024	

Студент **Грига А.О.**

Керівник роботи **Коновалова Г.В.**

ЗМІСТ

Анотація……..... 5

Вступ……. 7

1. Визначення водотоннажності та головних розмірювань……..……10
2. Розробка теоретичного креслення…….....20
3. Розрахунок навантаження, визначення координат ЦВ та удиферентування судна…..……..……. 24
4. Розрахунок остійності судна…….. 32
5. Розрахунок непотоплюваності судна…….……...… 36
6. Набір корпусу судна за правилами РСУ…….……..... 39
7. Технологія виготовлення бортової секції……. 70

Висновки……...…… 82

Список використаної літератури…… 83

АНОТАЦІЯ

В роботі досліджується питання розробки проекту контейнеровоза з технологією виготовлення бортової секції.

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 контейнеровоза з технологією виготовлення бортової секції 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 удиферентувани 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 контейнеровоза з технологією виготовлення бортової секції. Об'єктом дослідження є технічні особливості контейнеровоза та технології виготовлення бортової секції.

Апробація результатів дослідження. Матеріали результатів дослідження даної магістерської роботи були використані при розробці проекту контейнеровоза.

Ключові слова: контейнеровоз, бортова секція, Регістр судноплавства України, технічні особливості

ANNOTATION

The study examines the development of a container ship design incorporating the technology for manufacturing the side section. The relevance of this issue is linked to the need for innovative developments and implementations in the field of domestic shipbuilding to intensify its growth.

The aim and objectives of this work are to develop a container ship design with the technology for manufacturing the side section in accordance with the Rules of the Shipping Register of Ukraine. To achieve this goal, the following tasks must be completed:

determine the displacement and main dimensions of the vessel;

calculate buoyancy and initial stability;

calculate the capacity of holds and compartments;

calculate loading, determine the center of gravity coordinates, and trim the vessel;

calculate vessel stability;

calculate vessel watertight integrity;

calculate the vessel's hull structure;

develop the basic construction technology for the vessel.

Subject and object of the study. The subject of the research is the development of a container ship design with side section manufacturing technology. The object of the research is the technical features of the container ship and the technology for manufacturing the side section.

Testing of the research results. The research findings of this master’s thesis were utilized in the development of the container ship design.

Keywords: container ship, side section, Ukrainian Register of Shipping, technical features.

ВСТУП

Контейнеровоз — це судно, спеціально призначене для перевезення вантажів у контейнерах, що є стандартними резервуарами для багаторазового використання. Контейнеровози з'явилися на початку 1950-х років у зв'язку з інтенсивним розвитком міжнародних морських перевезень вантажів і стали широковживаним та високоефективним транспортним засобом. Вони забезпечують збереження вантажу, значне збільшення швидкості його доставки до споживача та дозволяють створити єдину транспортну систему.

Швидке зростання світової економіки у 1990-х роках призвело до значного збільшення обсягів контейнерних перевезень, які майже подвоїлися. У цьому десятилітті щорічний обсяг оброблених контейнерів зростав до 7%. Очікується, що він і надалі збільшуватиметься щорічно на 6-7%. У 2000 році сумарний дедвейт замовлених контейнеровозів досяг 17,42 млн тонн, що становило 16,5% від загального дедвейту всіх суден, поступаючись лише танкерам і балкерам. Німеччина є найбільшим замовником контейнеровозів, а Південна Корея – найбільшим виробником.

На початковому етапі розвитку контейнерних систем існувало кілька варіантів розмірів контейнерів. Більшість компаній обрали за базу 20-футовий контейнер, що став основою стандарту ISO. Сьогодні близько 70% від загального обсягу виробництва припадає на 20-футові контейнери, а 25% – на 40-футові.

Прагнення пристосувати контейнери для перевезення різноманітних вантажів призвело до створення кількох конструктивних варіантів у межах однакових розмірів. З'явилися контейнери з вентиляційною системою, рефрижераторні, з відкидним верхом, для насипних вантажів тощо.

Контейнеровози спеціально пристосовані для перевезення стандартних великотоннажних контейнерів. Загальна місткість контейнеровозного флоту

становить близько 1,2 млн контейнерів. Серед характеристик суховантажного судна, призначеного для перевезення тарного вантажу, важливою є його здатність до перевезення контейнерів. Це підкреслює велике значення, яке надається контейнерній технології перевезення вантажів. Прогнозується, що у XXI столітті обсяги світових контейнерних перевезень збільшаться в 1,5 раза порівняно з рівнем 1990-х років XX століття.

Оскільки в трюми завантажуються не окремі вантажі різних розмірів і ваги, а стандартні контейнери, завантажувально-розвантажувальні роботи виконуються у 4-7 разів швидше, ніж на звичайних суховантажних суднах. Контейнеровози мають велике розкриття палуби, що дозволяє уникнути трудомісткої операції з горизонтального переміщення вантажу в трюмі.

Зазвичай виділяють три покоління контейнеровозів:

1. судна місткістю 500-700 одиниць із швидкістю 17-20 вузлів;
2. судна місткістю 1000-1500 одиниць зі швидкістю 20-22 вузли;
3. судна місткістю 2500-3500 одиниць зі швидкістю 25-26 вузлів.

Завдяки великому розкриттю палуби контейнеровозів (коефіцієнт розкриття 0,7-0,85) для підвищення жорсткості корпусу при скручуванні використовують подвійні борти. Люкові закриття зазвичай понтонного типу, вага однієї кришки становить не більше 30-35 тонн, щоб їх можна було знімати вантажними кранами.

На сучасних контейнеровозах значна частина контейнерів перевозиться на відкритій верхній палубі. Кріплення, що використовуються для їх фіксації у похідному положенні, мають бути розраховані на дію зусиль, які виникають при хитавиці судна.

Характерною особливістю контейнеровозів є прийняття рідкого та встановлення твердого баласту для забезпечення стійкості. Важливе значення для збереження палубних контейнерів має інтенсивність бортової хитавиці.

Жорсткість корпусу контейнеровоза потребує особливої уваги. При великому розкритті палуби підвищення жорсткості корпусу досягається за рахунок подвійного дна та подвійних бортів. Також важливо забезпечити достатню жорсткість корпусу при поперечному згині (розвал – завал бортів). Для цього враховують умови роботи люкових закриттів та кранового обладнання.

На відкритій палубі для кріплення контейнерів використовують фітингові, найтові та комірчасті засоби. Найтові кріплення можуть бути ланцюговими, тросовими, прутковими та стрічковими. Фітингові кріплення контейнерів включають центруючі пристрої, ручні замки, напівавтоматичні фітингові замки та стяжні пристрої.

Однак морський транспорт є одним із джерел забруднення морського середовища та спричиняє підвищену загрозу розливів нафти, що завдає шкоди чутливій природі. Екологічна небезпека морського транспорту складається з двох складових: експлуатаційної та аварійної.

Важко визначити, яка з цих складових є більш небезпечною для навколишнього середовища. Забруднення моря в процесі експлуатації суден відбувається постійно, хоча і в невеликих обсягах. Аварійні розливи спричиняють одноразове вивільнення великої кількості забруднювачів, яке обмежується зоною аварії та прилеглими територіями, і спричиняє масову загибель морських мешканців.

РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ СУДНА

Дані по судну-прототипу:

Довжина найбільша L, м	156,36
Довжина між перпендикулярами $L_{\perp\perp}$, м	144,32
Ширина судна B, м	25,3
Висота борта H, м	13,2
Осадка судна T, м	9,75
Коефіцієнт загальної повноти δ	0,648
Коефіцієнт повноти ватерлінії α	0,735
Коефіцієнт повноти мідель-шпангоута β	0,983
Експлуатаційна швидкість v_e , вуз	18,0
Швидкість на випробуваннях $v_в$, вуз	18,5
Тип СЕУ	МОД
Експлуатаційна потужність ГД N_e , кВт	11000
Потужність ГД на випробуваннях $N_в$, кВт	12100
Довжина кругового рейсу Z, миль	12000
Питома навантажувальна кубатура μ, $м^3/т$	2,42
Коефіцієнт утилізації η	0,483
Кількість гвинтів	1
Вантажомісткість судна D , т	24120
Поздовжній метацентричний радіус R , м	139,24
Абсциса ЦВ X , м	-2,19
Апліката ЦВ Z , м	4,94
Розділ «Корпус» - маса $Р_{мк}$,т	3830
Абсцисса ЦТ: X_{gk} , м	-7,26
Апліката ЦТ: Z_{gk} , м	7,76

Розділ «Обладнання» - маса $P_{об}$,т	2033
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{доб}}$, м	-9,84
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{доб}}$, м	12,76
Розділ «Енергетична установка» - маса $P_{еу}$,т	767
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{деу}}$, м	-48,26
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{деу}}$, м	7,43
Розділ «Запас водотонажності» - маса $P_{зв}$,т	240
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{дзв}}$, м	1,2
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{дзв}}$, м	10,3
Розділ «Постачання» - маса $P_{сн}$,т	179
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{дсн}}$, м	-36,74
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{дсн}}$, м	7,52
Розділ «Паливо» - маса $P_{пл}$,т	1410
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{дпл}}$, м	-23,21
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{дпл}}$, м	0,64
Розділ «Баласт» - маса $P_{бал}$,т	4011
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{дб}}$, м	19,48
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{дб}}$, м	7,2
Розділ «Вантаж» - маса $P_{вн}$,т	11648
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{двн}}$, м	4,39
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{двн}}$, м	11,18
Водотоннажність порожнем $\boldsymbol{D_{пор}}$, т	6870
Абсцисса ЦТ: $\boldsymbol{X_{дпор}}$, м	-11,14
Апліката ЦТ: $\boldsymbol{Z_{дпор}}$, м	9,37
Чисельність екіпажу	25
Довжина форпіка $\boldsymbol{L_{фор}}$, м	6
Довжина ахтерпіка $\boldsymbol{L_{ахт}}$, м	8,4
Довжина машинного відділення $\boldsymbol{L_{мо}}$, м	24,32
Кількість контейнерів $n_{кон}$, од	776

Дані по судну, що проектується:

Вантажомісткість D , т	11060
Експлуатаційна швидкість v_e, вуз	16.0
Швидкість на випробуваннях $v_в$, вуз	16.5
Довжина кругового рейсу Z, миль	10000
Район плавання	необмежений
Льодова категорія	----
Тип ЕУ	ДВС
Питома навантажувальна кубатура μ, $м^3/т$	2,6

1.1 Визначення водотоннажності

Складання алгебраїчного рівняння мас:

$$D=P_{мк}+P_{об}+P_{еу}+P_{тп}+P_{сн}+P_{зв}+P_{гр},+P_{бал} \qquad (1),$$

де D – масова водотоннажність [т];

$P_{мк}$, $P_{об}$, $P_{еу}$, $P_{тп}$, $P_{сн}$, $P_{зв}$, $P_{гр}$,$P_{бал}$ – маси розділів навантаження: металевого корпусу, устаткування, СЕУ; палива, води та мастила; постачання; запас водотоннажності; вантажу і баласту.

Кожна складова цього рівняння виражається через водотоннажність проекту у вигляді:

$$P_i = a_i \cdot D,$$

де P_i – маса розділів навантаження;

a_i – частковий коефіцієнт маси відповідного розділу навантаження.

У першому наближенні прийнято усі розділи навантаження проекту виражати через функції водотоннажності, після чого вираз (1) приймає вигляд:

$$D = a_{зв} \cdot D + a_{мк} \cdot D + a_{сн} \cdot D + q_{об} \cdot D^{\frac{2}{3}} + q_{еу} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_в^3}{C_в} + q_{тп} \cdot \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_е^2}{C_е} \cdot \alpha + P_{гр} \quad (2)$$

де $a_{мк}$, $a_{сн}$, $a_{зв}$, $q_{об}$ –вимірники мас: металевого корпусу, постачання,запасу водотоннажності та устаткування відповідно, приймаються по прототипу, тобто:

$a_{мк} = \frac{\overline{P_{мк}}}{\overline{D}} = \frac{3830}{24120} = 0.158789$- вимірник маси металевого корпусу

$a_{сн} = \frac{\overline{P_{сн}}}{\overline{D}} = \frac{179}{24120} = 0{,}007421$- вимірник маси постачання

$a_{зв} = \frac{\overline{P_{зв}}}{\overline{D}} = \frac{240}{24120} = 0{,}00995$, приймаємо $\boldsymbol{a_{зв}}$=0,01 – частковий запас водотонажності

$q_{об} = \frac{\overline{P_{об}}}{\overline{D^{\frac{2}{3}}}} = \frac{2033}{(24120)^{\frac{2}{3}}} = 2.4353$ - вимірник маси обладнання

q_{ey} – вимірник маси ЕУ [т/кВт], приймається по прототипу, тобто:

$q_{ey} = \frac{\overline{P_{ey}}}{\overline{N_{ey}^{u}}} = \frac{767}{12100} = 0.063388$ (т/кВт)

$q_{тп}$ – вимірник маси палива на головний двигун [т/кВт·ч], тобто:

$q_{тп} = \overline{P_{пл}} \cdot \overline{v_e} / \overline{N_e} \cdot \overline{Z}$=1410*18/11000*12000=0,00019227 (т/кВт·ч);

С – адміралтейський коефіцієнт, приймається за прототипом:

$$C = \frac{\overline{D^{\frac{2}{3}} \cdot v^3}}{\overline{N_{ey}}}$$

тоді $C_e = \frac{\overline{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_e^3}}{\overline{N_{ey}^{e}}} = \frac{(24120)^{\frac{2}{3}} \cdot (18.0)^3}{11000} = 442{,}598$ - при експлуатації судна

$C_в = \frac{\overline{D^{\frac{2}{3}} \cdot v_u^3}}{\overline{N_{ey}^{u}}} = \frac{(24120)^{\frac{2}{3}} \cdot (18.5)^3}{12100} = 436{,}832$ - на випробуваннях

Запишемо рівняння мас у наступному вигляді:

$$D \cdot (1 - a_{мк} - a_{сн} - a_{зв}) = D^{\frac{2}{3}} \cdot \left(q_{об} + q_{ey} \cdot \frac{v_u^3}{c_u} + q_{тп} \cdot \frac{v_e^2}{c_e} \cdot Z\right) + P_{гр} + P_{бал};$$

тобто

$$\underbrace{D \cdot (1 - 0{,}159 - 0{,}00742 - 0{,}01)}_{n} = D^{\frac{2}{3}} \cdot$$

$$\underbrace{\left(2{,}435 + 0{,}0634 \cdot \frac{16{,}5^3}{437} + 0{,}000192 \cdot \frac{16{,}0^2}{443} \cdot 10000\right)}_{m} + \underbrace{11060 + 4011}_{A}$$

$n = 0{,}82379; m = 4{,}55789; A = 15071$

Приведемо рівняння до наступного вигляду:

$$D \cdot 0{,}82379 = D^{\frac{2}{3}} \cdot 4{,}55789 + 15071$$

$$n \cdot D - m \cdot D^{\frac{2}{3}} - A = F(D)$$

$$0{,}82379D - 4{,}55789D^{\frac{2}{3}} - 15071 = F(D);$$

Проведемо розрахунок n/n, m/n, A/n та отримаємо

$$\frac{m}{n} = \frac{4{,}55789}{0{,}82379} = 5{,}53283; \qquad \frac{A}{n} = \frac{15071}{0{,}82379} = 18294{,}711$$

$$D - 5{,}53283 * D^{2/3} - 18294{,}711 = F(D)$$

$\overline{\eta_{гр}} = 0{,}483$– коефіцієнт утилізації по чистій вантажоємності.

$D_0 = \frac{P_{гр}}{\eta_{гр}} = \frac{11060}{0{,}482} = 22946$ (т)- очікувана водотоннажність.

