

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теорії та проєктування суден

(повна назва кафедри)

“Допущений до захисту”
Завідувач кафедри
В.О. Непрясов
“20” 06 2025

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Проектування танкеру вантажопідйомністю 79200 т.

Виконав: студент групи 4111

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Спеціалізація “Кораблі та океанотехніка”

(шифр і назва спеціальності)

Шведов А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Пащенко Ю.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Максимов Ю.С.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Кафедра теорії та проєктування суден
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 135 "Суднобудування"
Освітньо-професійна програма "Кораблі і океанотехніка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП "Кораблі і океанотехніка"

Ястреба к.т.н, О.П.Ястреба
" " 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ групи 4111

Шведову Андрію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Проектування танкеру вантажопідйомністю 79200 т.**

керівник роботи **Пащенко Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент**

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " " 2025 року №

2. Строк подання студентом роботи 18 червня 2024 р

3. Вихідні дані до роботи:

Вантажопідйомність – 79200 т;

швидкість ходу експлуатаційна – 15,0 вузла;

клас судна КМ+ICE4 A1 нафтоналивне судно

тип енергоустановки – дизельний двигун;

дальність плавання – 15500 миль;

розрахункова питома вантажомісткість – 0,722 т/м³

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

- 4.1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.
- 4.2. Побудова теоретичного креслення.
- 4.3. Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.
- 4.4. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн.
- 4.5. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна (100 % вантажу, 100 % запасів).
- 4.6. Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.
- 4.7. Набір конструктивного мідель-шпангоуту за Правилами реєстра судноплавства України. Розрахунок поздовжньої міцності.

4.8. Перевірка загальної та місцевої міцності в'язей корпусу судна.

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

- 5.1. Теоретичне креслення.
 - 5.2. Гідростатичні криві.
 - 5.3. Діаграма остійності неушкодженого судна.
 - 5.4. Креслення загального розташування: боковий вид та план верхньої палуби.
 - 5.5. Креслення конструктивного мідель-шпангоуту
-

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	к.т.н. доц. Пащенко Ю.М.	05.02.25р.		05.03.25р.	
теорія корабля	к.т.н. доц. Пащенко Ю.М.	27.03.25р.		27.04.25р.	
конструкція корпусу	ст. вик. Шарун Г.В.	28.04.25р.		28.05. 25р	
будівельна механіка корабля	д.т.н. проф. Коростильов Л.І.	28.05.25р.		08.06.25р.	

7. Дата видачі завдання 05.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.	15.02.2025р.	
2.	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна.	26.02.2025р.	
3.	Побудова теоретичного креслення.	19.03.2025р.	
4.	Побудова гідростатичних кривих.	31.03.2025р.	
5.	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна.	27.04.2025р.	
6.	Розрахунок конструктивного мідель-шпангоуту.	28.05.2025р.	
7.	Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.	8.06.2025р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки.	16.06.2025р.	

Студент

Шведов А.О.

Керівник роботи

Пащенко Ю.М.

Зміст

Анотація	6
Вступ.....	9
Розділ 1	11
Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту	12
1.1. Розрахунок елементів проекту у першому наближенні	12
1.2. Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна	17
1.3. Визначення елементів проекту судна в другому наближенні.....	18
1.4. Побудова теоретичного креслення	24
1.5. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ	25
1.6. Удиферентування проекту судна	29
1.7. Креслення загального розташування.....	34
Розділ 2	38
Перевірка морехідних якостей судна.....	39
2.1. Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.....	39
2.2. Розрахунок та побудова гідростатичних кривих	41
2.3. Перевірка вимог Правил Регістру судноплавства України до остійності судна	46
Розділ 3	57
Набір конструктивного мідель-шпангоуту корпусу.....	58
3.1. Загальні відомості про судно що проектується	58
3.2. Розрахункові навантаження	70
3.3. Загальна поздовжня міцність судна	79
3.4. Проектування елементів конструкції корпусу судна за правилами реєстра.....	81
3.5. Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної поздовжньої міцності	135
Розділ 4	140
Перевірка міцності зовнішньої обшивки днища.....	141
4.1. Вихідні дані для перевірки міцності зовнішньої обшивки днища	141
4.2. Розрахункова схема пластини днищового перекриття	141

4.3. Розрахункове навантаження	142
4.4. Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини.....	143
4.5. Перевірка умов міцності та висновки.....	144
Загальний висновок.....	146
Перелік використаної літератури	147
ДОДАТКИ.....	148

Анотація

Метою даної дипломної роботи було, закріплення теоретичних та практичних навичок та використання їх в розробці проєктування судна.

Згідно з завданням, виданим кафедрою: «теорії та проєктування суден», в цій роботі, був спроектований танкер вантажопідйомність 79200 т для перевезення рідкого вантажу (нафти).

Під час роботи, визначені основні розміри судна та водотоннажність за допомогою методу послідовних наближень у двох наближеннях і параметри головного двигуна. Для цього в програмному забезпеченні Maxsurf Resistance, було розраховано необхідний опір та необхідна потужність, з відповідним вибором головного двигуна для проєктованого танкеру. Після чого, був розрахунок навантаження мас з відповідним розрахунком місткості, з уточнення висоти борту судна.

3D-модель судна була створена за допомогою програми Maxsurf Modeler Advanced. За допомогою якої було виконано лінійне та параметричне перетворення.

Проведено розрахунки в програмному забезпеченні Maxsurf Stability Enterprise, в ній були знайдені обсяги і центри ваги приміщень, виконано розрахунки елементів плавучості та початкової стійкості, виконано удиферентування судна. Складено діаграму статичної та динамічної остійності, а також перевірено критерій погоди. Після чого, перевірено відповідність діаграми статичної остійності судна до вимог правил Регістру судноплавства України. Експортовано за допомогою, цього програмного забезпечення до програми AutoCad, в свою чергу в ній було побудовано: теоретичне креслення, креслення гідростатичних кривих, діаграму статичної остійності, загальне розташування.

Після чого, відповідно до «Правил класифікації та будівництва суден» Регістру судноплавства України, було спроектовано та конструктивний

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

мідель-шпангоут судна. Виконано перевірку загальної міцності судна, елементів конструкції.

Перевірка міцності на згинання зовнішньої обшивки днища здійснювалася у відповідності з вимогами Норм міцності морських судів.

Ключові слова: танкер, водотоннажність, основні розміри, остійність, морехідні якості, дифферент, загальна поздовжня міцність.

Abstract

The purpose of this graduation paper was to consolidate theoretical and practical skills and use them in the development of ship design.

According to the task issued by the department: "theory and design of ships", in this work, a tanker with a carrying capacity of 79,200 tons was designed for the transportation of liquid cargo (oil).

During the work, the main dimensions of the vessel and the displacement were determined using the method of successive approximations in two approximations and the parameters of the main engine. For this, the required resistance and the required power were calculated in the Maxsurf Resistance software, with the appropriate selection of the main engine for the designed tanker. After that, the mass load was calculated with the appropriate capacity calculation, with the clarification of the height of the vessel's side.