$\eta_{гр} = \overline{\eta_г^{ут}} \cdot \sqrt[4]{\frac{P_г}{\overline{P_г}}}$- коефіцієнт утилізації вантажу

$\overline{\eta_г^{ут}} = \overline{\eta_г} - \left[a_{ey} \cdot \left(\frac{\upsilon_{вип}}{\overline{\upsilon}_{вип}}\right)^3 + q_{mn} \cdot \left(\frac{\upsilon_e}{\overline{\upsilon_e}}\right)^2 \cdot \frac{Z}{\overline{Z}}\right] + a_{ey} + a_{mn}$- уточнений коефіцієнт утилізації

$$\overline{\eta_г^{ут}} = 0{,}483 - \left[0{,}063388 \cdot \left(\frac{16{,}5}{18{,}5}\right)^3 + 0{,}00019227 \cdot \left(\frac{16}{18}\right)^2 \cdot \frac{10000}{12000}\right] + 0{,}063388 +$$

$$0{,}00019227 = 0{,}374 \qquad \eta_{гр} = 0{,}374 \cdot \sqrt[4]{\frac{11060}{11648}} = 0{,}482$$

Задамо значення:

$$22994\text{-}5{,}53283 * (22994)^{2/3} - 18294{,}711 = F(D);$$

$$F(D) = 225{,}347$$

Зменшуємо D_0 на це число і вирішуємо рівняння, доки $F(D) \leq 10$ т.

При D = 22739 т, F(D) = 0,404 –дана нев'язка є допустимою

Приймаємо: D = 22739 т.

Отримавши водотоннажність, розподілимо її по розділам масового навантаження, використовуя вираз для їх визначення (2). Перевіркою є виконання рівняння:

$$D_1 = P_{мк1} + P_{сн1} + P_{зв1} + P_{об1} + P_{еу1} + P_{тп1} + P_{гр} + P_{бал}$$

де P_i — розділи масового навантаження у першому наближенні,

$P_{мк1} = a_{мк} \cdot D_1 = 0{,}158789 \cdot 22739 = 3610{,}703$ т;

$P_{сн1} = a_{су} \cdot D_1 = 0{,}007421 \cdot 22739 = 168{,}746$т;

$P_{зв1} = a_{зв} \cdot D_1 = 0{,}01 \cdot 22739 = 227{,}39$ т;

$P_{об1} = a_{об} \cdot D_1^{2/3} = 2{,}4353 \cdot (22739)^{2/3} = 1954{,}64$ т;

$P_{еу1} = q_{еу} \cdot N_{еу}^{и} = 0{,}063388 \cdot 8253{,}756 = 523{,}189$ т,

де $N_{еу}^{и} = D_1^{2/3} \cdot v_и^3 / C_и = (22739)^{2/3} \cdot (16{,}5)^3 / 436{,}832 = 8253{,}756$ кВт-потужність енергетичної установки на випробуваннях;

$P_{тп1} = q_{тп} \cdot D_1^{2/3} \cdot (v_e^2 / C_e) \cdot Z = 0{,}00019227 \cdot 22739^{2/3} \cdot (16^2 / 442{,}598) \cdot 10000 = 1183{,}132$

$P_{гр}$=11060 т, $P_{бал}$= 4011 т.

Перевірка:

D_1=3610,703+168,746+227,39+1954,64+523,189+1183,132+11060+4011= 22738,8т

$$D_1 - D = 22739 - 22738{,}8 = 0{,}2\ м < 10\ м$$

Остаточно приймаємо значення водотоннажності в першому наближенні:

D_1 = 22738,8 т.

1.2 Визначення безрозмірних характеристик форми корпуса.

Відносна довжина проекту:

$$l_1 = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{\frac{D_1}{\gamma}}}\right) \cdot \upsilon_э^{1/3} = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{\frac{22738.8}{1{,}025}}}\right) \cdot (16{,}0)^{1/3} = 5.488$$

-судна-прототипу: $l_1 = L/(D/g)^{1/3} = 144{,}32/(24120/1.025)^{1/3} = 5{,}036$

$l_1 = 5{,}488$ $\upsilon = 16$ вуз

$\overline{l_1} = 5{,}036$ $\overline{\upsilon_e}$=18 вуз

Приймаю l_1 = 5,036 т.к. $\upsilon_e < \overline{\upsilon_e}$.

Очікувана довжина:

$$L = l_1 \cdot (D/g)_1^{1/3} = 5{,}036 \cdot (22738.8/1{,}025)^{1/3} = 141.503м$$

Числа Фруда:

проекту: $Fr_1 = \frac{v_э \cdot 0{,}514}{\sqrt{gL_{nn}}} = \frac{16 \cdot 0.514}{\sqrt{9{,}81 \cdot 141.503}} = 0.221$

прототипу: $Fr_1 = \frac{\bar{v}_э \cdot 0{,}514}{\sqrt{g\bar{L}_{nn}}} = \frac{18 \cdot 0.514}{\sqrt{9{,}81 \cdot 144{,}32}} = 0.246$

Для тихохідних і середньошвидкістних суден (Fr<0,3) коефіцієнти загальної повноти (δ) та повноти мідель-шпаногута (β)визначаємо за формулами, а φ із співвідношення, що пов'язує основні коефіцієнти повноти ($\alpha,\varphi,\beta,$).

Коефіцієнт загальної повноти:

$$\delta_1 = 1{,}0 - 0{,}48/[1 + 100 \cdot exp(-25 \cdot Fr)]$$
$$= 1{,}0 - 0{,}48/[1 + 100 \cdot exp(-25 \cdot 0{,}221)] = 0{,}657$$

Коефіцієнт поздовжньої повноти:

φ=1,0-0,41/[1+100*exp(-25*Fr)]=1-0,41/[1+100*exp(-25*0,221)]=0,707

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута приймаємо:

β=δ/φ=0,657/0.707=0.929

Коефіцієнт повноти площі вантажної ватерлінії:

$\alpha_1 = a \cdot {\phi_1}^{2/3}$,

де a=1,01 при Fr<0.25(Fr=0.219),

$$\alpha_1 = 1{,}01 \cdot (0{,}707)^{2/3} = 0{,}802$$

Позначення	Прототип	Проект	Прийнято
Fr	0.246	0.221	0.221
α	0.735	0.802	0.802
β	0.983	0.929	0.983
δ	0.648	0.657	0.657

Коефіцієнт зв'язку коефіцієнтів:

КСК $= \frac{\alpha \cdot \beta}{\delta} = \frac{0{,}802 \cdot 0{,}983}{0{,}657} = 1{,}2$, допустимий КСК=1,16±0,16.

1.3 Визначення співвідношень та головних розмірів.

Відношення висоти борта до осадки в значній мірі впливає на об'єм вантажних приміщень, непотоплюваність та остійність. При його визначенні в першому наближенні будемо враховувати виконання умови вантажомісткості.

З умови вантажомісткості:

$$\left(\frac{H}{T}\right) = \left(1{,}07 \cdot \mu_{гр} \cdot \eta_{гр} + 0{,}16\right) \cdot K_э,$$

де $\mu = V_k/m_k = 2{,}44*2{,}44*6{,}1/14 = 2{,}6$ м^3/т —питома завантажувальна кубатура вантажу судна-проекту;

$m_k = P_{гр}/n_{кон} = 11060/790 = 14$ т – масса одного контейнера;

$\eta_{гр} = 0{,}483$—коефіцієнт утилізації за чистою вантажомісткістю;

$K_э$ — коефіцієнт екстраполяції:

$$K_э = \frac{\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)}{\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)_p}, \quad (3)$$

де $\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right) = \frac{13{,}2}{9{,}75} = 1{,}354$—фактичне відношення висоти борту прототипа до осадки.

$\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)_p$ — відношення прототипу, розраховане за формулою (3), при $К_э$=1:

$\left(\frac{\bar{H}}{\bar{T}}\right)_p = \left(1{,}07\bar{\mu}_{гр} \cdot \bar{\eta}_{гр} + 0{,}16\right) \cdot K_э = (1{,}07 \cdot 2{,}42 \cdot 0{,}483 + 0{,}16) \cdot 1 = 1{,}41$ тоді

$$K_э = \frac{1{,}354}{1{,}41} = 0{,}96$$

Тепер отримаємо для проекту:

$$\left(\frac{H}{T}\right)_1 = (1{,}07 \cdot 2{,}6 \cdot 0{,}48 + 0{,}16) \cdot 0{,}96 = 1{,}436$$

$$\left(\frac{\overline{H}}{\overline{T}}\right) = 1{,}354 \qquad \overline{\mu_{гр}} = 2{,}42 \text{ м}^3/\text{т}$$

$$\left(\frac{H}{T}\right) = 1{,}436 \qquad \mu_{гр} = 2{,}6 \text{ м}^3/\text{т}$$

Відношення ширини до осадки приймаємо за прототипом: $\left(\frac{B}{T}\right)_1 = \left(\frac{\bar{B}}{\bar{T}}\right) = \frac{25{,}3}{9{,}75} = 2{,}595$

Відношення довжини до ширини

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \sqrt{l_1^3 \cdot \delta_1 \cdot \frac{1}{\left(\frac{B}{T}\right)_1} K_{вч} \cdot \rho_в}$$

визначаємо з умови ходовості:

де l_1=5,036 м-відносна довжина судна;

$K_{вч} = 1{,}02$—коефіцієнт виступаючих частин;

$\rho_в = 1{,}025$т/м^3—щільність морської води;

таким чином

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \sqrt{5.036^3 \cdot 0.657 \cdot \frac{1}{2.595} \cdot 1.02 \cdot 1.025} = 5{,}814$$

$\frac{L}{B} = 5{,}814$ $\upsilon = 16$ вуз

$\frac{\overline{L}}{\overline{B}} = 5{,}6$ $\overline{\upsilon_e} = 18$ вуз

Так як $\upsilon_e < \overline{\upsilon_e}$, то доцільно буде прийняти $\left(\frac{L}{B}\right)_1 = 5{,}6$.

Маємо відношення головних розмірів та водотоннажності в першому наближенні, тому розв'яжемо рівняння плавучості:

$D_1 = K_{вч} \cdot \rho_в \cdot \delta_1 \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot T_1$,

Виразимо *L* та *T* через *B,* отримаємо:

$D_1 = K_{вч} \cdot \rho_в \cdot \delta_1 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)_1 \cdot B^3 \cdot \left(\frac{T}{B}\right)_1$,

звідки: $B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1}{K_{вч} \cdot \rho_в \cdot \delta_1 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)_1 \cdot \left(\frac{T}{B}\right)_1}} = \sqrt[3]{\frac{22739 \cdot 2{,}595}{1{,}02 \cdot 1{,}025 \cdot 0{,}657 \cdot 5{,}6}} = 24{,}847$м

Тоді: $T_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{T}\right)_1} = \frac{24{,}847}{2.595} = 9{,}575$м;

$L_1 = (L/B) \cdot B_1 = 5{,}6 \cdot 24{,}847 = 139{,}143$ м;

$H_1 = T \cdot \left(\frac{H}{T}\right)_1 = 9{,}575 \cdot 1{,}436 = 14.75$м

Вірність рівняння перевіримо, підставивши отримане значення:

$D_1 = 1{,}02 \cdot 1{,}025 \cdot 0{,}657 \cdot 139{,}143 \cdot 24{,}847 \cdot 9{,}575 = 22738.6$т

Приймаємо наступні значення: B_1 = 25 м; T_1=9,5 м;

$$L_1 = \frac{D_1}{B_1 \cdot T_1 \cdot \delta \cdot \gamma \cdot k_{\text{в.ч.}}} = \frac{22738.6}{25 \cdot 9{,}5 \cdot 0{,}657 \cdot 1{,}025 \cdot 1{,}02} = 139{,}4 \text{ м}$$

Перевіримо значення водотоннажності:

$D_1 = L \cdot B \cdot T \cdot \delta \cdot \gamma \cdot k_{\text{в.ч.}} = 139{,}4 \cdot 25 \cdot 9{,}5 \cdot 0{,}657 \cdot 1{,}025 \cdot 1{,}02 = 22741.3$ т

$D_1 – D$ = 22741,3 – 22738,65 =2,7 m<10 m

Приймаємо D_1=22741,3 т.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ

Генерація теоретичного креслення

Для генерації теоретичного креслення використовуємо програму Freeship+. Вона дає можливість проектувати в автоматичному режимі обведення суховантажних суден, танкерів, транспортних рефрижераторів, контейнеровозів, накатних і навалювальних судів.

Програма дозволяє генерувати теоретичне креслення в наступних діапазонах характеристик форми корпуса судна:

• коефіцієнт повноти водотоннажності 0,580 - 0,847;

• коефіцієнт повноти мідель-шпангоута 0,992 - 0,994;

• абсциса центра величини, віднесена до довжини +0,03 ...-0,04.

Прийнятий у програмі спосіб проектування суднової поверхні відноситься до графоаналітичного і заснований на використанні теоретичних креслень базових судів прототипів. Сутність його полягає в тому, що шукані суднові форми визначаються за допомогою інтерполяції між деяким числом обраних належним чином теоретичних креслень судів-прототипів.

В основі алгоритму розрахунку ординат теоретичного креслення лежать:

- інтерполяційний метод Ашика, що дозволяє одержати теоретичне креслення з заданими величинами коефіцієнтів загальної повноти і повноти мідель-шпангоута;
- метод перебудування стройової по шпангоутах, запропонований Лекєнбі, що дає можливість побудувати теоретичне креслення з заданої абсцисою центра величини.
- Інтерполяційне перетворення враховує зміна лише коефіцієнта загальної повноти 5 і вимагає наявності двох креслень-прототипів, коефіцієнти загальної повноти яких δ_1 та δ_2 такі, що $\delta_1 < \delta < \delta_2$, де δ - відноситься до проекту.

Ординати теоретичного креслення проекту визначаються по наступній формулі:
$Y(x,z) = K_y Y_1(x,z) + (1-K_y) \cdot У_2(x,z)$,

де $У_1(x,z)$ та $Y_2(x,z)$ - ординати теоретичного креслення проекту, першого і другого прототипу відповідно.

Величина $К_у$ визначається по наступній формулі: $K_y = \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_2 - \delta_1}$.

Визначимо властивість інтерполяційного перетворення, що буде використаний надалі:

- коефіцієнт повноти мідель - шпангоута проектованого судна може бути отриманий по залежності: $\beta = K_y \cdot \bar{\beta}_1 + (1 - K_y) \cdot \bar{\beta}_2$. Отже, справедливе співвідношення: $K_y = \frac{\bar{\beta}_2 - \beta_1}{\bar{\beta}_2 - \beta_1}$

Перебудування стройової по шпангоутах застосовується у випадку, коли необхідно одержати ординати теоретичного креслення при зміні абсциси центра величини. Для машинного розрахунку зручніше спосіб Х. Лекєнбі, що і викладений нижче. Основна формула способу: $Y(x,z) = \bar{Y}(x,z) + \frac{dy}{dz}\Delta x$,

де Δx - зсув шпангоута уздовж вісі Ох. У загальному випадку при наявності циліндричної вставки $l_ц$ та збільшення її довжини $\Delta l_ц$ величина Δx визначається виразом:

$$\Delta x_1 = (1 - F_i) \cdot \left[\frac{\Delta l_ц}{1 - l_{ц.н.(к)}} + \frac{(F_i - l_{ц.н.(к)}) \cdot \left(\Delta\phi_{н(к)} - \Delta l_ц \cdot \frac{1 - \bar{\phi}_{н(к)}}{1 - l_{ц.н(к)}} \right)}{\bar{\phi}_{н(к)} \cdot (1 - 2\bar{x}_{с.н(к)}) - \bar{l}_{ц.н(к)}(1 - \bar{\phi}_{н(к)})} \right]$$

де $F = \frac{l}{n_{н(к)}}$ - величина, зворотна кількості шпангоутів $n_{н(к)}$ у межах носової чи кормової частини теоретичного креслення; і - порядковий номер шпангоута відлічуваного в ніс або в корму від міделя; $х_{с.н(к)}$ - безрозмірна (віднесена до половини довжини судна $0{,}5L_{пп}$) абсциса центра величини в носовій чи кормовій частині судна прототипу; $1_{ц.н(к)}$ - довжина циліндричної вставки кормової чи носової частини судна, віднесена до $0{,}5\ L_{пп}$; $\Delta l_ц$ - збільшення довжини циліндричної вставки, обумовлена як $\Delta l_ц = l_{ц.н(к)} - \bar{l}_{ц.н(к)}$;

$\Delta\phi_{н(к)}, \bar{\phi}_{н(к)}$ - збільшення коефіцієнта подовжньої повноти носової (кормовий)

частини прототипу. Похідна $\frac{dy}{dx}$ - знайдеться в кінцевих різницях за формулою: $\frac{dy}{dx_{Y=Y1}} = \frac{\bar{Y}_{i+1} - \bar{Y}_{i-1}}{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_{i-1}}$

Визначимо важливе для подальшої властивості способу Х. Лекєнбі:

- коефіцієнт повноти мідель - шпангоута в цьому випадку не змінюється, а збільшення коефіцієнта загальної повноти визначається як $\Delta\delta = \beta \cdot \Delta\phi$

Коефіцієнт повноти площі конструктивної ватерлінії не задається, його значення виходить пропорційно коефіцієнту інтерполяції, використовуваному при перебудуванні вихідних креслень-прототипів.

Побудова теоретичного креслення

Побудова теоретичного креслення починається з креслення сітки. Вона будується у відповідності зі схемою розбивки теоретичних шпангоутів і ватерліній. Сітку варто виконувати тушшю тонкими лініями. Неточності, допущені при її побудові, можуть привести до неможливості узгодження теоретичного креслення, тому вона повинна бути накреслена надзвичайно ретельно, із застосуванням металевих лінійок і обов'язковою перевіркою діагоналей прямокутників, що не повинні відрізнятися друг від друга не більше ніж на 0,5 мм. Перпендикуляри до основної лінії сітки рекомендується відновлювати за допомогою геометричної побудови.

Теоретичне креслення виконують по 21 (0 - 20) шпангоуті і 8 (0 - 7) ватерліням: 5 - у підводній частині і 2 - у надводній. Число батоксів - два.

Після побудови діаметрального батокса варто приступити до креслення шпангоутів на проекції КОРПУС. Для цього використовують ординати теоретичного креслення, отримані за допомогою ЕОМ. Потім на проекцію НАПІВШИРОТА переносять ординати усіх ватерліній, а також крапки перетинання діаметрального батокса з ними. Отримані в такий спосіб для

кожної ватерлінії крапки всі необхідні крапки варто з'єднати плавними лініями.

Для побудови батоксів необхідно з проекції НАПІВШИРОТА перенести крапки перетинання батоксів з ватерліниями на відповідні ватерлінії проекції БІК, а проекції КОРПУС - перетинання батоксів зі шпангоутами - на шпангоути проекції БІК і з'єднати ці крапки плавної кривої.

Завершується побудова коректуванням теоретичного креслення, що забезпечує плавність обведень. Спочатку варто домогтися плавності батоксів що, можливо, вимагатиме переміщення відповідних крапок на проекції БІК і НАПІВШИРОТА. Потім відпрацьовують плавність ватерліній і проводять коректування побудованих шпангоутів проекції КОРПУС.

Теоретичне креслення представлене в графічній частині до пояснювальної записки на кресленні.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ ЦВ ТА УДИФФЕРЕНТУВАННЯ СУДНА

Побудова епюри ємності та перевірка вантажомісткості

Для цього розрахуємо висоти горизонтальних площин, починаючи з основної площини:

(0 м ÷ 1,4 м) - друге дно

(1,4 м ÷ 15,14 м)- трюм

15,14 м – верхня палуба

Використовуючи отримані значення площ, ми будуємо епюри ємностей для цистерн, трюмів та люків. Після цього визначаємо фактичні об'єми відсіків та сумуємо їх:

$W_{ЗАГ} = W_{ТР} + W_{КВП}$, де

$W_{ЗАГ}$– загальна сума всіх об'ємів вантажної частини судна

$W_{ТР}$- сума об'ємів трюмної частини судна

$W_{КВП}$- сума об'ємів контейнерів верхньої палуби відповідно трюмам

Порахуємо ці суми для кожної вантажної частини судна:

$W_{ТР} = 1815{,}85 + 5084{,}37 + 6101{,}25 + 5520{,}18 = 18521{,}65$ м^3

$W_{КВП} = 617.38 + 2288.16 + 3050.88 + 4067{,}5 = 10023.92$ м^3

$W_{ЗАГ} = 18521{,}65 + 10023.92 = 28545.6$ м^3

Порівняємо найдений фактичний об'єм вантажної частини судна з потрібним:

$W_{ПОТР} = P_B \cdot \mu_B = 11060 \cdot 2{,}6 = 28756$м^3 - потрібний об'єм

$W_{ФАКТ} = W_{ЗАГ} = 28545.6$- фактичний об'єм судна під вантаж

$$\varepsilon = \frac{W_{ФАКТ} - W_{ПОТР}}{W_{ПОТР}} \cdot 100\% = \frac{28756 - 28545.6}{28756} \cdot 100\% = 0{,}73\%$$

Так як ε дорівнює 0,73 %, розрахунок виконан вірно.

Таблиця 3.1 Ємність судна

Найменування відсіків	$W_{\text{теор}}$	Коеф. викор.	$W_{\text{корис}}$	X	Z
Цистерна №1	164,8	0,98	161,5	51,36	0,75
Цистерна №2	595,8		583,9	28,17	0,73
Цистерна №3	857,7		840,5	1,53	0,7
Цистерна №4	673,1		659,6	-25,1	0,74
Цистерна МО	244,3		239,4	-49,27	0,76
Об'єм цистерн	**2535,6**		**2485**		
БЦ № 1 ПБ	848,2	0,98	831,2	27,67	9,44
БЦ № 1 ЛБ	848,2		831,2	27,67	9,44
БЦ № 2 ПБ	1004		984.3	1,72	8,3
БЦ № 2 ЛБ	1004		984.3	1,72	8,3
БЦ № 3 ПБ	998,3		963	-26,1	9,44
БЦ № 3 ЛБ	998,3		963	-26,1	9,44
Форпік	336	0,98	329,3	68,32	10,11
Ахтерпік	506,3		496	68,22	8,53
МВ	5672,1		5558,6	-10,62	8,3
Об'єм кінцівок	**6514,3**		**6384**		

Удиферентування судна

Проектним удиферентуванням називається операція, у процесі якої положення центра маси проектованого судна по його довжині сполучається з оптимальним положенням центра величини (ЦВ), обраним з умов ходовості. Метод удиферентування в основному залежить від величини диференту. Якщо диферент невеликий, то він може бути усунутий переміщенням уздовж судна палива або рідкого баласту, у залежності, що буде більше ефективним. Даний метод називається удиферентуванням за рахунок переміщення мас по довжині судна.

Удиферентування судна у випадку 100% вантажу + 100% запасів

Розрахуємо центри мас розділів навантаження судна-проекта за такими формулами:

$$X = \frac{\overline{X}}{\overline{L}} \times L$$

$$Z = \frac{\overline{Z}}{\overline{H}} \times H$$

$\overline{H} = 13{,}2$м – висота борта судна-прототипа

$H = 15{,}14$м – висота борта судна-проекта

$\overline{L} = 144{,}32$м – довжина між перпендикулярами судна-прототипа

$L = 138.4$м – довжина між перпендикулярами судна-прототипа

$\overline{X}_{gk} = -7{,}26$м – абсциса центра мас розділу “корпус” прототипу

$\overline{Z}_{gk} = 7{,}76$м – апліката центра мас розділу “корпус” прототипу

$\overline{X}_{gоб} = -9{,}84$м – абсциса центра мас розділу “обладнання” прототипу

$\overline{Z}_{gоб} = 12{,}76$м – апліката центра мас розділу “обладнання” прототипу

$\overline{X}_{gеу} = -48{,}26$м – абсциса центра мас розділу “енергетична установа” прототипу

$\overline{Z}_{gеу} = 7{,}43$м – апліката центра мас розділу “енергетична установа” прототипу

$\overline{X}_{gзв} = 1{,}2$м – абсциса центра мас розділу “запас водотонажності” прототипу

$\overline{Z}_{gзв} = 10{,}3$м – апліката центра мас розділу “запас водотонажності” прототипу

$\overline{X}_{gпост} = -36{,}74$м – абсциса центра мас розділу “постачання” прототипу

$\overline{Z}_{gпост} = 7{,}52$м – апліката центра мас розділу “постачання” прототипу

$\overline{X}_{gпор} = -11{,}14$ м – абсциса центра мас розділу “водотоннажність порожнем” прототипу

$\overline{Z}_{gпор} = 9{,}37$ м – апліката центра мас розділу “водотоннажність порожнем” прототипу

Таким чином отримаємо наступні величини:

Таблиця 3.2 Навантаження судна

Розділи навантаження	Центри мас розділів навантаження проекту	
	X_g, м	Z_g, м
Корпус металевий	-6.96	8,9
Обладнання	-9,44	14,64
Енергетична установка	-46.28	8.52
Запас водотоннажності	1.15	11.81
Постачання	-35.23	8.62
Судно порожнем	-11,62	10.75

Таблиця 3.3 Визначення ЦТ судна

	Найменування	Маса, P_i, т	Координати ЦВі, м		Моменти, т·м	
			x_i	z_i	$p_i x_i$	$p_i z_i$
1	Корпус	4596.35	-6.96	8,9	-31990.6	40907.52
2	Обладнання	2210.37	-9,44	14,64	-20866	32359.8
3	ЕУ	375.3	-46.28	8.52	-17368.9	3197.6
4	ЗВ	234.37	1.15	11.81	269.53	2767.9
	Суми	$\sum 1 = 7416.4$			$\sum 2 = -78771{,}1$	$\sum 3 = 79232.82$

$$X_g = \frac{\sum_2}{\sum_1} = \frac{-70495}{7416.4} = -9.6\text{м}$$

$$Z_g = \frac{\sum_3}{\sum_1} = \frac{79232.82}{7416.4} = 10.68\text{м}$$

Таблиця 3.4 Визначення ТЦ палива

	Найменування	W	Паливо, P_i, т	Прийнято P_i, т	Координати ЦВі, м		Моменти, т·м	
					x_i	z_i	$p_i x_i$	$p_i z_i$
1	Цистерна №1	161,5	135,6					
2	Цистерна №2	583,9	490,5					
3	Цистерна №3	840,5	706,1	18,3	1,5	0,02	27,45	0,366
4	Цистерна №4	659,6	554,1	554,1	-25,1	0,74	-13908	410,03
5	Цистерна МО	239,4	201,1	201,1	-49,27	0,76	-9908	152,84
	Суми			773,5			-23789	563,24

Приймаємо густину дизельного палива для зимнього використання: 840 кг/м^3

$$P_i = 0{,}84 * W_{корис}$$

$$X_g = \frac{\sum_2}{\sum_1} = \frac{-23789}{773.5} = -30.76\text{м}$$

$$Z_g = \frac{\sum_3}{\sum_1} = \frac{563.24}{773.5} = 0{,}73\text{м}$$

Таблиця 3.5 Визначення ЦТ баласту

	Найменування	W	Маса, P_i, т	Прийнято P_i, т	Координати ЦВі, м		Моменти, т·м	
					x_i	z_i	$p_i x_i$	$p_i z_i$
1	БЦ №1 ПБ	831,2	831,2	754,2	27,67	9,2	20868,71	6938,64
2	БЦ №1 ЛБ	831,2	831,2	754,2	27,67	9,2	20868,71	6938,64
3	БЦ №2 ПБ	984.3	984.3	983,3	1,72	8,3	1691,276	8161,39
4	БЦ №2 ЛБ	984.3	984.3	983,3	1,72	8,3	1691,276	8161,39
5	БЦ №3 ПБ	963	963					
6	БЦ №3 ЛБ	963	963					
7	Ахтерпік	496,1	496,1	496	-64,8	8,53	-32140,8	4230,88
8	Форпік	329,3	329,3	40	64.9	0,7	21371,57	230,51
	Суми			4011			34350,75	34661,5

Приймаємо густину води: 1 т/м^3

$$X_g = \frac{\sum_2}{\sum_1} = \frac{3435.75}{4011} = 8.56\text{м}$$

$$Z_g = \frac{\sum_3}{\sum_1} = \frac{34661.5}{4011} = 8.64\text{м}$$

Таблиця 3.6 Визначення загального ЦТ судна

	Найменування	Маса, P_i, т	Координати ЦВі, м		Моменти, т·м	
			x_i	z_i	$p_i x_i$	$p_i z_i$
1	Судно порожнем	7416.4	-11.62	10,75	-86178.6	79726.3
2	Вантаж	11060	3.03	13,3	33511.8	147098
3	Паливо	773.5	-30.76	0,73	-23792.86	564.7
4	Постачання	175.6	-35.23	8,62	-6186.4	1513.7
5	Баласт	4011	8.56	8.64	34334.2	35938.56

	Суми	$\sum 1 = 23436.5$			$\sum 2 = -48309$	$\sum 3 = 264838.4$

$$X_g = \frac{\sum_2}{\sum_1} = \frac{-48309}{23436.5} = -2.06 \text{ м}$$
$$Z_g = \frac{\sum_3}{\sum_1} = \frac{264838.4}{23436.5} = 11.3 \text{ м}$$

По метацентричній формулі повздовжньої остійності визначимо момент, що диферентує судно на 1 см

$$M_{\text{диф}}{}^{1\text{см}} = \frac{D \cdot H}{100 \cdot L}, \frac{т \cdot \text{м}}{см}$$

$$M_{äèô}{}^{1ñì} = \frac{23436.5 \cdot 122.2}{100 \cdot 13.84} = 2069.3 \frac{т \cdot м}{см}$$

$$H = R_y + Z_c - Z_g = 128.17 + 5{,}35 - 11{,}32 = 122.2 \text{ м}$$

$R_y = 128.17$ – поздовжній метацентричний радіус, м

$Z_c = 5{,}35$ – апліката центра величини, м

Визначимо загальний диферентуючий момент за формулою:

$$M_{диф} = D \cdot (X_g - X_c)$$
$$M_{диф} = 23436.5 \cdot (-2.06 + 2.04) = -478.73 т \cdot м$$

Появлення диференту впливає на ходові якості, керованість, остійність і заливаємість судна.

Наявність диференту призведе до зменшення осадки носом або кормою, що може привести до слемінгу, втрати швидкості ходу і керованості через оголення частини гвинта і руля.

Існуючі рекомендації до посадки судна, коли згублення перелічених якостей найменші, зводяться до такого:

- осадка носом повинна бути не менше $T_н \geq \frac{L}{40}$;
- осадка кормою – $T \geq D_{\text{гвинта}}$;
- диферент не повинен перебільшувати $\Delta T \leq (0{,}008 \div 0{,}015)L$;
- диферент на ніс не допускається.

Отримаємо: $\Delta T = \frac{M_{диф}}{M_{диф}{}^{1см}} = \frac{468.73}{2069.3} = 0.23см = 0{,}0023м < L/2000 =$ 0.0692м

Осадка носом:

$$T_н = T_{ср} + \frac{\Delta T}{2} = 9{,}94 - \frac{0.0023}{2} = 9.938м > {}^{L}/_{40} = 3.46м$$

Осадка кормою

$$T_к = T_{ср} - \frac{\Delta T}{2} = 9.94 + \frac{0{,}0023}{2} = 9.9412м$$

$$|\Delta T| < L/2000 = 0.0692м$$

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ОСТІЙНОСТІ НА ВЕЛИКИХ КУТАХ КРЕНУ

Загальна характеристика діаграм статичної та динамічної остійності

Діаграмою статичної остійності називається графік залежності плеча статичної остійності від кута крену. Цей графік також носить назву діаграми Ріда – по імені відомого англійського вченого-кораблебудівника. Статичною остійністю називається остійність, при якій судно витримує зовнішні статичні навантаження не перекидаючись.

Динамічна остійність – це остійність судна під дією динамічно-прикладених зовнішніх зусиль (шквали). Ці зусилля суттєво залежать від часу. Залежність роботи поновлюючого моменту від кута крену графічно зображається діаграмою динамічної остійності. Звичайно у якості ординат діаграми відкладають не саму роботу, а її відношення до водомісткості, яке називають плечем динамічної остійності.