A 3D model of the vessel was created using the Maxsurf Modeler Advanced program. With the help of which linear and parametric transformations were performed.

Calculations were performed in the Maxsurf Stability Enterprise software, the volumes and centers of gravity of the premises were found in it, calculations of buoyancy elements and initial stability were performed, and the vessel was differentiated. Static and dynamic stability diagram was drawn up, and the weather criterion was also checked. After that, the compliance of the static stability diagram of the vessel with the requirements of the rules of the Ukrainian Shipping Register

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		7

was checked. Exported using this software to the AutoCad program, in turn, it was built: a theoretical drawing, a drawing of hydrostatic curves, a static stability diagram, and a general layout.

After that, in accordance with the "Rules for Classification and Construction of Ships" of the Register of Shipping of Ukraine, the ship's midship was designed and constructed. The overall strength of the ship and structural elements were checked.

The bending strength of the outer bottom plating was checked in accordance with the requirements of the Strength Standards for Seagoing Vessels.

Key words: tanker, displacement, main dimensions, stability, seaworthiness, trim, overall longitudinal strength.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		8

Вступ

Вантажні судна за родом вантажу, що перевозиться, діляться на три групи: суховантажні, наливні та комбіновані.

В цій роботі буде запропоновано, процес проєктування наливного танкеру.

Наливні судна в світі, складають велику частку світового флоту, але визначити загальну кількість дуже важко. Однак в останні роки, експерти дійшли до висновку, що ця кількість становить близько 34 %. З яких самих танкерів, становить 12%. З кожним роком відсоток танкерів та інших наливних судів збільшується в світовому флоті, що в свою чергу свідчить про важливість цього типу судна, в наш час.

Нафтовий танкер (англ. oil tanker) – вантажне судно торговельного флоту, призначене для перевезення нафти.

Нафтові танкери діляться на два основних типи: перший це crude oil tankers (crude carriers) – танкери, призначені для перевезення сирої (неочищеної) нафти з місця видобутку на переробні заводи, і product tankers – продуктовози, танкери для транспортування нафтопродуктів (нафтових олій, бензину, гасу, т.п.).

Зараз в останні років 15 достатньо чітко склався архітектурно-конструктивний тип танкерів. Для цих суден характерним є короткий півбак. Як правило, у більшості танкерів відсутній ют. Верхня палуба проєктується без сидлуватості, а вигин бімсів частіше за все ламаний, а не плавний. Набір верхньої палуби направлений назовні (Ви зможете побачити в цій роботі). У всіх танкерів корма в надводній частині транцева.

Для сучасних танкерів характерною є наявність тільки одного вантажного насосного відділення (перед вантажними танками). Крім того,

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		9

збільшується кількість танкерів із зануреними насосами, у яких насосне відділення взагалі відсутнє.

Іншим важливим елементом зовнішньої архітектури судна, який визначає силует танкера, є його надбудова. Здебільшого це кормова 5–7-ярусна рубка баштового типу прямокутної форми. Рубки сучасних танкерів розробляються стандартизованими з використанням модульного принципу формування і майже не залежать від ширини судна, що дає змогу застосовувати їх на танкерах різного дедвейту і модифікацій. Характерним є прагнення зосередити житлові приміщення в передній баштовій частині, не зв'язаній з шахтою машинно-котельного відділення (МКВ), що дає можливість ізолювати житлову частину від джерел шумів та тепловиділення (шахти МКВ) і значно покращити комфортні умови проживання екіпажу. На відкритих палубах рубки в кормовій частині розташовують басейн, солярій та спортивну площадку.

Важливим фактором, який сьогодні враховується в першу чергу при розробці нових проєктів нафтоналивних суден і їх архітектурно-конструктивного типу, є екологічна безпека. Розглядаючи питання конструктивного забезпечення екологічної безпеки та локалізації масштабів аварій, можна виділити три способи вирішення даної проблеми: створення конструктивного захисту танків; зменшення ймовірності аварії судна шляхом покращення його маневрених якостей; зменшення масштабів наслідків аварій обмеженням місткості вантажних танків.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		10

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Шведов А. О.			Визначення основних елементів і характеристик судна-проєкту.			Літ.		Арк.	Аркушів	
Консультант		Пашенко Ю. М.								11	27	
Керівник		Пашенко Ю. М.						НУК ім. адм. Макарова				
Зав.каф		Некрасов В. О.										

1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту

1.1. Розрахунок елементів проекту у першому наближенні

1.1.1. Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності прототипу складається алгебраїчне рівняння мас виду:

$$\bar{\Delta} = \bar{P}_K + \bar{P}_{OB} + \bar{P}_{EY} + \bar{P}_{ПВ} + \bar{P}_3 + \bar{P}_{ЗВ} + \bar{P}_B + \bar{P}_Б,$$

де $\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу, т;

$\bar{P}_K, \bar{P}_{OB}, \bar{P}_{EY}, \bar{P}_{ПВ}, \bar{P}_3, \bar{P}_{ЗВ}, \bar{P}_B, \bar{P}_Б$ – маса розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, води і масла, забезпечення, запасу водотоннажності, вантажу і баласту прототипу, що перевозиться відповідно, т.

$$\bar{\Delta} = 16793 + 3231 + 1190 + 2963 + 361 + (-431) + 79718 + 0 = 103825 \text{ т.}$$

У першому наближенні елементи проекту судна будемо розраховувати за коефіцієнтом використання (утилізації), який розраховується за прототипом:

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_B}{\bar{\Delta}} = \frac{79718}{103825} = 0,7678,$$

де $\bar{P}_B$ – вантажопідйомність прототипу;

$\bar{\Delta}$ – водотоннажність прототипу.

Величина коефіцієнта утилізації по чистій вантажопідйомності залежить від швидкості ходу і дальності плавання, тому його значення коригуємо за допомогою виразу:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		12

$$\bar{\eta}_B^{\text{кор}} = \bar{\eta}_B - \left(\bar{a}_{EY} \left(\frac{v_B}{\bar{v}_B} \right)^3 + \bar{a}_\Pi \left(\frac{v_e}{\bar{v}_e} \right)^2 \frac{R}{\bar{R}} \right) + \bar{a}_{EY} + \bar{a}_\Pi,$$

де $\bar{a}_{EY} = \frac{\bar{P}_{EY}}{\bar{\Delta}}$, $\bar{a}_\Pi = \frac{\bar{P}_\Pi}{\bar{\Delta}}$ – вимірники мас енергетичної установки та маси палива відповідно.

$$\bar{a}_{EY} = \frac{\bar{P}_{EY}}{\bar{\Delta}} = \frac{1190}{103825} = 0,0115 \text{ т/кВт};$$

$$\bar{a}_\Pi = \frac{\bar{P}_\Pi}{\bar{\Delta}} = \frac{2963}{103825} = 0,0285384 \text{ т/кВт} \cdot \text{год};$$

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_B^{\text{кор}} &= 0,7678 - \left(0,0115 \cdot \left(\frac{15,5}{15,3} \right)^3 + 0,0285384 \cdot \left(\frac{15,0}{14,8} \right)^2 \cdot \frac{15500}{15000} \right) + 0,0115 \\ &+ 0,0285384 = 0,7656. \end{aligned}$$

Для урахування масштабного ефекту судна треба скористатися формулою:

$$\eta_0 = \bar{\eta}_B^{\text{кор}} \left(\frac{P_B}{\bar{P}_B} \right)^{0,25} = 0,7656 \left(\frac{79200}{79718} \right)^{0,25} = 0,7644,$$

де P_B – вантажопідйомність проєкту.

Таким чином, використання коригованого значення коефіцієнту утилізації дає можливість отримати уточнене значення очікуваної водотоннажності:

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{79200}{0,7644} = 103617 \text{ т.}$$

1.1.2. Визначення характеристик форми корпусу

Отримавши значення водотоннажності, можна розрахувати головні розміри проекту судна. Для початку визначимо наступні характеристики форми корпусу:

– відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$V = \frac{\bar{\Delta}_1}{1,025} = \frac{103617}{1,025} = 101293 \text{ м}^3,$$

$$l = 5,6 - 2,55 \cdot V \cdot 10^{-6} = 5,6 - 2,55 \cdot 101293 \cdot 10^{-6} = 5,3417 \text{ м};$$

– очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta_1}{\rho}} = 5,3417 \cdot \sqrt[3]{\frac{103617}{1,025}} = 237,84 \text{ м}.$$

При обробці статистичних формул для l треба кожного разу порівнювати значення l і $\bar{l}$ з урахуванням v_e і $\bar{v}_e$, пам'ятаючи, що при збільшенні швидкості v відносна довжина в порівнянні з прототипом теж збільшується.

– число Фруда:

- проекту:

$$Fr = \frac{0,514 \cdot v_e}{\sqrt{g \cdot L_0}} = \frac{0,514 \cdot 15,0}{\sqrt{9,81 \cdot 237,84}} = 0,1597;$$

- прототипу:

$$\bar{Fr} = \frac{0,514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g \cdot \bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 14,8}{\sqrt{9,81 \cdot 238}} = 0,1575.$$

У табл. 1.1.2.1., проводимо розрахунок та прийняття коефіцієнтів повноти проєкту для подальших розрахунків. Вибір коефіцієнтів проводимо виходячи з порівняння чисел Фруда проєкту і прототипу.

Таблиця 1.1.2.1. – Вибір коефіцієнтів повноти проєкту в порівнянні їх з прототипом

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
загальної повноти	$C_b = 1,05 - 1,4 \cdot Fr + 0,06$	0,886	0,829	0,886
поздовжньої повноти	$C_p = 0,04 + 0,96 \cdot C_b$	0,891	0,834	0,891
повноти площі мідель-шпангоута	$C_m = \frac{C_b}{C_p}$	0,995	0,994	0,995
повноти площі ватерлінії	$C_{wp} = 1,01 \cdot C_p^{2/3}$	0,935	0,922	0,922

Наступні відношення у 1-му наближенні можна прийняти за прототипом.

– визначення відношення ширини до осадки:

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{d}} = \frac{42,0}{12,2} = 3,44;$$

– визначення відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\bar{D}}{\bar{d}}\right) = \frac{21,3}{12,2} = 1,75;$$

– визначення відношення довжини до ширини борту:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \frac{238,0}{42,0} = 7,6.$$

1.1.3. Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$\Delta_1 = k_{вч} \cdot \rho \cdot C_b \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot d_1,$$

де $k_{вч} = 1,01$ – коефіцієнт, що враховує виступаючі за обводи ТК частини корпусу. Використовуючи співвідношення головних розмірів запишемо рівняння у вигляді:

$$\Delta_1 = k_{вч} \cdot \rho \cdot \left(\frac{L}{B}\right)_1 \cdot B_1^3 \cdot \left(\frac{d}{B}\right)_1,$$

Таблиця 1.1.3.1. – Головні розміри у першому наближенні

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1(B/d)_1}{k_{вч}\rho C_b(L/B)_1}}$	40,3
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	239,8
Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	11,7
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	20,3

1.2. Визначення на ЕОМ потужності та вибір марки головного двигуна

Розрахунок потужності головного двигуна проводимо за допомогою програмного комплексу Maxsurf Resistance. Результати розрахунку наведено в табл. 1.2.1.

Таблиця 1.2.1. – Результати розрахунків буксирувальної потужності

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0,500	0,005	0,012	1,7	0,471
2	0,875	0,009	0,021	5,0	2,371
3	1,250	0,013	0,030	9,9	6,690
4	1,625	0,017	0,039	16,4	14,413
5	2,000	0,021	0,048	24,5	26,540
6	2,375	0,025	0,057	34,3	44,089
7	2,750	0,029	0,066	45,7	68,088
8	3,125	0,033	0,075	58,8	99,575
9	3,500	0,037	0,084	73,6	139,588
10	3,875	0,041	0,093	90,1	189,158
11	4,250	0,045	0,102	108,3	249,305
12	4,625	0,048	0,111	128,2	321,031
13	5,000	0,052	0,120	149,7	405,314
14	5,375	0,056	0,129	172,8	503,108
15	5,750	0,060	0,138	197,6	615,335
16	6,125	0,064	0,147	224,0	742,890
17	6,500	0,068	0,156	251,9	886,634
18	6,875	0,072	0,165	281,3	1047,400
19	7,250	0,076	0,175	312,3	1225,992
20	7,625	0,080	0,184	344,7	1423,187
21	8,000	0,084	0,193	378,5	1639,744
22	8,375	0,088	0,202	413,7	1876,405
23	8,750	0,092	0,211	450,4	2133,907
24	9,125	0,096	0,220	488,3	2412,992
25	9,500	0,100	0,229	527,6	2714,417
26	9,875	0,104	0,238	568,3	3038,973
27	10,250	0,107	0,247	610,3	3387,496
28	10,625	0,111	0,256	653,7	3760,894
29	11,000	0,115	0,265	698,4	4160,160
30	11,375	0,119	0,274	744,6	4586,399
31	11,750	0,123	0,283	792,2	5040,850
32	12,125	0,127	0,292	841,5	5524,908
33	12,500	0,131	0,301	892,3	6040,150
34	12,875	0,135	0,310	945,0	6588,355
35	13,250	0,139	0,319	999,5	7171,531
36	13,625	0,143	0,328	1056,1	7791,930
37	14,000	0,147	0,337	1114,9	8452,074
38	14,375	0,151	0,346	1176,0	9154,768
39	14,750	0,155	0,355	1239,8	9903,116
40	15,125	0,159	0,364	1306,5	10700,53
41	15,500	0,162	0,373	1376,1	11550,77

Потужність двигуна для швидкості на випробуваннях: $v_{\text{в}} = 15,5$ вузлів, $N_{\text{в}} \approx 11551$ кВт. Потужність двигуна для експлуатаційної швидкості $v_{\text{е}} = 15,0$ вузлів визначається шляхом інтерполяції та дорівнює $N_{\text{е}} \approx 10429$ кВт.