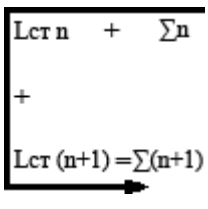
Побудова діаграм остійності

У першу чергу потрібно накреслити робоче поле діаграм остійності. Для цього ми викреслюємо вісі абсцис та ординат. На вісь абсцис наносимо кути крену, а на вісь ординат плечі остійності. Спочатку будується діаграма статичної остійності, динамічну ж будемо викреслювати тільки після побудови статичної, оскільки вона потребує додаткових розрахунків.

Q, °	$L_{ст}$, м	Σ	$L_{дин}$, м
0	0	0	0
10	0,755	0,755	0,066
20	1,569	3,08	0,27
30	2,442	7,09	0,62
40	3,157	12,69	1,107
50	3,658	19,505	1,701
60	3,867	27,029	2,358
70	3,623	34,516	3,011
80	3,198	41,326	3,606
87	2,546	47.026	4,1

Дані для побудови діаграми динамічної остійності ми отримуємо наступним чином:

1. Розраховуємо суму Σ у такому порядку:



тобто сумуємо значення суми n-ого члена, плеча статичної остійності n-ого та (n+1) членів.

Розраховуємо значення плеча динамічної остійності за формулою:

$$L_{дин} = \frac{0.1745}{2} \times \Sigma$$

Після проведення всіх розрахунків у нас є можливість накреслити діаграму статичної та динамічної остійності.

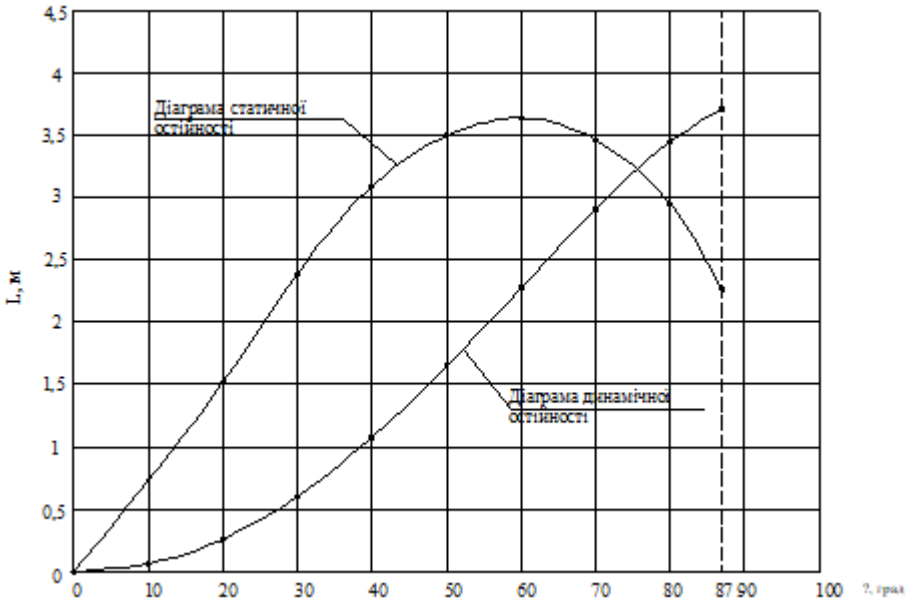


Рисунок 4.1 Діаграма статичної та динамічної остійності

Критерій погоди

Остійність суден необмеженого та обмежених районів плавання I і II вважається за критерієм погоди K достатньою, якщо при найгіршому щодо остійності варіанті навантаження динамічно прикладений кренувальний момент від тиску вітру M_v дорівнює або менший, ніж перекидальний момент M_c, тобто якщо дотримані умови $M_v \leq M_c$ або

$$K = \frac{M_C}{M_V} \geq 1.0$$

Обчислюються і порівнюються площі a та b. Площа b обмежена кривою l(θ) відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає кренувальному плечу l_{w2} , і кутом крену θ_2=50°. Площа a обмежена кривою відновлювальних плечей прямою l_{w2} і кутом крену, який дорівнює θ_0-θ_1; Остійність судна за критерієм погоди $K = a/b$ вважається додатною, якщо площа b дорівнює або більша площі a, тобто $K \geq 1$.

Розрахунок амплітуди хитавиці

Амплітуда хитавиці судна з круглою скулою обчислюється за формулою:

$$\theta_r = 109 \times k \times X_1 \times X_2 \times \sqrt{r \times S}, \text{ де}$$

k– коефіцієнт, що враховує вплив скулових і/або брускового кілів і визначається у відповідності до Правил Регістру; $k = 1$, якщо кілі відсутні;

X_1– безрозмірний множник, який визначається за таблицею в залежності від відношення ширини до осадки $\frac{B}{T}$;

Таблиця 4.1 Визначення значення X_1

$\frac{B}{T}$	≤ 2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,5	3,6	4	4,5	5	5,5	6	≥ 6,5
X_1	1	0,96	0,93	0,9	0,86	0,82	0,8	0,79	0.78	0,76	0,72	0,68	0,64	0,62

$$B/T = 24.8/9,94 = 2,49$$

Так як для значення 2.49 точної величини X_1 не надано, скористаємося інтерполяцією:

$X_1 = 1 + \frac{0,96-1}{2,6-2,4} \times (2,49 - 2,4) = 0,982;$

X_2– безрозмірний множник, який визначається за таблицею в залежності від коефіцієнта загальної повноти судна δ;

Таблиця 4.2 Визначення величини X_2

δ	≤ 0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	≥ 0,70
X_2	0,75	0,82	0,89	0,95	0.97	1

$$\delta = 0,657$$

$$X_2 = 0,97 + \frac{1 - 0,97}{0,7 - 0,65} \times (0,657 - 0,65) = 0,982$$

r– параметр, який визначається за формулою:

$$r = 0,73 + 0,6 \times (z_g - T)/T, \text{ де}$$

$z_g = 11,3$м – відносна апліката центра тяжіння судна;

$T = 9,94$м – осадка судна

Значення r не повинно братися більше 1;

$$r = 0,73 + 0,6 \times (11,3 - 9,94)/9,94 = 0,812;$$

S– безрозмірний множник, що визначається за таблицею в залежності від

району плавання судна і періоду хитавиці τ:

Таблиця 4.3 Визначення величини S

Район плавання судна	τ, с									
	≤5	6	7	8	10	12	14	16	18	≥20
Необмежений	0,1	0.100	0,098	0,093	0,079	0,065	0,053	0,044	0.038	0,035
Для всіх обмежених	0,1	0,093	0,083	0,073	0,053	0,04	0,035	0,035	0,035	0,035

$\tau = 12$ с, тому $S = 0.065$

Таким чином маємо:

$$\theta_r = 109 \times 1 \times 0{,}982 \times 0{,}982 \times \sqrt{0{,}812 \cdot 0{,}065} = 24.15°$$

Згідно з вимогами Регістру до остійності:

1) Критерій погоди $K = 4{,}33 > 1$

2) Статичний кут крену $\theta_0 = 0{,}15^0$ від дії постійного вітру не перевищує 16°

3) Максимальне плече ДСО l_{max} м для суден довжиною L > 105 м $\theta_m = 60^0 \geq 30^0$;

4) Кут закочування ДСО 106°>60° ;

Площа під додатною частиною діаграми

- до кута крену 30° = 34,3м · рад >0,055*м* · ра*д*
- до кута крену 40° = 61,87м · рад >0,09*м* · ра*д*
- між кутами крену 30 і 40°=27,6м · рад >0,03*м* · ра*д*

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК НЕПОТОПЛЮВАНОСТІ 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 урахуванням 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 судна що проектується 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 =13.41 м – висота борту;

d_0 = 9.06 м – осадка до КВЛ;

$$l = 1.5(13.41 - 9.06) + 0.1 \cdot 13.41 = 7.87\text{м}.$$

Це значення відкладемо на осадці судна $d_н$ та $d_к$ 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:

$$V_i = \int_{-l/2}^{l/2} \omega dx.$$

Статичний момент зануреного об'єму відносно площини мідель–шпангоута:

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

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

$v_i = V_i - V,$

де V=25934 м^3 – водотоннажність судна до затоплення.

Статичний момент об'єму води, що влилася:

$м_i = M - M_i,$

де M – статичний момент об'єму відносно мідель–шпангоута;

$M = V \cdot X_c,$

X_c=-0,1 м – абсциса ЦВ зануреного об'єму;

$M = 25934 \cdot (-0{,}1) = -2593$м^4.

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

$$X_i = м_i / V_i$$

Розрахунок виконується в табличній формі і для кожної ватерлінії окремо(табл. 2.1). За результатами розрахунку будується крива допустимих об'ємів відсіків.

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, м^2.

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

$$V_n = {\Delta L}/{2} \cdot \Sigma W_{інт}.$$

Розрахунок ординат інтегральної кривої виконується у табличній формі.

Таблиця 5.1 Розрахунок ординат інтегральної кривої

№ теор. шпангоута	ω_i до допустимої лінії занурення	$\Sigma_{інт}$	$(3)\cdot\Delta L/2$
1	2	3	4
0	100,827	0	0
2	206,129	306,96	2523,5182
4	284,7	797,78	6558,5494
6	318,31	1400,8	11515,977
8	329,13	2048,23	16838,499
10	330,096	2707,46	22258,029
12	328,206	3365,76	27669,913
14	312,245	4006,2	32934,97
16	252,617	4571,1	37579,013
18	150,767	4974,5	40895,365
20	29,88	5155,1	42380,077

РОЗДІЛ 6. НАБІР КОРПУСУ ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРУ

6.1.1 Вибір шпацій

Нормальна шпація в середній частині судна визначається за формулою

$$a_0 = 0{,}002L + 0{,}48$$

м, де L - довжина між перпендикулярами, м.

$$a_0 = 0{,}002 \cdot 138.4 + 0{,}48 = 0{,}757 \text{ м.}$$

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

Приймаю: поздовжня шпація рівна поперечній $a_0 = 800$ мм.

6.1.2 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.

6.1.3 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°С.

Для виготовлення суднового корпусу використовую суднобудівну сталь підвищеної міцності з границею плинності R_{eH} =315 МПа.

Характеристика сталі наведена в табл.6.1.

Таблиця 6.1

Границя плинності, R_{eH}		315	МПа
Коефіцієнт використання механічних властивостей, η		0,78	
Нижня границя температури, t_{min}		-60	ºС
Відносне подовження		18	%
Приблизна вартість 1т (відносно вартості 1т сталі ВСт3сп)		130	%
Нормативна границя плинності	За нормальним напруженням, $\sigma_п$	301,3	МПа
	За дотичним напруженням, $\tau_п$	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.

6.1.5. Креслення обводів мідель-шпангоута

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

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

$$t = 9{,}94 \cdot (1 - 0{,}983) = 0{,}169 \text{м}; \quad R = \sqrt{\frac{24.8 \cdot 0{,}169}{0{,}86}} = 2{,}15 \text{ м};$$

де d = 9,94 м – осадка; B=24.8 м – ширина судна; C_m = 0,983 – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута. Висота подвійного дна розраховується за формулою

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

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

приймаю h = 1,4 м.

Внутрішнє дно на судні простягається від форпікової до ахтерпікової 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

$$b_к = 800 + 5 \cdot L \leq 2000 мм;$$

$$b_к = 800 + 5 \cdot 138.4 = 1492 \text{ мм}.$$

Приймаю $b_к$ =2000 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.

Урахування впливу зносу і корозії на розміри в'язей корпусу грунтується 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, м; U - середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу і корозії, яке беруть відповідно до табл. 6.2; T - період служби конструкції, роки, (береться T= 24 роки); якщо T< 12 років, то ΔS = 0.

Таблиця 6.2.

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

6.2.1. 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,

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

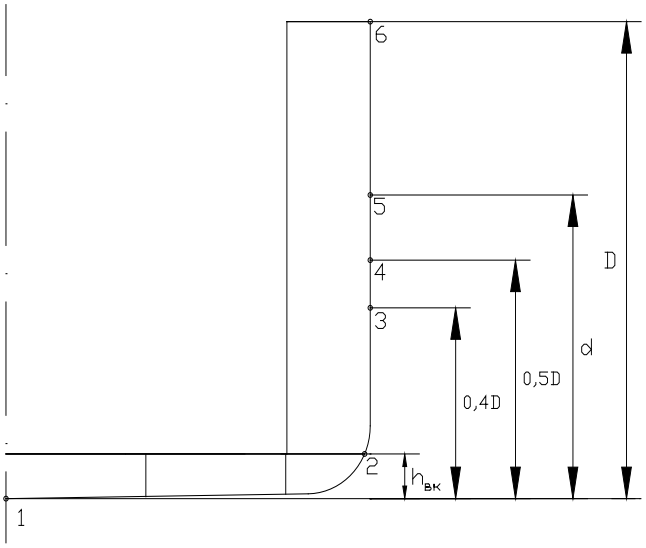


Рисунок 6.1 Відстань розрахункового навантаження

Для точки 1, коли z_i = 9,94 м $P_w = 26{,}1 - 1{,}5 \cdot 8{,}7 \cdot 9{,}94/9{,}94 = 13{,}05$кПа

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 9{,}94 = 99{,}4 \text{ кПа}$$

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

Для точки 2, коли z_i = 8,54 м $P_w = 26{,}1 - 1{,}5 \cdot 8{,}7 \cdot 8{,}54/9{,}94 = 14.89$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 $P_w = 26{,}1 - 1{,}5 \cdot 8{,}7 \cdot 3.88/9{,}94 = 21$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 $P_w = 26{,}1 - 1{,}5 \cdot 8{,}7 \cdot 2.37/9.94 = 23$ 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 $z_i = 0$ $\quad P_w = P_{wo} = 26{,}1$ кПа

$$P_{st} = 0$$

– для точок прикладання навантаження, розташованих вище ватерлінії,

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

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

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

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

$P_{wo} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x$, - 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:

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

$$C_w = 10{,}75 - (\frac{300-138.4}{100})^{3/2} = 8{,}7$$

$$a_v = \frac{0{,}8\upsilon_0(\frac{L}{10^3}+0{,}4)}{\sqrt{L}} + 1{,}5; \quad a_x = k_x(1 - 2\frac{x_1}{L}) \geq 0{,}267;$$

$$a_v = \frac{0{,}8 \cdot 16 \cdot (\frac{138.4}{10^3}+0{,}4)}{\sqrt{138.4}} + 1{,}5 = 2{,}085;$$

$$a_x = 0{,}8 \cdot (1 - 2 \cdot \frac{64{,}9}{138.4}) = 0{,}086, \text{ приймаю } a_x = 0{,}267$$

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

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

де υ_0=16 вуз – специфікаційна швидкість судна;

κ_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 6.4 Розрахункове навантажання

№ точок	Відстань до точок z_i, м	Статичний тиск P_{st}, кПа	Хвильовий тиск P_w, кПа	Розрахунковий тиск P, кПа
1	9,94	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:

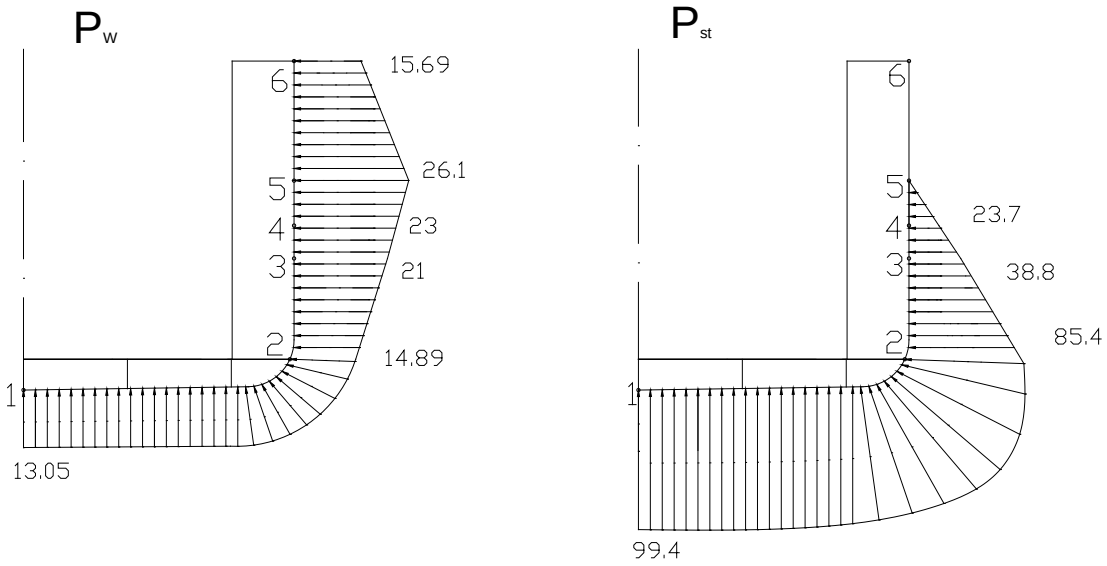


Рисунок 6.3 Розподіл навантаження

6.2.2. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на друге дно від контейнерів визначається за формулою

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

де $P_к$=14 – вага одного контейнера, т; N=6 – кількість ярусів контейнерів в трюмі, од.; $S_к$=2,44·6,1=14,88 – площа основи контейнера, м^2, g= 9,81 м/с^2 -

прискорення вільного падіння; a_z −розрахункове прискорення, м/с^2 , у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

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

де a_{cz} – проекція прискорення, м/с^2, центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці; $a_{кz}$,$a_{бz}$ – проекції прискорень, м/с^2, на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кільової і бортової хитавиці.

Проекції прискорень визначаються за формулами:

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

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

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

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

де $T_к$, $T_б$ – 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 = В/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=1,74м– метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м.

Отримаємо: $a_{cz} = 0{,}2 \cdot \left(\frac{100}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0{,}2 \cdot \left(\frac{100}{138.4}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9{,}81 = 1{,}76$ м/с^2,

$$T_k = \frac{0{,}8 \cdot \sqrt{L}}{1+0{,}4 \cdot \frac{v_0}{L}\left(\frac{L}{10^3}+0{,}4\right)} = \frac{0{,}8 \cdot \sqrt{138.4}}{1+0{,}4 \cdot \frac{16}{138.4} \cdot \left(\frac{138.4}{10^3}+0{,}4\right)} = 9{,}18 \text{ с}$$

$$\psi = \frac{0{,}23}{1+L \cdot 10^{-2}} = \frac{0{,}23}{1+138.4 \cdot 10^{-2}} = 0{,}096 \text{ рад.}$$

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

$$h = 0{,}07 \cdot B = 0{,}07 \cdot 24.8 = 1.736 \text{ м.}$$

$$T_б = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0{,}8 \cdot 24.8}{\sqrt{1{,}736}} = 15{,}06 \text{ с;}$$

$$\theta = \frac{0{,}6}{1+0{,}5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0{,}6}{1+0{,}5 \cdot 138.4 \cdot 10^{-2}} = 0{,}35 \text{ рад.}$$

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

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

$$P_в = \frac{P_k \cdot N}{S_k} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) = \frac{14 \cdot 6}{14{,}88} \cdot 9{,}81 \cdot \left(1 + \frac{2{,}243}{9{,}81}\right) = 68.04, \text{ кПа.}$$

$$P_в = 68.04 кПа \geq 20 кПа$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

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

де $Z_i = D - h_{вк} = 15.14 - 1{,}4 = 13.74$м.

Маємо: $P_{вип} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1{,}5) = 1{,}025 \cdot 9{,}81 \cdot (13.74 + 1{,}5) = 153.24$, кПа.

6.3.1. Проектування зовнішньої обшивки корпусу.

Зовнішня обшивка складається з обшивки борту і дна. Її проектування починається з розподілу на пояси обводу поперечного перерізу корпусу судна.

Ширина горизонтального кіля не більше 2000 мм. Товщина його повинна бути на 2 мм більшою від товщини зовнішньої обшивки дна. Ширина скулового пояса визначається положенням верхньої і нижньої кромок. Нижня кромка відповідає точці поєднання плоскої частини обшивки дна з криволінійною. Верхню кромку в розрахунках беру вище внутрішнього дна на 200 мм. Товщину скулового пояса беру рівною товщині обшивки дна або товщині надскулового пояса, в залежності від того, що більше. Ширину ширстрека беру рівною ширині горизонтального кіля, а його товщину рівною товщині палубного стрингера або підширстрекового пояса борту, в залежності від того, що більше.Ширину інших поясів беруть якомога більшою, щоб зменшити обсяг зварювальних робіт, але вона має відповідати технічним можливостям суднобудівного заводу.

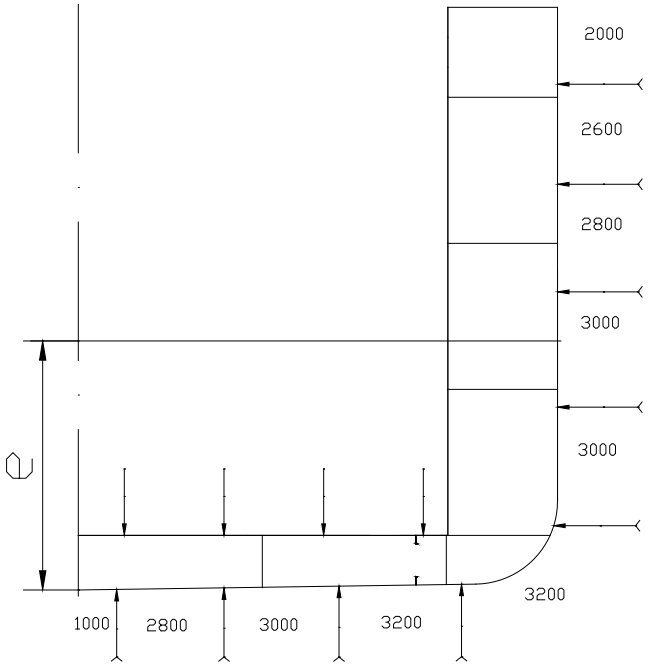


Рисунок 6.4 Поділ обшивки на листи

Товщина зовнішньої обшивки відповідно до умов міцності визначається за

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

де m, κ_σ - коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил; a-відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м; P - розрахунковий тиск на обшивку (настил) кПа; $k = 1{,}2 - 0{,}5\frac{a}{b} \leq 1{,}0$; a, b - менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м; σ_n - нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа; ΔS - запас на знос і корозію, мм.

k_σ – коефіцієнт, наведений в таблиці:

Обшивка дна	Поздовжня система набору	$k_\sigma = 0.6$
Обшивка борту	(0,4...0,5)D від основної площини	$k_\sigma = 0.6$
	На рівні верхньої палуби	$k_\sigma = 0.3 \cdot k_D \leq 0.6$

Коефіцієнт k_D приймаємо рівним одиниці.

Розрахунок товщини листів зовнішньої обшивки з умов міцності наведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Розрахунок товщини листів З.О. з умов міцності

Розрахункові величини та означення	Обшивка дна	Надскуловий пояс обшивки борту	Обшивка борту в межах 0,4D	Обшивка борту в межах 0,5D	Обшивка борту на рівні вантажної ватерлінії	Обшивка борту на рівні розрахункової 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	2.4	3.8	3,8	3,8	3,8	0,8
Відношення $\frac{a}{b}$	0,33	0,21	0,21	0,21	0,21	1
Коефіцієнт $k = 1.2 - 0.5 \times \frac{a}{b}$	1	1	1	1	1	1
Розрахунковий тиск P, кПа	112.45	100.29	59.8	46.7	26.1	15.69
Коефіцієнт k_σ	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3
$S' = 15.8 \times a \times k \times \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \times \sigma_n}}$	9,97	9,41	7,27	6,42	4.8	5,27
Додаток товщини ΔS, мм	2.4	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	12,37	11,45	9,31	8,46	6,84	7,31

Розрахуємо стискаючи напруження:

- для верхньої палуби

$$\sigma_{cВП} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5, МПа$$

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що визиває прогин корпуса судна:

$$|M_{sw} + M_w| = M_p = 10.43 \cdot 10^5 кН \cdot м;$$

$$I^* = 40.64 \cdot 10^8 см^4;$$

z_i- відстань точки, що розглядається від нейтральної осі;

$z_i = 8{,}74$ м;

$$\sigma_{cВП} = \frac{10.43 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot 8{,}74 \cdot 10^5 = 224{,}43 МПа;$$

- для ширстречного поясу приймаємо величину $\sigma_c = 224{,}43 МПа$;

- для підширстречного поясу $z_i = 6{,}74$м;

$$\sigma_{cВП} = \frac{10.43 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot 6{,}74 \cdot 10^5 = 172.98 МПа;$$

- для другого дна $z_i = -5$ м;

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що визиває перегин корпуса судна:

$$|M_{sw} + M_w| = M_p = 9.42 \cdot 10^5 кН \cdot м;$$

$$\sigma_{c2дно} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{9.42 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot (-5 \cdot 10^5) = -115.9 МПа;$$

- для днища $z_i = -6.4$ м;

$$\sigma_{cдн} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{9.42 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot (-6.4 \cdot 10^5) = -148.35 МПа;$$

Розрахуємо товщини листових конструкцій зовнішньої обшивки за умовами стійкості. Товщини визначаються за формулою:

$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854 \cdot n}}$, де

b – сторона, м, пластини, що сприймає нормальні стискуючі напруження;

n – коефіцієнт, що враховує співвідношення сторін пластини і розподіл нормальних стискуючих напружень вздовж кромки пластини;σ_e – ейлерове напруження, яке визначається в залежності від відношення критичних напружень до границі плинності матеріалу ($R_{ЕН}$ = 315 МПа):

Ейлерове напруження:

при $\sigma_{cr}/R_{eH} \leq 0.5$ $\quad \sigma_e = \sigma_{cr}$

при $\sigma_{cr}/R_{eH} > 0.5$ $\quad \sigma_e = \frac{0.25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}$

Виберемо коефіцієнти n і ψ для:

- ширстреку

$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}}; \quad \sigma_{c1} = 224{,}43 МПа; \quad z_i = 7.94 м;$$

$$\sigma_c = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{10.43 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot 7.94 \cdot 10^5 = 203.8 МПа;$$

$$\psi = \frac{203.8}{224{,}43} = 0.908; \quad n = \frac{8{,}4}{\psi + 1{,}1} = \frac{8{,}4}{0.908 + 1{,}1} = 4.18;$$

- обшивки дна

$$\psi = 1; \qquad n = \frac{8,4}{\psi+1,1} = \frac{8,4}{1+1,1} = 4;$$

Таблиця 6.5. Розрахунок товщини листів З.О. з умов стійкості

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна	Надскуловий пояс	Ширстрек	Підширстречний пояс
M_{sw}, *кНм*	$4.26 \cdot 10^5$	$4.26 \cdot 10^5$	$-4.26 \cdot 10^5$	$-4.26 \cdot 10^5$
M_w, *кНм*	$5.16 \cdot 10^5$	$5.16 \cdot 10^5$	$-6.17 \cdot 10^5$	$-6.17 \cdot 10^5$
Розрахунковий момент M_T, *кНм*	$9.42 \cdot 10^5$	$9.42 \cdot 10^5$	$-10.43 \cdot 10^5$	$-10.43 \cdot 10^5$
z_i, *м*	6.4	5	8.74	6.74
σ_c, *Mпа*	148.35	115.9	224,43	172.98
$\sigma_{cr} = k\sigma_c$, *Mпа*	148.35	115.9	224,43	172.98
σ_{cr}/R_{eH}	0,47	0,37	0,71	0,55
σ_e, *Mпа*	148.35	115.9	273.9	174.67
a, м	0,8	0.8	2,4	0.8
b, м	0,8	3.8	0,8	3.8
$\gamma = a/b$	1	0.21	3	0.21
Ψ	1	0,853	0.908	0,87
n	4	26.6	4.18	4,25
$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}}$, *мм*	11,31	9,65	15,04	11.91
ΔS, *мм*	2	2	0,68	0,6
$S = S' + \Delta S$, *мм*	13,31	11,65	15.72	12,51

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від визначеної за формулою

$$S(5,5 + 0,04 \cdot L)\sqrt{\eta}(5,5 + 0,04 \cdot 138.4)\sqrt{0,78}_{min} \text{ мм.}$$

6.3.2. Проектування настилу верхньої палуби

Верхня палуба судна має одинарні люки понтонового типу, ширина яких $b_л$=18.6 м. Товщина настилу цієї розрахункової палуби між бортом і поздовжнім комінгсом люка з урахуванням поздовжніх палубних балок основного та рамного набору повинна забезпечити момент опору W_d поперечного перерізу корпусу судна.

Товщина настилу верхньої палуби відповідно до умов міцності визначається за формулою:

$$\boldsymbol{S} = 15{,}8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S, \text{ мм}$$

де $P = 0{,}7 \cdot P_w \geq P_{min}$, P_{min} в середній частині корпусу судна;

$P_w = 15.69$ – хвильовий тиск, кПа; $k_\sigma = 0{,}6$– для подовжньої системи набору; ΔS – додаток на знос і корозію.

$$P = 0{,}7 \cdot 15.69 = 10.98 \text{ кПа}, \qquad P_{min} \text{ кПа},$$

$$S = 15{,}8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{10.98}{0{,}6 \cdot 301{,}3}} + 1{,}2 = 4{,}32 мм;$$

Розрахунок товщини настилу ВП з умови стійкості:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0{,}1854 \cdot n}} = 0{,}8 \cdot \sqrt{\frac{273.9}{0{,}1854 \cdot 4}} = 15{,}37 мм;$$

Розрахуємо ейлерові напруження:

$$\sigma_{cВП} = 224{,}43 МПа;$$

$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$; $\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 224{,}43 = 224{,}43$ МПа

$\sigma_e = \frac{0.25 \cdot {R_{eH}}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}$ при $\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{224{,}43}{315} = 0{,}713 > 0.5$

$\sigma_e = \frac{0{,}25 \cdot 315^2}{315 - 224{,}43} = 273.9$ МПа;

Додаткова товщина:

$$\Delta S = 0{,}1 \cdot S' = 0{,}1 \cdot 15{,}37 = 1{,}537 мм;$$

$$S = S' + \Delta S = 15{,}37 + 1{,}537 = 16{,}907 мм;$$

Мінімальна будівельна товщина настилу верхньої палуби повинна бути не менша від $S(7 + 0{,}02 \cdot L)\sqrt{\eta}(7 + 0{,}02 \cdot 138.56)\sqrt{0{,}78}_{min}$

Приймаю $S_{ВП} = 17 мм$

6.3.3. Проектування настилу внутрішнього дна

Товщина настилу внутрішнього дна і міждонного листа відповідно до умов міцності визначається за формулою:

$$S = 15{,}8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S \text{ мм},$$

де P = 153.24 кПа – найбільший розрахунковий тиск, кПа.

$P_в = 68.04$ кПа – розрахунковий тиск від штучного вантажу;

$P_{а.з.} = 10{,}5 \cdot (d - h) = 10{,}5 \cdot (9{,}94 - 1{,}4) = 89.67$ кПа – тиск аварійного затоплювання,

де d = 9,94 – осадка судна, м; h = 1,42 – висота подвійного дна, м.

Розрахунковий тиск на конструкцію внутрішнього дна, якщо міждонний простір заповнений баластом, визначається за формулами:

$P = 0{,}75 \cdot g \cdot (z_i + \Delta z) = 0{,}75 \cdot 9{,}81 \cdot (13.74 + 1{,}5) = 112.13$ кПа, $P = \rho_b \cdot g \cdot z_i + p_k = 1{,}025 \cdot 9{,}81 \cdot 13.74 + 15 = 153.24$ кПа,

де z_i = 13,74 м – відстань виміряна в діаметральній площині від розглядуваної в'язі до верхньої палуби;

Δz = 1,5 м – висота повітряної трубки;

$\rho_в$ = 1,025 т/м^3 – питома вага рідини;

$p_к$ = 15 кПа – тиск запобіжного клапана.