Обираємо головний двигун фірми «MAN B&W» за каталогом (табл.1.2.2.).

Таблиця 1.2.2. – Характеристики головного двигуна

Марка дизеля	Потужність, кВт	Частота оберт. об^{-1}	Витрати палива $\text{г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Маса, т
12L42MC	11940	176	177	11561	2460	6700	244

1.3. Визначення елементів проєкту судна в другому наближенні

1.3.1. Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності у другому наближенні необхідно використовувати рівняння мас, що виражене у функції головних розмірів, у якому складові навантаження мас розраховуються за формулами, які дають більш точні результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю $P_K = q_K C_b^{\text{П}} LBD$, а маса обладнання $P_O = q_O (LBD)^{2/3}$. При визначенні маси енергетичної установки та маси палива використовується значення потужності головного двигуна, що прийняте за каталогом. Вирази для маси забезпечення $P_{\text{заб}}$, запасу водотоннажності $P_{\text{зв}}$, значення яких у навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінним $P_{\text{заб}} = a_c \Delta$; $P_{\text{зв}} = a_{\text{зв}} \Delta$;

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		18

Для того, щоб виключити кількість невідомих в рівнянні мас та привести його до такого вигляду, щоб як і у першому наближенні його можна було б вирішити відносно Δ , використовуються наступні перетворення:

$$P_K = q_K C_b^n LBD = q_K C_b^n LBD \cdot \frac{\Delta}{\rho_B k_B C_b L B d} = \Delta \left(q_K \cdot \frac{C_b^n}{C_b} \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_B k_{BЧ}} \right);$$

$$P_O = q_O (LBD)^{2/3} = \Delta^{2/3} \cdot \left(q_O \cdot \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_B k_{BЧ}} \right)^{2/3} \right);$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta_1 \cdot \left(1 - 0,966 \cdot q_K \cdot \frac{C_b^n}{C_b} \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_B k_{BЧ}} - a_{заб} - a_{зв} \right) \\ = \Delta_1^{\frac{2}{3}} \cdot \left(q_O \cdot \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{1}{\rho_B k_{BЧ}} \right)^{\frac{2}{3}} \right) + q_{ey} \cdot N_{ey}^B + q_{\Pi} \cdot k_{МЗ} \cdot k_{BЧ} \cdot N_{ey}^e \cdot \frac{R}{v_e} + P_B. \end{aligned}$$

Таблиця 1.3.1.1. – Визначення проміжних коефіцієнтів

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$\bar{C}_b^n = \bar{C}_b \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) + 1,05 \bar{C}_w \left(1 - \left(\frac{\bar{d}}{\bar{D}} \right) \right)$	0,886
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проекту	$C_b^n = C_b \left(\frac{d_1}{D_1} \right) + 1,05 C_w \left(1 - \left(\frac{d_1}{D_1} \right) \right)$	0,903
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0,0904

Продовження табл. 1.3.1.1.

Назва величини	Формула	Значення
Вимірник маси обладнання	$q_{\text{ОБ}} = \frac{\bar{P}_{\text{ОБ}}}{(\bar{L}\bar{B}\bar{D})^{2/3}}$	0,9061
Коефіцієнт морського запасу	$k_{\text{мз}}$	1,2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{\text{доп}}$	1,2
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^{\text{II}}}{C_b} - a_{\text{ЗВ}} - a_{\text{Б}}$	0,8351
	$m = q_{\text{ОБ}} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{\frac{2}{3}} + q_3$	1,5612
	$A = q_{\text{ЕУ}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{Б}} + q_{\text{П}} k_{\text{мз}} k_{\text{доп}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{Е}} \frac{R}{v_{\text{Е}}} + P_{\text{Б}}$	83193
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{\frac{2}{3}} - \frac{A}{n} = 0$	0

Використовуючи метод підбору параметрів у програмі Ехсел вирішимо рівняння водотоннажності та отримаємо водотоннажність у другому наближенні:

$$\Delta_2 = 103743 \text{ т.}$$

Маючи значення водотоннажності у другому наближенні знайдемо маси статей навантаження судна-проекту в табл. 1.3.1.2.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		20

Таблиця 1.3.1.2. – Розрахунок мас статей навантаження

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^{\Pi} D}{C_b d} \frac{1}{k_{вч} \rho} \right)$	16062,974
Маса обладнання, т	$P_{ОБ} = q_{ОБ} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{вч} \rho} \right)^{2/3}$	3086,096
Маса енергетичної установки, т	$P_{ЕУ} = q_{ЕУ} N_{ЕУ}^B$	1261,369
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	360,76
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{ЗВ} = a_{ЗВ} \Delta_2$	1037,429
Маса палива, т	$P_{\Pi} = q_{\Pi} N_{ЕУ}^B \frac{R}{v_e} k_{мз} k_{дод}$	2731,23
Маса баласту, т	$P_B = a_B \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	P_B	79200
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{ОБ} + P_{ЕУ} + P_{\Pi} + P_3 + P_{ЗВ} + P_B + P_B$	103743

1.3.2. Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності та плавності хитавиці

Головні розміри можна отримати по їх відношенням. У другому наближенні необхідно уточнювати ці відношення виходячи з вимог до різних якостей судна.

– Визначення відношення висоти борту до осадки з умови забезпечення вантажомісткості:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_2 = (1,07\mu_B\eta_B + 0,16)k_e;$$
$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{ВМС}} = (1,07 \cdot 0,722 \cdot 0,7644 + 0,16) \cdot 1,35 = 1,74;$$

Приймаємо:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_2 = 1,74.$$

– Визначення відношення ширини до осадки за умови забезпечення остійності та плавності хитавиці:

$$\frac{B}{d} = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_p}{3} \cdot \frac{C_w^2}{C_b} \left(\zeta_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_w}{C_b}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{k_p}{6} \cdot \frac{C_w^2}{C_b}}$$
$$= \frac{0,11 + \sqrt{(0,11)^2 + \frac{1,032}{3} \cdot \frac{0,922^2}{0,886} \left(0,57 \cdot 1,74 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,922}{0,886}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{1,032}{6} \cdot \frac{0,922^2}{0,886}}$$
$$= 2,92.$$

Для вибору значення B/d його треба порівняти з B/d прототипу і якщо на проекті не передбачено перевезення вантажу на ВП прийняти B/d прототипу.