Розрахунок товщин поясів настилу внутрішнього дна наведено в табл. 6.6. Мінімальна будівельна товщина настилу внутрішнього дна визначається за формулою:

$$S(5 + 0{,}035 \cdot L)\sqrt{\eta}(5 + 0{,}035 \cdot 138.4)\sqrt{0{,}78}_{min} \text{ мм.}$$

Таблиця 6.6. Розрахунок товщин поясів настилу внутрішнього дна

Розрахункові величини та позначення	Настил внутрішнього дна
Менший розмір пластини *a*, м	0,8
Більший розмір пластини *b*, м	2,4
Відношення $\gamma = a/b$	0,33
Коефіцієнт k=1,2-0,5a/b	1
Розрахунковий тиск *P*, кПа	153.24
Коефіцієнт k_σ	0,8
$\boldsymbol{S' = 15{,}8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}}}$, мм	10.08
Додаток товщини ΔS, мм	1,8
Товщина пластини $\boldsymbol{S = S' + \Delta S}$, мм	11,83

Розрахунок товщини настилу внутрішнього дна за умовою стійкості виконується аналогічно розрахунку товщини зовнішньої обшивки дна.

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0{,}1854 \cdot n}} = 0{,}8 \cdot \sqrt{\frac{115.9}{0{,}1854 \cdot 4}} = 10мм;$$

Розрахуємо ейлерові напруження:

$$\sigma_{c2дно} = 115.9МПа;$$

$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$; $\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 115.9 = 115.9$ МПа

$\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{115.9}{315} = 0{,}37 < 0.5 \qquad \sigma_e = \sigma_{cr} = 115.9МПа;$

Додаткова товщина:

$$\Delta S = 0{,}1 \cdot S' = 0{,}1 \cdot 10 = 1мм;$$

Приймаємо додаткову товщину на знос та корозію $\Delta S = 2мм$;

$$S = S' + \Delta S = 10 + 2 = 12мм;$$

Так як в трюмі в районі під люком немає дерев'яного настилу, то збільшуємо товщину настилу другого дна на 2 мм.

Назва листової конструкції	Товщина			Прий-нято
Умовне означення її товщини	Міцність	Стійкість	Мінімальна товщина	
Обшивка днища $S_д$, мм	12.37	13,31	9.75	14
Горизонтальний кіль $S_к$, мм	-	-	9.75	16
Скуловий пояс $S_{ск}$, мм	-	-	9.75	14
Надскуловий пояс $S_{нск}$, мм	11,45	11,65	9.75	14
Обшивка борта на рівні ВВЛ $S_{бввл}$, мм	6.84	-	9.75	10
Підширстречний пояс $S_{пш}$, мм	7,31	12,51	9.75	14
Ширстрек $S_ш$, мм	7.31	15.72	9.75	17
Настил верхньої палуби $S_{вп}$, мм	4,48	16,91	8,63	17
Настил внутрішнього дна $S_{вд}$, мм	11.83	11	8.91	12
Міждонний лист $S_{мл}$, мм				14
Настил II дна під люком $S_{вдл}$, мм				14

6.4.3 Проектування конструкцій набору подвійного дна

Набір подвійного дна розташований між настилом внутрішнього дна і зовнішньою обшивкою. Опорним контуром днищевого перекриття є два борти і дві суміжні поперечні перегородки.

Основний набір – це поздовжні балки днища і внутрішнього дна, які розташовані через шпацію. Суцільні флори розташовані через 3 шпації. Під поперечними перегородками розміщуються водонепроникні флори.

У діаметральній площині знаходиться вертикальний кіль. Відстань між вертикальним кілем і днищевим стрингером дорівнює 4,8 м.

6.4.3.1 Проектування конструкцій флорів

Суцільний флор має таку висоту у діаметральній площині, як і вертикальний кіль h=1,4 м. Посередині висоти флора розміщують лази. Вертикальний розмір лазу не повинен перевищувати половину висоти флора.

Товщина суцільного флора визначається за формулою:

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

Де $\alpha = 0{,}023 \cdot L + 5{,}8 = 0{,}023 \cdot 138.4 + 5{,}8 = 8.98$;

$k=k_1 \cdot k_2=1{,}2 \cdot 0{,}93=1{,}116$;

k_1, k_2 – знаходимо в залежності від відношення $a_ф/a$ та від числа стрингерів на один борт; де $a_ф$ = 2,4м – відстань між суцільними флорами; а = 0,8 м – шпація; а = 0,8 м – відстань між ребрами жорсткості; ŋ=0,78 – коефіцієнт використання механічних властивостей; ΔS = 2,4 – додаток на знос і корозію, мм;

$$S = 8.98 \cdot 1{,}116 \cdot 0{,}8 \cdot \sqrt{0{,}78} + 2{,}4 = 9{,}48 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_{фл}$=11 мм.

Посередині висоти флора розміщують лази.

$$h_1 \leq \frac{h_{2дна}}{2} = \frac{1{,}4}{2} = 0{,}7\text{м} \qquad h_2 \leq \frac{a}{2} = \frac{0{,}8}{2} = 0{,}4\text{м}$$

Лист суцільного флора підкріплюється вертикальними ребрами жорсткості, які розташовані в площині поздовжніх балок дна і внутрішнього дна.

Товщина ребра жорсткості визначається так: $S_{рж} \geq 0{,}8 \cdot S_{фл} = 0{,}8 \cdot 11 = 8.8$ мм. Приймаю $S_{рж}$=9 мм. Ширина ребра жорсткості $b_{рж}=10 \cdot S_{рж}$=90мм.

Водонепроникний флор підкріплюється ребрами жорсткості на відстані 0,8 м. Товщина водонепроникного флора визначається за формулою:

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

де m=12; k_σ=0,65; k=0,9; a=0,8м; ΔS=2,4.

$P = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k = 1{,}025 \cdot 9{,}81 \cdot 14.44 + 15 = 160.2 кПа$- розрахунковий тиск;

$P_k = 15 кПа$- тиск запобіжного клапана;

$$k = 1{,}2 - 0{,}5 \cdot \frac{a}{b} = 1{,}2 - 0{,}5 \cdot \frac{0{,}8}{1{,}4} = 0{,}914;$$

$z_i = 14{,}44 м$ - відстань від верхньої палуби до середини висоти флора;

$$S = 12 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot \sqrt{\frac{160.2}{0{,}65 \cdot 301{,}3}} + 2{,}4 = 10.21$$

Товщина водонепроникного флора повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флору. Приймаємо S=11мм.

Водонепроникний флор підкріплюється ребрами жорсткості, які розташовані в площині поздовжніх балок дна і внутрішнього дна. Момент опору поперечного перерізу ребер жорсткості непроникного флора розраховуються за формулою :

$$W = W' \cdot \omega_k; \quad W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n},$$

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

$Q = P \cdot a \cdot l$ - поперечне навантаження на балку, кН; P=160.2 кПа - розрахунковий тиск на обшивку; a = 0,8м – відстань між балками, які розглядаються; l=1м – довжина ребра жорсткості; m=10; k_σ=0,75; $\omega_к$ – поправка на знос і корозію; ΔS – запас на знос і корозію, мм.

$W' = \frac{160.2 \cdot 0{,}8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^3}{10 \cdot 0{,}75 \cdot 301{,}3} = 56.71 \text{см}^3 < 200 \text{см}^3$; $W = 56.71 \cdot 1{,}42 = 79.4 \text{см}^3$;

$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0{,}184 \cdot 2{,}4 = 1{,}42;$

$\alpha_k = 0{,}07 + \frac{6}{W'} = 0{,}07 + \frac{6}{56.71} = 0{,}176$ при $W' < 200 \text{см}^3$;

По сортаменту приймаю полособульб несиметричний $16a$ (h=160мм,

$S_{ст}$=9 мм, $b_б$=36 мм, F=18 $см^2$).

6.4.3.2 Проектування конструкцій вертикального кіля і днищевих стрингерів

Висота вертикального кіля повинна бути не менша від визначеної за формулою

$$h = \frac{L - 40}{0.57} + 40 \cdot B + 3500\frac{T}{L} \geq 650мм$$

$$h = \frac{138.4 - 40}{0,57} + 40 \cdot 24.8 + 3500\frac{9,94}{138.4} = 1416мм$$

Висота ВК h=1,4м.

Товщина стінки вертикального кіля згідно з Правилами визначається за формулою

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

де $\alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 \leq 11,2$ $\alpha_k = 0,03 \cdot 138.4 + 8,3 = 12,45 > 11.2$;

Приймаємо $\alpha_k = 11.2$.

$h_ф$=1,4м – фактична висота ВК; ŋ = 0,78 – коефіцієнт використання механічних властивостей; ΔS = 2,4м – додаток на знос і корозію.

$$S = 11,2 \cdot 1,416 \cdot \frac{1,416}{1,4} \cdot \sqrt{0,78} + 2,4 = 16,57 \text{ мм}.$$

Товщина вертикального кіля знаходиться також за формулою

$$S = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S\text{мм},$$

де $k_σ$=0,75 – якщо ВК підкріплюється вертикальними бракетами;

a=0,8м – шпація;

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{h_ф} = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{0,8}{1,4} = 0,91;$$

Розрахунковий тиск на вертикальний кіль:

$$\begin{cases} \{P' = 0.75 \cdot g \cdot (z_i + \Delta z), кПа \\ P'' = \rho_в \cdot g \cdot z_i + P_k, кПа \end{cases}$$

$\Delta z = 1{,}5\text{м};\ z_i = D - \frac{h_{\text{ВК}}}{2} = 15.14 - \frac{1{,}4}{2} = 14.44\text{м};\ P_k = 15кПа;$

$$\begin{cases} P' = 0{,}75 \cdot 9{,}81 \cdot (14.44 + 1{,}5) = 116.98кПа; \\ P'' = 1{,}025 \cdot 9{,}81 \cdot 14.44 + 15 = 160.2кПа; \end{cases}$$

Приймаємо P=160.2 кПа – розрахунковий тиск;

ΔS – додаток на знос і корозію, мм;

$$S = 15{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}92 \cdot \sqrt{\frac{160.2}{0{,}75 \cdot 301{,}3}} + 2{,}4 = 12.2\text{мм}.$$

Зменшити товщину стінки вертикального кіля можна, якщо розмістити посередині висоти горизонтальне ребро жорсткості, яке також треба перевірити на згин і стійкість. Товщина вертикального кіля повинна бути на 1 мм більша від товщини суцільного флора і не менша, ніж s_{min}мм,

Стійкість стінки вертикального кіля перевіримо.

$\sigma_{c1} = \frac{M_T}{I} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{9.42 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot 6.4 \cdot 10^5 = 148.35$ МПа;

$\sigma_{c_2} = \frac{M_T}{J} \cdot (z_i - \frac{h}{2}) \cdot 10^5 = \frac{9.42 \cdot 10^5}{40.64 \cdot 10^8} \cdot (6.4 - \frac{1{,}4}{2}) \cdot 10^5 = 132.1$ МПа;

ВК є стійким коли:

$$k \cdot \sigma_c \le \sigma_{cr}\ ;\ \ \sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 148.35 = 148.35 \text{ МПа}$$

$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{0{,}8}{0{,}7} = 1{,}14;$ $\quad b = \frac{h_{\text{вк}}}{2} = \frac{1{,}4}{2} = 0{,}7\text{м};$ $\quad \Psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}} = \frac{132.1}{148.35} = 0{,}89$

$$n = \frac{8{,}4}{\psi + 1{,}1} = \frac{8{,}4}{0{,}89 + 1{,}1} = 4{,}22; \qquad S = S' + \Delta S;$$

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0{,}1854 \cdot n}} + \Delta S = 0{,}7 \cdot \sqrt{\frac{148.35}{0{,}1854 \cdot 4{,}22}} + 2{,}4 = 12{,}04\text{мм}.$$

Приймаю $S_{ВК}$=17 мм.

Товщина днищевого стрингера повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флора і не менше, ніж приймаємо $S_{д.с.}$=12 мм.

Посередині висоти вертикального кіля розміщуємо ребро жорсткості, яке необхідно розрахувати і перевірити на згин і стійкість.

Момент опору поперечного перерізу балки 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 Р=160.2 кПа – розрахунковий тиск;

$a = \frac{h_{вк}}{2} = 0{,}7$м – відстань між РЖ та днищем;

$l = 0{,}8$м – прогін балки; $m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0{,}75$ – коефіцієнт допустимих напружень;

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

$$W' = \frac{160.2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}8^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0{,}75 \cdot 301{,}3} = 26.5\text{см}^3,$$

$$\alpha_k = 0{,}07 + 6/W' = 0{,}07 + 6/26.5 = 0{,}296 \qquad \omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0{,}296 \cdot 2{,}4 = 1{,}71$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 26.5 \cdot 1{,}71 = 45.32\text{см}^3$$

Мінімальна будівельна товщина ребра жорсткості:

$$S = 0{,}025 \cdot L + 5{,}5 = 0{,}025 \cdot 138.4 + 5{,}5 = 8.96мм;$$

В якості ребер жорсткості вертикального кіля приймаю профіль полособульб несиметричний ⌠16a (h=160 мм, $S_{ст}$=9 мм, $b_б$=36 мм, F=18 см^2).

Перевіримо ребро жорсткості обраного профілю на стійкість.

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

де $k = 1{,}1$– коефіцієнт запасу за стійкістю;

$\sigma_c = 148.35$МПа – нормальні стискальні напруження;

$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c + 1 = 1{,}1 \cdot 148.35 + 1 = 164.2$МПа – критичне напруження;

$\sigma_e = \frac{0.25 \cdot {R_{eH}}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}$ при $\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{164.2}{315} = 0{,}52 > 0.5$

$\sigma_e = \frac{0{,}25 \cdot 315^2}{315 - 164.2} = 164.5$ МПа;

$\sigma_e^* = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 468}{18 \cdot 2{,}4^2} = 930$МПа.

Оскільки $\sigma_e^* > \sigma_e$, то балка профілю ⌠16а є стійкою.

Ребра жорсткості стрингерів приймаю такого ж профілю.

6.4.3.3 Проектування балок основного набору подвійного дна.

Поздовжні балки зовнішнього обшивки дна і настилу внутрішнього дна повинні мати момент опору, який визначається в Правилах згідно з формулою

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

де $P = P_{St} + P_W = 112.45$кПа - розрахунковий тиск для балок днища;

$P = P_{вип} = 153.24$кПа - розрахунковий тиск для балок подійного дна;

$a = 0{,}8$м – шпація;

$l = 2{,}4$м – прогін балки між суцільними флорами;

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0{,}45$ – коефіцієнт допустимих напружень для балок дна;

$k_\sigma = 0{,}6$ – коефіцієнт допустимих напружень для балок внутрішнього дна;

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

ω_k – поправка на знос і корозію.

- Для балок дна:

$$W' = \frac{112.45 \cdot 0{,}8 \cdot 2{,}4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0{,}45 \cdot 301{,}3} = 318.5\text{см}^3 > 200\text{см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0{,}15}\left(0{,}01 + \frac{1}{W'}\right) = \frac{1}{0{,}15}\left(0{,}01 + \frac{1}{318.5}\right) = 0{,}088$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0{,}088 \cdot 2{,}4 = 1{,}21$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 318.5 \cdot 1{,}21 = 385.34\text{см}^3.$$

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути:

$$S = 0{,}025 \cdot L + 5{,}5 = 0{,}025 \cdot 138.4 + 5{,}5 = 8.96мм;$$

Згідно до сортаменту (ГОСТ 21937-76) обираємо профіль штабобульб несиметричний ⌠24а (h=240мм, S=12мм, b=52мм, f=38,8см^2, W=434см^3).