Приймаємо:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		22

$$\left(\frac{B}{d}\right)_2 = 3,44.$$

– Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \rho \cdot k_{вч} \cdot \left(\frac{B}{d}\right)_2} = \sqrt{5,11^3 \cdot 0,886 \cdot 1,025 \cdot 1,01 \cdot 3,44} = 5,96.$$

Приймаємо:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = 5,96.$$

1.3.3. Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використаємо рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_v \cdot \rho_v \cdot C_b \cdot L_2 \cdot B_2 \cdot d_2,$$

де $k_v = 1,01$ – коефіцієнт, який враховує частини корпусу, що виступають за обводи ТК.

Використавши відношення головних розмірів, за пишемо рівняння у виді:

$$\Delta_2 = k_v \cdot \rho_v \cdot C_b \cdot \left(\frac{L}{B}\right)_2 \cdot B_2^3 \cdot \left(\frac{d}{B}\right)_2.$$

Таблиця 1.3.3.1. – Розрахунок головних розмірів у другому наближенні

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{D_2(B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	40,32
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	239,9
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	11,7
Висота борта (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	20,31

На цьому визначення головних розмірів проекту судна в другому наближенні закінчено.

1.4. Побудова теоретичного креслення

Для побудови теоретичного креслення і розрахунку елементів початкової остійності використовується програмний комплекс Maxsurf.

3D модель і теоретичне креслення будуємо в середовищах Maxsurf Modeler і AutoCAD за допомогою афінного перетворення поверхні корпусу прототипу.

Вихідні дані:

- кількість батоксів – 3 (I...III);
- кількість ватерліній – 7 (1...6);
- кількість шпангоутів – 21 (0...20);
- теоретична шпация $\Delta L = L/20 = 6,325$ м.

За отриманими даними побудовано теоретичне креслення (24.ДРБ.135.4111.29.01), креслення загального розташування (24.ДРБ.135.4111.25.04) та гідростатичні криві (24.ДРБ.135.4111.25.02).

1.5. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок завантаження, визначення координат ЦМ

Після визначення головних розмірів і коефіцієнтів повноти судна потрібно перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується з достатньою для цього точністю за допомогою комплексу Maxsurf Stability Enterprise.

Так як довжина судна більша від діапазону в межах $165 \div 185$ м і розташування машинного відділення кормове, то загальну кількість водонепроникних перебірок приймаємо.

Фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 239,9 + 0,48 = 0,9598 \text{ мм.}$$

Приймаємо $a_0 = 800$ мм.

Згідно з вимогами Правил Регістру, у форпіку та ахтерпіку шпация приймається $a_{\phi} = a_{\text{ахт}} = 600$ мм. Перехідна шпация між форпіковою перебіркою та перерізом $0,2 \cdot L$ від носового перпендикуляру приймається $a_{\Pi} = 700$ мм.

Таким чином поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки представлені у табл.1.5.1.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		25

Таблиця 1.5.1. – Відсіки судна

Шпація	Відсік	Довжина
296 – 319	Ахтерпік	$L_{axt} = 23 \cdot 0,6 = 13,8 \text{ м}$
264 – 296	Машинне відділення	$L_{мв} = 32 \cdot 0,8 = 25,6 \text{ м}$
255 – 264	Відстійний танк	$L_{відс.танк} = 0,9 \cdot 0,8 = 7,2 \text{ м}$
226 – 255	Вантажний танк №8	$L_{танк8} = 29 \cdot 0,8 = 23,2 \text{ м}$
197 – 226	Вантажний танк №7	$L_{танк7} = 29 \cdot 0,8 = 23,2 \text{ м}$
168 – 197	Вантажний танк №6	$L_{танк6} = 29 \cdot 0,8 = 23,2 \text{ м}$
139 – 168	Вантажний танк №5	$L_{танк5} = 29 \cdot 0,8 = 23,2 \text{ м}$
110 – 139	Вантажний танк №4	$L_{танк4} = 29 \cdot 0,8 = 23,2 \text{ м}$
80 – 110	Вантажний танк №3	$L_{танк3} = 8 \cdot 0,7 + 22 \cdot 0,8 = 23,2 \text{ м}$
47 – 80	Вантажний танк №2	$L_{танк2} = 33 \cdot 0,7 = 23,1 \text{ м}$
19 – 47	Вантажний танк №1	$L_{танк1} = 28 \cdot 0,7 = 19,6 \text{ м}$
0 – 19	Форпик	$L_{фор} = 19 \cdot 0,6 = 11,4 \text{ м}$
Сума		$L = 239,9 \text{ м}$

Висоту другого дна розраховуємо за формулою:

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

$$h = \frac{239,9 - 40}{570} + 0,04 \cdot 40,32 + 3,5 \cdot \frac{11,7}{239,9} = 2,13 \text{ м},$$

Приймаємо $h_{\text{дд}} = 2 \text{ м}$.

Ширину подвійного борту визначаємо за формулою:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		26

$$b_{пб} = 0,5 + \frac{DW}{20000} = 0,5 + \frac{82292,0}{20000} = 4,6 \text{ м.}$$

Приймаємо $b_{пб} = 4,3 \text{ м.}$

Положення ЦМ визначається розрахунком з використанням Loadcase. При цьому абсциси і аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка і постачання визначаються перерахунком із судна прототипу пропорційно довжині і висоті борту за залежностями:

$$X_{gi} = \frac{\bar{X}_{gi}}{\bar{L}} L; \quad Z_{gi} = \frac{\bar{Z}_{gi}}{\bar{H}} H.$$

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою Loadcase та представлені в табл.1.5.2.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		27