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

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

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

$h_{ст} = h - 0{,}125 \cdot h = 240 - 0{,}125 \cdot 240 = 210мм = 21см$- розрахункова висота стінки штабобульба;

$f_{ст} = S_{ст} \cdot h_{ст} = 1{,}2 \cdot 21 = 25{,}2см^2$- площа поперечн. перерізу стінки штабобульба;

$S_n = \frac{f - h \cdot S_{ст}}{b - S_{ст}} = \frac{38{,}8 - 24 \cdot 1{,}2}{5{,}2 - 1{,}2} = 2{,}5см$- товщина бульба штабобульба;

$$\Delta S = 0{,}24мм;$$

$$S_n^{'} = S_n - \Delta S = 2{,}5 - 0{,}24 = 2{,}26см;$$

$$S_{ст}^{'} = S_{ст} - \Delta S = 1{,}2 - 0{,}24 = 0{,}96см;$$

$$S_{пп}^{'} = S_{пп} - \Delta S = 1{,}5 - 0{,}24 = 1{,}26см;$$

$b_{пп} = a_{прод} = 0{,}8м = 80см$- ширина приєднаного пояска;

$F = S_{ст}^{'} \cdot h_{ст} = 0{,}96 \cdot 21 = 20{,}16см^2$- площа стінки штабобульба;

$F^{'} = S_n^{'} \cdot b = 2{,}26 \cdot 5{,}2 = 11{,}75см^2$- площа бульба штабобульба;

$F^{''} = S_{пп}^{'} \cdot b_{пп} = 1{,}26 \cdot 80 = 100{,}8см^2$- площа приєднаного пояска;

Площа поперечного перерізу штабобульба6

$$f^* = F + F^{'} + F^{''} = 20{,}16 + 11{,}75 + 100{,}8 = 132{,}71см^2;$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$i^* = \frac{h^2_{ст}}{1 + \frac{2F^{'} + F}{2F^{''} + F}} \cdot \left[F^{'} + \frac{F}{6}\left(2 - \frac{2F^{'} + F}{2F^{''} + F}\right)\right] = \frac{21^2}{1 + \frac{2 \cdot 11{,}75 + 20{,}16}{2 \cdot 100{,}8 + 20{,}16}} \cdot \left[11{,}75 + \frac{20{,}16}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 11{,}75 + 20{,}16}{2 \cdot 100{,}8 + 20{,}16}\right)\right] = 6561{,}7см^4;$$

Фактичне ейлереве напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 6561{,}7}{132{,}71 \cdot 2{,}4^2} = 1768{,}31МПа;$$

Потрібні ейлерові напруження: $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$; $k = 1{,}15$; $\sigma_{сдн} = 148.35МПа$;

$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 1768{,}31}\right) = 300{,}97МПа$- критичне

напруження;

$$1{,}15 \cdot 148.35 = 170.6МПа < 300{,}97МПа;$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$,то балка профілю ⌠ 24а є стійкою (обраний профіль підходить)

- Для балок подвійного дна:

$$W' = \frac{153.24 \cdot 0{,}8 \cdot 2{,}4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0{,}6 \cdot 301{,}3} = 325.5\text{см}^3 > 200\text{см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0{,}15}\left(0{,}01 + \frac{1}{W'}\right) = \frac{1}{0{,}15}\left(0{,}01 + \frac{1}{325.5}\right) = 0{,}087$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0{,}087 \cdot 2{,}4 = 1{,}21 \qquad W = W' \cdot \omega_k = 325.5 \cdot 1{,}21 = 393{,}86\text{см}^3$$

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути: $S = 8.96мм$;

За сортаментом (ГОСТ 21937 – 76) отримано ⌠ 24а (h=240мм, S=12мм, b=52мм, f=38.8см^2, W=434см^3).

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

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

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

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

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

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

Площа поперечного перерізу штабобульба: $f^* = 132{,}71см^2$;

Момент інерції поперечного перерізу балки: $i^* = 6561{,}7см^4$;

Фактичне ейлереве напруження: $\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 6561{,}7}{132{,}71 \cdot 2{,}4^2} = 1768{,}31МПа$;

Потрібні ейлерові напруження: $k \cdot \sigma_c < \sigma_{cr}$; $k = 1{,}15$; $\sigma_{c2дна} = 115.9МПа$;

$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 1768{,}31}\right) = 300{,}97МПа$- критичне

напруження;

$$1{,}15 \cdot 115.9 = 133.29МПа < 300{,}97МПа;$$

Так як $k \cdot \sigma_c < \sigma_{cr}$,то балка профілю Ì24а є стійкою (обраний профіль підходить)

Стінка вертикального кіля підкріплюється з обох боків кіля бракетами, які приварюються до неї. Відстань між бракетами дорівнює одній шпації а=0,8 м.

Товщина бракет дорівнює товщині суцільного флора. $S_{бракет}$=11 мм.

6.4.4 Проектування конструкцій набору подвійного борту

Визначення товщини внутрішнього борту.

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

де m=15,8; $k_σ$=0,6; k=1; a=0,8м; $σ_п$=301,3 МПа; ΔS=2,04;

$P = P_{вип} = \rho \cdot g \cdot (D - h_{вк} + 1{,}5) = 153.24$кПа – розрахунковий тиск;

$$\boldsymbol{S = 15{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{153.24}{0{,}6 \cdot 301{,}3}} + 2{,}04 = 13{,}68}мм$$

S_{min}мм

Приймаємо S=14 мм.

Визначення товщини листів зовнішньої обшивки борту.

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

Визначення товщини платформ і діафрагм.

Товщину платформ приймаємо рівною S=14 мм.

Товщину діафрагм приймаємо рівною S=9 мм.

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;

$P_{st} = 10 \cdot Z_i = 10 \cdot 2{,}23 = 22{,}3$êÏà ;

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

$$P_w = P_{w0} - 1.5 \cdot \frac{C_w \cdot z_i}{d} = 26{,}1 - 1{,}5 \cdot \frac{8{,}7 \cdot 2{,}23}{9{,}94} = 23{,}17кПа;$$

$$P = 22{,}3 + 23{,}17 = 45.47кПа;$$

$$Pi_{min}$$

Приймаю $P = 53.06кПа$;

$a = 0{,}8$м – шпація;

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

$m = 18$ – коефіцієнт згинального моменту;

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

$\sigma_n = 301{,}3$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 см^2; W=305 см^3).

Визначення профілю шпангоута внутрішнього борту.

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

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

де $P = P_{вип} = \rho \cdot g \cdot \left(D - h_{вк} - \frac{l_{1пл}}{2}\right) = 1{,}025 \cdot 9{,}81 \cdot (15.14 - 1{,}4 - \frac{3{,}8}{2}) =$ 119.5кПа – розрахунковий тиск;

$a = 0{,}8$м – шпація;

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

$m = 18$ – коефіцієнт згинального моменту;

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

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

ω_k – поправка на знос і корозію.

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

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

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

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

За сортаментом(ГОСТ 9235–76)обираємо штабобульб симетричний Т24710 (h=240 мм; S=10.5мм; b=75.5 мм; f=38.65 см^2; W=464см^3).

Визначення профілю бімсів платформ.

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

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

Визначення катету бімсової косинки.

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

де $W = 464\text{см}^3$ – момент опору поперечного перерізу шпангоута внутрішнього борту;

$S = 10.5$мм – товщина стінки шпангоута.

Висота книці повинна бути не менша, ніж:

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

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

$$S_{кн} = 10{,}5 - 1 = 9.5мм;$$

Товщина косинки S=9.5 мм, h=25 см.

Визначення профілю поздовжніх балок анти крутильної коробки.

Поздовжні балки зовнішнього борту:

Момент опору поперечного перерізу балок набору катаного профілю

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

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

$a = 0{,}8$м – шпація;

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

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

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

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

ω_k – поправка на знос і корозію.

$$W' = \frac{17{,}35 \cdot 0{,}8 \cdot 2{,}4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0{,}6 \cdot 301{,}3} = 36.85\text{см}^3 < 200\text{см}^3$$

$\alpha_k = 0{,}07 + 6/W' = 0{,}07 + 6/36.85 = 0{,}23;$ $\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0{,}233 \cdot 2 = 1{,}467$

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

$$S_{min}$$

За сортаментом (ГОСТ 21937-76) приймаємо ⌈16а (h=160 мм, S=9 мм, b=36 мм, f=18см^2, W=147$см^3$).

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

Перевіримо на стійкість поздовжні балки анти крутильної коробки.

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

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

$h_{ст} = h - 0{,}125 \cdot h = 160 - 0{,}125 \cdot 160 = 140мм = 14см$- розрахункова висота стінки штабобульба;

$f_{cm} = S_{cm} \cdot h_{cm} = 0.9 \cdot 14 = 12.6см^2$- площа поперечн. перерізу стінки штабобульба;

$S_n = \frac{f - h \cdot S_{cm}}{b - S_{cm}} = \frac{18 - 16 \cdot 09}{3{,}6 - 1} = 1{,}38см$- товщина бульба штабобульба;

$$\Delta S = 0{,}24мм;$$

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

$$S_{cm}^{'} = S_{cm} - \Delta S = 09 - 0{,}24 = 0{,}66см;$$

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

$b_{nn} = a_{прод} = 0{,}8м = 80см$- ширина приєднаного пояска;

$F = S_{cm}^{'} \cdot h_{cm} = 0{,}66 \cdot 14 = 9.24см^2$- площа стінки штабобульба;

$F^{'} = S_n^{'} \cdot b = 1{,}14 \cdot 3{,}6 = 4.104см^2$- площа бульба штабобульба;

$F^{''} = S_{nn}^{'} \cdot b_{nn} = 1{,}26 \cdot 80 = 100{,}8см^2$- площа приєднаного пояска;

Площа поперечного перерізу штабобульба6

$$f^* = F + F^{'} + F^{''} = 9.24 + 4.1 + 100{,}8 = 114.14см^2;$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$i^* = \frac{h^2_{cm}}{1 + \frac{2F^{'} + F}{2F^{''} + F}} \cdot \left[F^{'} + \frac{F}{6}\left(2 - \frac{2F^{'} + F}{2F^{''} + F}\right)\right] = \frac{14^2}{1 + \frac{2 \cdot 4.1 + 9.24}{2 \cdot 100{,}89.244}} \cdot \left[4.1 + \frac{9.24}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 4.1 + 9.24}{2 \cdot 100{,}8 + 9.24}\right)\right] = 1682{,}2см^4$; Фактичне ейлереве напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 1682{,}2}{114.14 \cdot 2{,}4^2} = 527.1МПа;$$

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

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

$k = 1{,}1$-коєфіцієнт запасу за стійкістю;

$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 527.1}\right) = 267.94МПа$- критичне напруження;

$$k \cdot \sigma_c = 1{,}1 \cdot 224{,}43 = 246.93МПа < \sigma_{cr} = 267.94МПа;$$

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

підходить)

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.

3.4.5.10. Визначення розмірів комінгсу.

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

Стінка комінгсу – 11*1200;

Поясок комінгсу – 15*200;

РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БОРТОВОЇ СЕКЦІЇ

7.1 Коротка інформація про секцію

7.1. Габаритні розміри секції.

Секція має такі розміри 2800×11740×12800 мм (H×B×L).

7.2. Маса секції.

Секція має масу m=73,3 т.

7.3. Конструктивно – технологічна класифікація секції.

Секція правого борту є об'ємною з умови, що $\frac{H}{B} > 0{,}2$.

$\frac{H}{B} = \frac{2800}{11740} = 0{,}24 > 0{,}2$.

Розмір практичної шпації: $a = 800$ мм.

7.4. Район розташування секції.

Секція правого борту знаходиться у середній частині судна і розташована у корму від середини судна (у районі циліндричної вставки), у районі $90^{1/4}$ - $106^{1/4}$. Верхній край обшивки зовнішнього борту нижче платформи № 3 на 160 мм. Верхній край обшивки внутрішнього борту вище платформи №3 на 340 мм. Нижній край обшивки зовнішнього борту вище рівня 2-го дна на 250 мм.

7.5. Система набору корпусу у районі секції: поперечна.

7.6. Характеристика обшивки зовнішнього борту.

- Обшивка плоска, за виключенням надскулового пояса;
- складається з чотирьох поясів товщиною 14 мм;
- зварні шви поясів обшивки зовнішнього борту простягаються уздовж секції паралельно ОП.

7.7. Характеристика обшивки внутрішнього борту.

- Обшивка плоска;
- складається з чотирьох поясів товщиною 14 мм.
- зварні шви поясів обшивки внутрішнього борту простягаються уздовж секції паралельно ОП.

7.8. Характеристика поздовжнього набору.

Ребра жорсткості:

несиметричний штабобульб ⌈16[а] ,які входять до складу анти крутильної коробки.

7.9 Платформи:

Платформи 1, 2, 3 товщиною S=14 мм, підкріплені бімсами, проходять на відстані 3800 мм один від одної. Платформа 3 підкріплена двома поздовжніми ребрами жорсткості проходить на відстані 2340 мм від ВП, паралельно їй.

7.10. Характеристика поперечного набору.

7.10.1. Діафрагми:

Діафрагми встановлені на 91 шпангоуті,та через 3 шпації у площинах, паралельних площині мідель – шпангоута, розрізні. Посередині мають вирізи розміром 1200×1900 мм, які підкріплюються горизонтальними та вертикальними ребрами жорсткості 9×100 мм.

7.10.2. Шпангоути:

Зовнішній борт підкріплюють шпангоути профілю штабобульб симетричний Т 22610, які знаходяться на кожній шпації. На внутрішньому борті між другим дном та анти крутильною коробкою встановлені шпангоути з штабобульбу Т 24710.

7.10.3. Бімси:

Платформи підкріплюються бімсами з штабобульбу Т 24710, які знаходяться під платформами на кожній шпації, де не встановлені діафрагми.

7.10.4. Книці:

Бімси та шпангоути, що підкріплюють борта та платформи, з’єднуються кницями, які мають розміри 9×250×250 мм.

7.11. Марка матеріалу.

Для деталей, що беруть участь у загальній міцності використовують матеріал 09Г2С. Для деталей розсипу ВСт3сп.

7.12. Розміщення монтажних стиків та пазів секції.

7.12.1. Монтажні стики проходять по 90^{14} та $106^{1/4}$ шпангоутах.

7.12.2. Монтажні пази по зовнішньому борту – вище другого дна на 250 мм.

7.12.3. Монтажні пази по внутрішньому борту – на рівні другого дна.

7.12.4 Верхній край обшивки внутрішнього борта знаходиться вище рівня III платформи на 340 мм та зовнішнього борта знаходиться нижче рівня III платформи на 340 мм.

7.13. Опис зварних швів.

7.13.1. З'єднання листів бортів:

- Спосіб зварювання – автоматичне під флюсом;
- Форма кромок, характер шва – двосторонній без скосу кромок;
- Положення – нижнє.

7.13.2. З'єднання шпангоутів з полотнищами бортів, поздовжніх ребер жорсткості з платформою №3, з'єднання ребер жорсткості, що підкріплюють вирізи, з діафрагмами:

- Спосіб зварювання – автоматичне під флюсом;
- Форма кромок, характер шва – двосторонній без скосу кромок;
- Положення – нижнє.

7.13.3. З'єднання платформ, діафрагм з полотнищем внутрішнього борту:

- Спосіб зварювання – напівавтоматичне;
- Форма кромок, характер шва – двосторонній без скосу кромок;
- Положення – нижнє.

7.13.4. З'єднання книць, деталей доізоляційного насичення з набором подвійного борту та з'єднання ребер жорсткості, що підкріплюють вирізи, між собою, а також приєднання затулки до поздовжніх ребер жорсткості платформи № 3:

- Спосіб зварювання – ручне електродугове;
- Форма кромок, характер шва – двосторонній без скосу кромок;
- Положення – горизонтальне.

7.13.5. З'єднання бімсів та діафрагм з платформами:

- Спосіб зварювання – полуавтоматичне;
- Форма кромок, характер шва – двосторонній без скосу кромок;
- Положення – горизонтальне.

7.13.6. З’єднання монтажних стиків і пазів – ручне стикове зварювання.

7.13.7. З’єднання платформ, діафрагм з полотнищем зовнішнього борту:

- Спосіб зварювання – ручне електродугове;
- Форма кромок, характер шва – двосторонній без скосу кромок;
- Положення – вертикальне.

7.14. Схема монтажних та контуровочних припусків бортової секції.

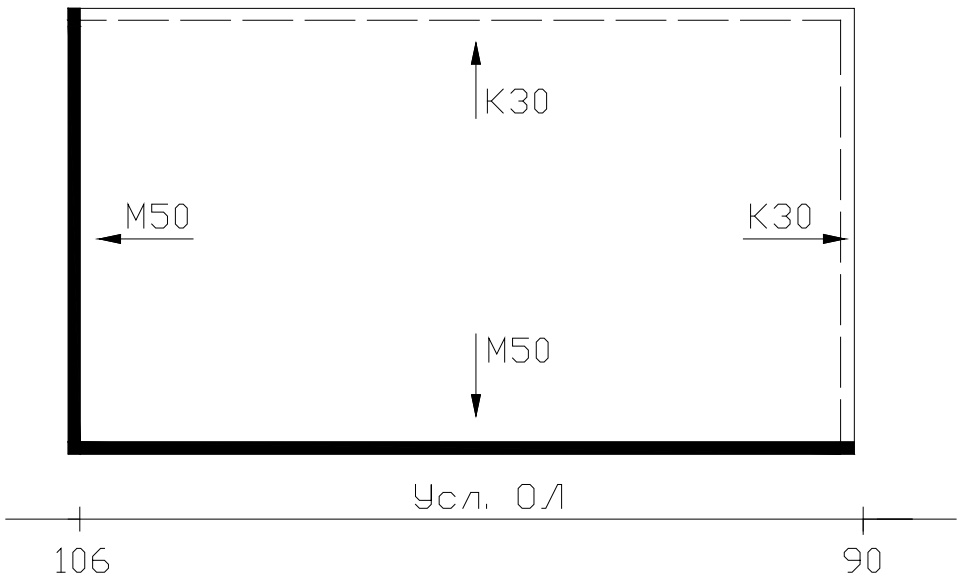
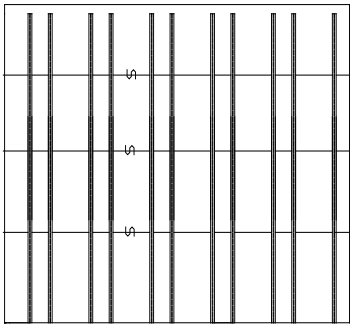
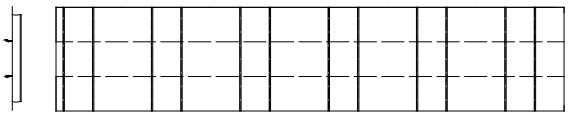
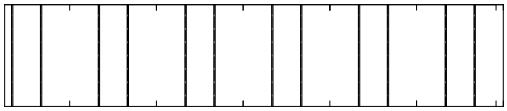
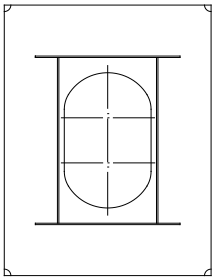


Рисунок 7.1 Схема монтажних та контуровочних припусків

7.2 Технологічний процес виготовлення вузлів

До складу бортової секції входять такі вузли: (див. табл. 7.1).

Таблиця 7.1. Ескізи основних вузлів.

Номер п/п	Найменування	Ескіз	Назва деталей, що входять до складу вузла	Примітка
1	Полотнище зовнішнього борту		Листи обшивки, вертикальні РЖ.	_____
2	Полотнище внутріш. борту			_____
3	Платформа 3		Лист платформи, РЖ обох напрямків.	_____
4	Платформа 1 та 2		Лист платформи, вертикальні РЖ	_____
5	Діафрагма		Стінка з вирізом, підкріпленим РЖ обох напрямків.	На 91, 94, 97, 100, 103,106 шп.

Технологічний процес виготовлення вузла 1

Вузол виготовляється на стенді.

Підготовка стенда:

Видалити тимчасові кріплення на стенді, зачистити місця їх приварювання, перевірити стенд на горизонтальність та прямолінійність відповідно ОСТ 5.9324 – 79.

Допустимі відхилення для стенду:

- Горизонтальність за шириною та довжиною – 8 мм. Перевіряти за допомогою шлангового рівня, теодоліта або нівеліра.
- Площинність робочої поверхні за шириною та довжиною – 10 мм. Перевіряти шланговим рівнем або теодолітом.

Збирання полотнища:

Подати краном листи на стенд, розкласти їх відповідно кресленням, зістикувати на прихватках (l=25мм, t=350мм, h=0,7мм). Притиснути полотнище до стенду вантажами з обох боків пазів. Закріпити полотнище на стенді по контуру прихватками (l=25мм; t=350мм; k=6мм). Встановити і приварити по кінцям стикових швів, які будуть зварюватися, вивідні планки розміром 14×100×100 мм.

Збирання та зварювання полотнища:

Заварити пази між листами автоматом від середини до кінців (ГОСТ 8713–79–С7–АФ, марка автомату – АДС-1000-2, характеристики:

Діаметр проволоки	3-6мм
Швидкість подачі проволоки	0,5-2м/хв.
Швидкість зварювання	15-70м/год
Сила току	400-1200
Напруга	650-700 В

Звільнити вузол від закріплення до оснастки. Кантувати вузол згідно зі схемою кантування і транспортування. Притиснути полотнище до стенду по обох кінцях паза. Закріпити полотнище на стенді по контуру прихватками.

Підварювання швів:

- Підготувати зварні шви полотнища до підварювання.
- Підварити зварні шви аналогічно зварюванню основного шва.

Контроль зварних швів:

Здійснити контроль зварних швів згідно з ОСТ 5.1093 – 78.

Якість швів зварних з'єднань проконтролювати зовнішнім оглядом і вимірюванням. Виправити дефекти зварних з'єднань, уразі їх виявлення, згідно з ОСТ 5.1078 – 76.

Розмітка полотнища:

Виконати розмітку полотнища під набір та під платформи і діафрагми. Лінії розмітки перевірити по плазовим ескізам. Накернити.

Встановлення вертикальних ребер жорсткості:

Подати краном і встановити по розмітці вертикальні ребра жорсткості під кутник. Допустимі відхилення:

– від лінії розмітки – 2 мм ;

– на перпендикулярність – 2 мм.

Обтиснути встановлені ребра жорсткості до полотнища зовнішнього борту та закріпити прихватками (l=25мм; t=350мм; k=5мм).

Приварювання ребер жорсткості до полотнища:

Приварити ребра жорсткості автоматичним зварюванням під флюсом напрохід (ГОСТ 8713–79–Т3–АФ–L5).

Звільнення вузла від закріплення до оснастки.

Здача вузла на комплектність і якість.

Маркування:

Виконати маркування вузла з лицевої та внутрішньої сторони білою фарбою.

Маркування обвести фарбою.

Технологічний процес виготовлення вузла 2

Технологічний процес виготовлення вузла 2 аналогічний технологічному процесу виготовлення вузла 1.

Технологічний процес виготовлення вузла 3

Підготовка стенда:

Видалити тимчасові кріплення на стенді, зачистити місця їх приварювання, перевірити стенд на горизонтальність та прямолінійність відповідно ОСТ 5.9324 – 79

Допустимі відхилення для стенду:

- Горизонтальність за шириною – 2 мм;

за довжиною – 8 мм.

Перевіряти за допомогою шлангового рівня, теодоліта або нівеліра.

- Площинність робочої поверхні за шириною – 6 мм;

за довжиною – 10 мм.

Перевіряти шланговим рівнем або теодолітом по довжині та шергенем або ниткою – по ширині.

Краном подати лист платформи, вкласти на стенд, притиснути та закріпити прихватками (l=20мм; t=250мм; k=4мм). Кріплення виконати ільки по контуру листа.

Розмітка листа платформи:

Виконати розмітку листа платформи під продольні ребра жорсткості. Лінії розмітки перевірити по плазовим ескізам. Накернити.

Встановлення продольних ребер жорсткості:

Подати краном і встановити по розмітці продольні ребра жорсткості під кутник. Допустимі відхилення:

– від лінії розмітки – 2 мм;

– на перпендикулярність – 2 мм.

Притиснути встановлені ребра жорсткості до полотнища зовнішнього борту та закріпити прихватками (l=25мм; t=350мм; k=5мм).

Здача конструкції під зварювання

Приварювання ребер жорсткості до листа платформи:

Звільнення вузла від закріплення до оснастки.

Розмітка листа платформи :

Виконати розмітку листа платформи під бімси. Лінії розмітки перевірити по плазовим ескізам. Накернити.

Встановлення поперечних ребер жорсткості на лист платформи:

Подати краном і встановити по розмітці поперечні ребра жорсткості під кутник. Допустимі відхилення від лінії розмітки та на перпиндикулярність – 2 мм.

Притиснути до полотнища та закріпити прихватками (l=25мм; t=350мм; k=5мм).

Здача конструкції під зварювання.

Приварювання ребер жорсткості до листа платформи:

Приварити ребра жорсткості напівавтоматом у середовищі захисних газів у нижньому положенні від середини до кінців (ГОСТ 14771–76–Т3–УП–L 5).

Здача вузла на комплектність і якість.

Технологічний процес виготовлення вузла 4

Технологічний процес виготовлення вузла 4 аналогічний.

Технологічний процес виготовлення вузла 5

Підготовка стенда:

Видалити тимчасові кріплення на стенді, зачистити місця їх приварювання, перевірити стенд на горизонтальність та прямолінійність відповідно ОСТ 5.9324 – 79.

Допустимі відхилення для стенду:

- Горизонтальність за шириною – 2 мм;

  за довжиною – 4 мм.

Перевіряти за допомогою шлангового рівня, теодоліта або нівеліра.

- Площинність робочої поверхні за шириною – 6мм;

  за довжиною – 8 мм.

Перевіряти шланговим рівнем або теодолітом по довжині та шергенем або ниткою – по ширині.

Краном подати лист діафрагми, вкласти на стенд, притиснути

вантажами та закріпити прихватками (l=20мм; t=250мм; k=4мм). Кріплення виконати тільки по контуру листа.

Розмітка листа діафрагми:

Виконати розмітку листа діафрагми. Лінії розмітки перевірити по плазовим ескізам і накренити. Допустимі відхилення за довжиною та за шириною – 1 мм.

Встановлення ребер жорсткості, що підкріплюють виріз діафрагми:

Встановити вертикальні ребра жорсткості по розмітці, перевірити по кутнику (допустимі відхилення – 2 мм), притиснути до листа і закріпити на прихватках (l=20мм; t=350мм; k=4мм), потім встановити та закріпити горизонтальні ребра жорсткості.

Зістикувати ребра жорсткості між собою.

Здача конструкції під зварювання:

Приварювання ребер жорсткості:

Зварити ребра жорсткості в першу чергу між собою та потім з листом діафрагми (ГОСТ 8713–79–Т3–АФ– L 5).

Звільнити вузол від закріплення до оснастки.

3.41. Здача вузла на комплектність і якість.

7.4. Технологічний процес збирання та зварювання секцію

Підготовка стенда

Краном подати вузол внутрішнього борту, вкласти на стенд, притиснути та закріпити прихватками (l=25мм; t=300мм; k=5мм). Кріплення виконати тільки по контуру обшивки.

Відновити по кернам лінії встановлення платформ та діафрагм.

Встановлення платформи №2:

Поставити фіксуючі стояки у місцях встановлення платформ, приварити їх.

Подати краном лист платформи, встановити між стояками, перевірити правильність установки по лініям розмітки (допустимі відхилення: від лінії розмітки – 2 мм, на вертикальність – 6 мм), розкріпити, притиснути і

закріпити прихватками (l=25мм; t=400мм; k=6мм) до полотнища внутрішнього борту.

Встановлення діафрагм:

Поставити фіксуючі стояки у місцях встановлення діафрагм, приварити їх.

Подати краном діафрагми, встановити їх, надіти на ребра жорсткості та притиснути до листа платформи №2, перевірити правильність установки по лінії розмітки і розтяжки (допустимі відхилення: за довжиною – 4 мм, на вертикальність – 6мм), притиснути, закріпити прихватками (l=20мм; t=250мм; k=4мм) до листа платформи №3 та полотнища.

Встановлення платформи 3:

Встановлення діафрагм:

Встановлення платформи 1:

Встановлення діафрагм:

Встановити деталі розсипу відповідно кресленням та закріпити прихватками (l=25мм; t=300мм; k=5мм).

Видалити тимчасові кріплення газовою різкою: фіксуючі стояки, планки. Місця їх приварювання зачистити.

Здача конструкції під зварювання:

Зварювання набору:

Зварити діафрагми та платформи між собою та з полотнищем внутрішнього борту із загальним напрямом зварювання від середини до країв, виконуючи спочатку зварювання Діафрагм з платформами між собою, потім приварювання їх до листа (ГОСТ 14771–76–Т3–УП– L 5)

Встановлення та приварювання доізоляційного насичення.

Контроль зварних швів:

Перевірка високого набору по висоті:

Перевірити по висоті положення верхніх кромок набору згідно плазовим даним. Виправити при необхідності кромки газовим різанням та зачистити.

Встановлення полотнища зовнішнього борту на набір секції:

Подати краном полотнище зовнішнього борту з ребрами жорсткості, встановити полотнище на набір секції, вирівняти його по контрольним лініям по довжині та ширині.

Притиснути вузол до набору та закріпити прихватками (l=20мм; t=250мм; k=4мм).

4.18. Здача конструкції під зварювання:

див. п. 3.8.

Звільнити секцію від закріплення до оснастки.

Зняти секцію з оснастки краном, подати на збиральний стенд або майданчик для здавання або доробітки, встановити секцію на опори.

Нанести контрольні лінії згідно з ОСТ 5.9324 – 79, накернити їх, помітити фарбою.

Перевірити габаритні розміри секції.

Допустимі відхилення:

- за довжиною – 14 мм.
- за шириною – 20 мм.
- за висотою – 8 мм.
- повздовжній та поперечний згин - 8 мм

Видалити припуски по кромкам секції газовим різанням, розробити кромки та зачистити їх.

Заміри секції згідно з ОСТ 5.9324 – 79.

Здача секції на комплектність та якість.

Випробування на непроникливість зварних швів:

Випробувати гасом зварні шви непроникливих конструкцій.

Ґрунтовка секції:

Виконати ґрунтовку секції відповідно до відомості ґрунтовки, монтажні кромки не ґрунтувати, так як їх ширина дорівнює 50 мм.

ВИСНОВКИ

Результатом дипломного проектування є проект контейнеровоза з технологією виготовлення бортової секції.

Дане судно спроектовано на клас Регістра судноплавства України.

Нижче приведені основні розмірності судна які змінилися в процесі модернізації:

- довжина між перпендикулярами L=139,4 м;
- ширина B=25,00 м;
- висота борту D=14,75 м;
- осадка d=9,50 м;
- коефіцієнт повноти водотоннажності $C_в$=0,791;
- коефіцієнт повноти мідель – шпангоута $C_м$=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 «Технологія виготовлення бортової секції» була розроблена послідовність виготовлення бортової секції судна.

В цілому розроблений проект задовольняє вимогам Регістру судноплавства України, та вимогам нормативних документів, які стосуються охорони праці та навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.

2. Бондаренко О. В., Кротов О. І., Матвєєв Л. Г., Прокудин С. О. Особливості проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. Ч. 1. 76 с.

3. Картава А. И. Проверочные расчеты основных элементов судна, его мореходных и эксплуатационных качеств при дипломном проектировании: учеб. пособие. Николаев : НКИ, 1982. 48 с.

4. Кротов О. І., Голіков В. І., Еганов О. Ю., Бондаренко О. В. Проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 156 с.

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

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

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

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

9. Рашковський О. С. Перевірочні та контурувальні роботи під час виготовлення секцій корпусу судна : методичні вказівки / О.С. Рашковський, А.М. Фаріонов, С.І. Жигуліна. Миколаїв : НКІ, 1990. 15 с.

10.Регістр судноплавства України. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України, 2020. 81 с.

11.Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Т. 2. Київ : РСУ, 2020. 792 с.

12.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.

13.Yasuhisa Okumoto, Yu Takeda, Masaki Mano, Tetsuo Okada, Design of ship hull structures, Srpiner, 2009, 565 p. (електронний варіант). https://rexresearch1.com/BoatShipBuildingLibrary/DesignShipHullStructures.pdf (дата звернення 25.10.2024).

14.Misra S.C., Design principles of ships and marine structure : CRC Press, New York, 2016. 488 p. (електронний варіант). https://rexresearch1.com/BoatShipBuildingLibrary/Designprinciplesshipsmarinestructures.pdf (дата звернення 21.10.2024).

15.Dr. Spyros Hirdaris, Lecture notes on basic naval architecture. Science +Technology, 2021, 139 p. (електронний варіант). https://www.researchgate.net/publication/354271821_Lecture_Notes_on_Basic_Naval_Architecture (дата звернення 23.10.2024).