Таблиця 1.5.2. – Таблиця ємності

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	16065,974	16065,974			-138,640	0,000	11,450	0,000	User Spec
2	Engine	1	1261,369	1261,369			-222,120	0,000	10,000	0,000	User Spec
3	Equipment	1	3086,069	3086,069			-162,830	0,000	18,030	0,000	User Spec
4	Margine	1	1037,429	1037,429			-119,950	0,000	0,000	0,000	User Spec
5	Total Lightship			21450,841			-146,125	0,000	11,758	0,000	
6	Tank №1	98,1%	8502,413	8340,809	11776,196	11552,366	-21,317	0,000	11,555	0,000	IMO A.74
7	Tank №2	99%	10242,946	10140,516	14186,905	14045,036	-42,500	0,000	11,285	0,000	IMO A.74
8	Tank №3	99%	10183,598	10081,762	14104,707	13963,659	-65,700	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
9	Tank №4	99%	10183,468	10081,635	14104,527	13963,483	-88,900	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
10	Tank №5	99%	10183,340	10081,505	14104,348	13963,304	-112,100	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
11	Tank №6	99%	10183,214	10081,383	14104,175	13963,135	-135,300	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
12	Tank №7	100%	10183,078	10183,078	14103,986	14103,986	-158,500	0,000	11,324	0,000	IMO A.74
13	Tank №8	100%	10209,316	10209,316	14140,327	14140,327	-181,730	0,000	11,324	0,000	IMO A.74
14	Slop Tank	0%	3133,907	0,000	4340,592	0,000	-196,930	0,000	2,000	0,000	IMO A.74
15	Total Cargo	95,42%	83005,281	79200,004	114965,763	109695,296	-102,663	0,000	11,296	0,000	
16	Double Bottom Tank №1	0%	1114,838	0,000	1327,188	0,000	-13,512	0,000	0,000	0,000	IMO A.74
17	Double Bottom Tank №2	0%	1535,206	0,000	1827,626	0,000	-42,609	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
18	Double Bottom Tank №3	0%	1544,720	0,000	1838,952	0,000	-65,700	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
19	Double Bottom Tank №4	0%	1544,658	0,000	1838,879	0,000	-82,387	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
20	Double Bottom Tank №5	0%	1544,640	0,000	1838,857	0,000	-111,626	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
21	Double Bottom Tank №6	0%	1544,694	0,000	1838,921	0,000	-142,147	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
22	Double Bottom Tank №7	39,87%	1541,328	614,530	1834,914	731,584	-158,458	0,000	0,415	104478,465	IMO A.74
23	Double Bottom Tank №8	98%	1364,689	1337,396	1624,630	1592,138	-181,196	0,000	1,048	0,000	IMO A.74
24	Double Bottom Slop Tank	98%	306,263	300,137	364,598	357,306	-196,770	0,000	1,174	0,000	IMO A.74
25	Double Bottom Engine Room	98%	488,711	478,937	581,799	570,163	-210,463	0,000	1,163	0,000	IMO A.74
26	Total Fuel	21,8%	12529,746	2731,000	14916,365	3251,190	-182,924	0,000	0,940	104478,465	
27	Forepeak	0%	6625,039	0,000	6463,452	0,000	-10,403	0,000	0,000	0,000	Maximum
28	Double Side Tank №1 Port Si	0%	1527,809	0,000	1490,545	0,000	-22,745	-17,227	2,000	0,000	Maximum
29	Double Side Tank №1 StarBo	0%	1527,809	0,000	1490,545	0,000	-22,745	17,227	2,000	0,000	Maximum
30	Double Side Tank №2 Port Si	0%	1769,545	0,000	1726,385	0,000	-42,625	-18,262	2,000	0,000	Maximum
31	Double Side Tank №2 StarBo	0%	1769,545	0,000	1726,385	0,000	-42,625	18,262	2,000	0,000	Maximum
32	Double Side Tank №3 Port Si	0%	1760,743	0,000	1717,798	0,000	-65,699	-18,286	2,000	0,000	Maximum
33	Double Side Tank №3 StarBo	0%	1760,743	0,000	1717,798	0,000	-65,699	18,286	2,000	0,000	Maximum
34	Double Side Tank №4 Port Si	0%	1760,532	0,000	1717,593	0,000	-88,899	-18,286	2,000	0,000	Maximum
35	Double Side Tank №4 StarBo	0%	1760,533	0,000	1717,593	0,000	-88,899	18,286	2,000	0,000	Maximum
36	Double Side Tank №5 Port Si	0%	1760,333	0,000	1717,399	0,000	-112,099	-18,285	2,000	0,000	Maximum
37	Double Side Tank №5 StarBo	0%	1760,334	0,000	1717,399	0,000	-112,099	18,285	2,000	0,000	Maximum
38	Double Side Tank №6 Port Si	0%	1760,143	0,000	1717,213	0,000	-135,299	-18,284	2,000	0,000	Maximum
39	Double Side Tank №6 StarBo	0%	1760,143	0,000	1717,213	0,000	-135,299	18,284	2,000	0,000	Maximum
40	Double Side Tank №7 Port Si	0%	1760,465	0,000	1717,527	0,000	-158,473	-18,282	2,000	0,000	Maximum
41	Double Side Tank №7 StarBo	0%	1760,465	0,000	1717,527	0,000	-158,473	18,282	2,000	0,000	Maximum
42	Double Side Tank №8 Port Si	0%	1739,785	0,000	1697,351	0,000	-180,650	-17,929	2,000	0,000	Maximum
43	Double Side Tank №8 StarBo	0%	1739,785	0,000	1697,351	0,000	-180,650	17,929	2,000	0,000	Maximum
44	Double Side Slop Tank Port	0%	501,282	0,000	489,055	0,000	-196,365	-17,092	2,000	0,000	Maximum
45	Double Side Slop Tank StarB	0%	501,282	0,000	489,055	0,000	-196,365	17,092	2,000	0,000	Maximum
46	Aftpeak	0%	6240,013	0,000	6240,013	0,000	-228,239	0,000	0,001	0,000	Maximum
47	Total Ballast	0%	41546,327	0,000	40685,197	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
48	Supply	1	361,000	361,000			-227,510	0,000	17,600	0,000	User Spec
49	Total Supply			361,000			-227,510	0,000	17,600	0,000	
50	Total Loadcase			103742,845	170567,325	112946,486	-114,197	0,000	11,141	104478,465	
51	FS correction								1,007		
52	VCG fluid								12,148		

При кормовому розташуванні машинного відділення теоретичний об'єм трюму визначається ідентифікатором VNTR.

Якщо фактична вантажомісткість W_{ϕ} більша потрібної чим на 5 % або недостатня, то треба змінювати висоту борту H і знову розраховувати на ЕОМ місткість проекту. При цьому треба мати на увазі, що значні зміни висоти борту (більше чим на 0,5 м) можуть привести до необхідності виконати ще одне III наближення в розрахунках водотоннажності. Якщо $\Delta H > 0,5\text{м}$, III наближення виконується наступним чином: складаємо рівняння мас, як для II наближення.

Перевірка:

$$W_{\Pi} = \frac{P_B}{\gamma_B} = \frac{79200}{0,722} = 109695 \text{ м}^3.$$

$$\begin{aligned} W_{\Phi} &= k_B \cdot \left(VNTR - \left(W_{\text{ТІБ}} - \left(W_{\text{II дна}} - \frac{P_T}{\gamma_T} \right) \right) \right) \\ &= 0,95 \cdot \left(140169 - \left(47680 - \left(17969 - \frac{2731}{0,90} \right) \right) \right) = 102052 \text{ м}^3, \end{aligned}$$

де $W_{\text{ТІБ}} = 47680$ – об'єм танків ізольованого баласту, м^3 ;

$k_B = 0,95$ – коефіцієнт використання теоретичного об'єму;

$VNTR = 140169$ – об'єм відсіків носової частини трюму м^3 ;

$W_{\text{II дна}} = 17969$ – обсяг відсіків другого дна м^3 ,

$P_T = 2731$ і $\gamma_T = 0,90$ – відповідно маса і густина палива.

Якщо W_{Φ} не вистачає, то частину $W_{\text{ТІБ}}$ можна розмістити в цистернах II-го дна не зайнятих паливом.

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{109695 - 102052}{109695} \cdot 100\% \approx 0\% < 5\%.$$

Проект судна повністю вміщує в собі увесь вантаж, паливо.

1.6. Удиферентування проекту судна

В розрахунках будемо приймати, що вантаж, паливо розміщуються симетрично відносно ДП і тому крен судна відсутній.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		29

Для удиферентування судна використовується програма Maxsurf Stability Enterprise. Розглянемо І стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту, отримуючи дані з Loadcase (табл. 1.6.1.).

Таблиця 1.6.1. – Loadcase для І-го стану навантаження

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	16065,974	16065,974			-138,640	0,000	11,450	0,000	User Spec
2	Engine	1	1261,369	1261,369			-222,120	0,000	10,000	0,000	User Spec
3	Equipment	1	3086,069	3086,069			-162,830	0,000	18,030	0,000	User Spec
4	Margine	1	1037,429	1037,429			-119,950	0,000	0,000	0,000	User Spec
5	Total Lightship			21450,841			-146,125	0,000	11,758	0,000	
6	Tank №1	98,1%	8502,413	8340,809	11776,198	11552,366	-21,317	0,000	11,555	0,000	IMO A.74
7	Tank №2	99%	10242,946	10140,516	14186,905	14045,036	-42,500	0,000	11,285	0,000	IMO A.74
8	Tank №3	99%	10183,598	10081,762	14104,707	13963,659	-65,700	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
9	Tank №4	99%	10183,468	10081,635	14104,527	13963,483	-88,900	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
10	Tank №5	99%	10183,340	10081,505	14104,348	13963,304	-112,100	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
11	Tank №6	99%	10183,214	10081,383	14104,175	13963,135	-135,300	0,000	11,231	0,000	IMO A.74
12	Tank №7	100%	10183,078	10183,078	14103,986	14103,986	-158,500	0,000	11,324	0,000	IMO A.74
13	Tank №8	100%	10209,316	10209,316	14140,327	14140,327	-181,730	0,000	11,324	0,000	IMO A.74
14	Slop Tank	0%	3133,907	0,000	4340,592	0,000	-196,930	0,000	2,000	0,000	IMO A.74
15	Total Cargo	95,42%	83005,281	79200,004	114965,763	109695,296	-102,663	0,000	11,296	0,000	
16	Double Bottom Tank №1	0%	1114,838	0,000	1327,188	0,000	-13,512	0,000	0,000	0,000	IMO A.74
17	Double Bottom Tank №2	0%	1535,206	0,000	1827,626	0,000	-42,609	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
18	Double Bottom Tank №3	0%	1544,720	0,000	1838,952	0,000	-65,700	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
19	Double Bottom Tank №4	0%	1544,658	0,000	1838,879	0,000	-82,387	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
20	Double Bottom Tank №5	0%	1544,640	0,000	1838,857	0,000	-111,626	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
21	Double Bottom Tank №6	0%	1544,694	0,000	1838,921	0,000	-142,147	0,000	0,001	0,000	IMO A.74
22	Double Bottom Tank №7	39,87%	1541,328	614,530	1834,914	731,584	-158,458	0,000	0,415	104478,465	IMO A.74
23	Double Bottom Tank №8	98%	1384,689	1337,396	1624,630	1592,138	-181,196	0,000	1,048	0,000	IMO A.74
24	Double Bottom Slop Tank	98%	306,263	300,137	364,598	357,306	-196,770	0,000	1,174	0,000	IMO A.74
25	Double Bottom Engine Room	98%	488,711	478,937	581,799	570,163	-210,463	0,000	1,163	0,000	IMO A.74
26	Total Fuel	21,8%	12529,746	2731,000	14916,365	3251,190	-182,924	0,000	0,940	104478,465	
27	Forepeak	0%	6625,039	0,000	6463,452	0,000	-10,403	0,000	0,000	0,000	Maximum
28	Double Side Tank №1 Port Si	0%	1527,809	0,000	1490,545	0,000	-22,745	-17,227	2,000	0,000	Maximum
29	Double Side Tank №1 StarBo	0%	1527,809	0,000	1490,545	0,000	-22,745	17,227	2,000	0,000	Maximum
30	Double Side Tank №2 Port Si	0%	1769,545	0,000	1726,385	0,000	-42,625	-18,262	2,000	0,000	Maximum
31	Double Side Tank №2 StarBo	0%	1769,545	0,000	1726,385	0,000	-42,625	18,262	2,000	0,000	Maximum
32	Double Side Tank №3 Port Si	0%	1760,743	0,000	1717,798	0,000	-65,699	-18,286	2,000	0,000	Maximum
33	Double Side Tank №3 StarBo	0%	1760,743	0,000	1717,798	0,000	-65,699	18,286	2,000	0,000	Maximum
34	Double Side Tank №4 Port Si	0%	1760,532	0,000	1717,593	0,000	-88,899	-18,286	2,000	0,000	Maximum
35	Double Side Tank №4 StarBo	0%	1760,533	0,000	1717,593	0,000	-88,899	18,286	2,000	0,000	Maximum
36	Double Side Tank №5 Port Si	0%	1760,333	0,000	1717,399	0,000	-112,099	-18,285	2,000	0,000	Maximum
37	Double Side Tank №5 StarBo	0%	1760,334	0,000	1717,399	0,000	-112,099	18,285	2,000	0,000	Maximum
38	Double Side Tank №6 Port Si	0%	1760,143	0,000	1717,213	0,000	-135,299	-18,284	2,000	0,000	Maximum
39	Double Side Tank №6 StarBo	0%	1760,143	0,000	1717,213	0,000	-135,299	18,284	2,000	0,000	Maximum
40	Double Side Tank №7 Port Si	0%	1760,465	0,000	1717,527	0,000	-158,473	-18,282	2,000	0,000	Maximum
41	Double Side Tank №7 StarBo	0%	1760,465	0,000	1717,527	0,000	-158,473	18,282	2,000	0,000	Maximum
42	Double Side Tank №8 Port Si	0%	1739,785	0,000	1697,351	0,000	-180,650	-17,929	2,000	0,000	Maximum
43	Double Side Tank №8 StarBo	0%	1739,785	0,000	1697,351	0,000	-180,650	17,929	2,000	0,000	Maximum
44	Double Side Slop Tank Port	0%	501,282	0,000	489,055	0,000	-196,365	-17,092	2,000	0,000	Maximum
45	Double Side Slop Tank StarB	0%	501,282	0,000	489,055	0,000	-196,365	17,092	2,000	0,000	Maximum
46	Aftpeak	0%	6240,013	0,000	6240,013	0,000	-228,239	0,000	0,001	0,000	Maximum
47	Total Ballast	0%	41546,327	0,000	40685,197	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
48	Supply	1	361,000	361,000			-227,510	0,000	17,600	0,000	User Spec
49	Total Supply			361,000			-227,510	0,000	17,600	0,000	
50	Total Loadcase			103742,845	170567,325	112946,486	-114,197	0,000	11,141	104478,465	
51	FS correction								1,007		
52	VCG fluid								12,148		

Таблиця 1.6.2. – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса P , т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{L} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{H} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем ($\Delta_{пор}$)	21451	-26,175	11,758	-561479,9	252220,9
2	Вантаж	79200	17,287	11,296	1369130,4	894643,2
3	Постачання	361	-107,56	17,600	-38936,7	6353,6
4	Паливо	2731	-62,974	0,940	-171982	2567,1
Дедвейт (DW)		82292	14,076	10,979	1158342,2	903563,9
Водотоннажність повна (Δ_2)		103743	5,753	11,141	596833,5	1155800,8

Удиферентування проєкту виконується у середовищі Maxsurf Stability для повного вантажу: І стан навантаження 100% вантажу, 100% запасів, 0 % баласту. На рис 1.6.1., представлена візуалізація посадки судна, а у табл. 1.7.3. – параметри посадки. За допомогою Loadcase перевіряємо посадку судна (табл.1.6.3.).

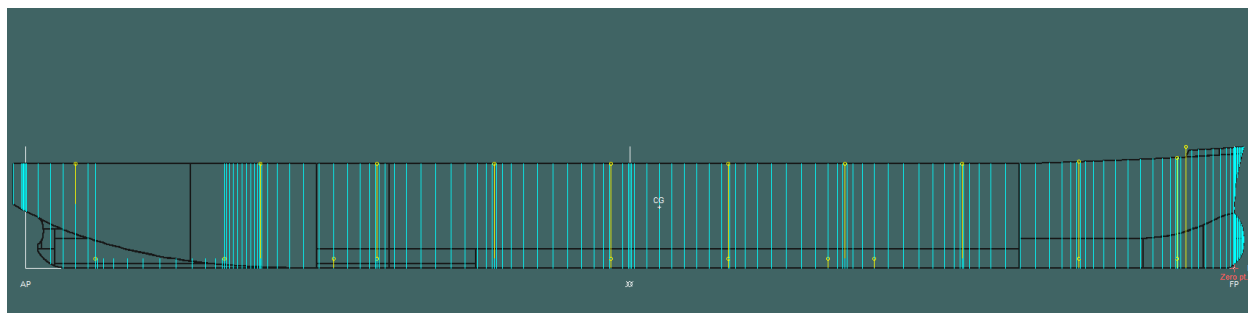


Рисунок 1.6.1. – Удиферентоване судно-проект у повному вантажі

Таблиця 1.6.3. – Посадка судна

Осадка розрахункова (на міделі), м	11,694
Водотоннажність вагове, т	103743
Крен на правий борт, град	0
Осадка носом (на носовому перпендикулярі), м	11,694
Осадка кормою (на кормовому перпендикулярі), м	11,694
Осадка в центрі ваги площі ватерлінії, м	11,694
Диферент (позитивний на корму), м	0
Довжина ватерлінії, м	240,6
Ширина ватерлінії, м	40,6
Площа змоченої поверхні, м ²	14003,1
Площа ватерлінії, м ²	9256,25
Коефіцієнт поздовжньої гостроти	0,891
Коефіцієнт загальної повноти	0,886
Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута	0,997
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії	0,948
Відстань ЦВ судна від міделя (абсциса центру величини (позитивна в ніс)), м	5,753
Відстань ЦТ площі ватерлінії від міделя (абсциса центру ваги площі ватерлінії), м	–0,14
Апліката центру величини, м	6,039
Піднесення ЦТ судна на ОЛ (апліката центру ваги), м	12,148
Поперечний метацентричної радіус, м	11,892
Поздовжній метацентричної радіус, м	401,605
Поперечна метацентрична висота, м	5,784
Поздовжня метацентрична висота, м	395,496

Продовження табл. 1.3.1.1.

Піднесення поперечного метацентра над ОЛ (апліката поперечного метацентра), м	17,932
Піднесення поздовжнього метацентра над ОЛ (апліката поздовжнього метацентра), м	407,644
Число тон на 1 см опади, т / см	94,877
Момент, диферент на 1 см, т м / см	1710,29
Момент, що кренить на 1 градус, т м / град	10472,1
Максимальний нахил палуби, град	0
Кут диферента (позитивний на корму), град	0

Таким чином $x_c = 5,753$; $x_g = 5,753$.

Згідно даним табл.1.7.3 розрахунковий стан має такі характеристики:

$T_n = 11,694$ – осадка носом, м;

$T_k = 11,694$ – осадка кормою, м;

$\Delta T = 0,0$ – диферент, м;

Для удиферентування потрібно виконання наступних умов:

Диферент не повинен перебільшувати $\Delta T \leq (0,006...0,008)L$ – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води:

$\Delta T \leq (0,006...0,008)L = 0,008 \cdot 239,9 = 1,919$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0 \text{ м} \leq 1,919$ м, умова задовольняє;

$T_n \geq \frac{L}{40} = \frac{239,9}{40} = 5,998$ м – умова відсутності слемінгу: $11,694 > 5,998$, умова задовольняє;

$T_k \geq d_{гв}, d_{гв} = 0,7 \cdot d = 0,7 \cdot 11,7 = 8,19$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $11,694 > 8,19$ – умова задовольняє.

$T_k \geq T_n$ – умова забезпечення морехідних якостей: $11,694 \geq 11,694$ – умова задовольняє.

1.7. Креслення загального розташування

Креслення будуємо у тому ж масштабі, що й теоретичне креслення в середовищі AutoCAD з дотриманням всіх його характеристик (табл.1.7.1.).

На проекції «Вид бік» розташовуємо поперечні перебірки, друге дно, розміщуємо надбудову, леєрну огорожу, суднові пристрої, навігаційні та ходові вогні, усі двері, трапи, ілюмінатори, габаритні обриси головного двигуна, осі валопроводу, рушій.

На проекції «Верхня палуба», засоби комунікацій, поперечні перебірки та розташовуємо в носовій та кормовій кінцівках якірно-швартовний пристрій.

Редагуємо його та оформлюється відповідності до єдиної системи конструкторської документації (далі в дипломній роботі – ЄСКД) (рис.1.7.1.).

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		34

Таблиця 1.7.1. – Основні характеристики судна

№	Найменування	Розмірність	Позначення	Значення
1	Довжина найбільша	м	L_{OA}	244,13
2	Довжина між перпендикулярами	м	L	239,9
3	Ширина	м	B	40,32
4	Висота борту	м	D	20,31
5	Осадка	м	d	11,7
6	Дедвейт по проєктній осадці	т	DW	82292
7	Вантажопідйомність	т	P_B	79200
8	Марка головного двигуна	MAN B&D 12L42MC		
9	Максимальна потужність	кВт	N	11940
10	Частота обертання гребного гвинта	хв^{-1}	n	176
11	Дальність плавання	милі	R	15500
12	Швидкість судна експлуатаційна	вузли	v_e	15
13	Екіпаж	осіб	—	24
14	Клас	KM★ICE4  A1		

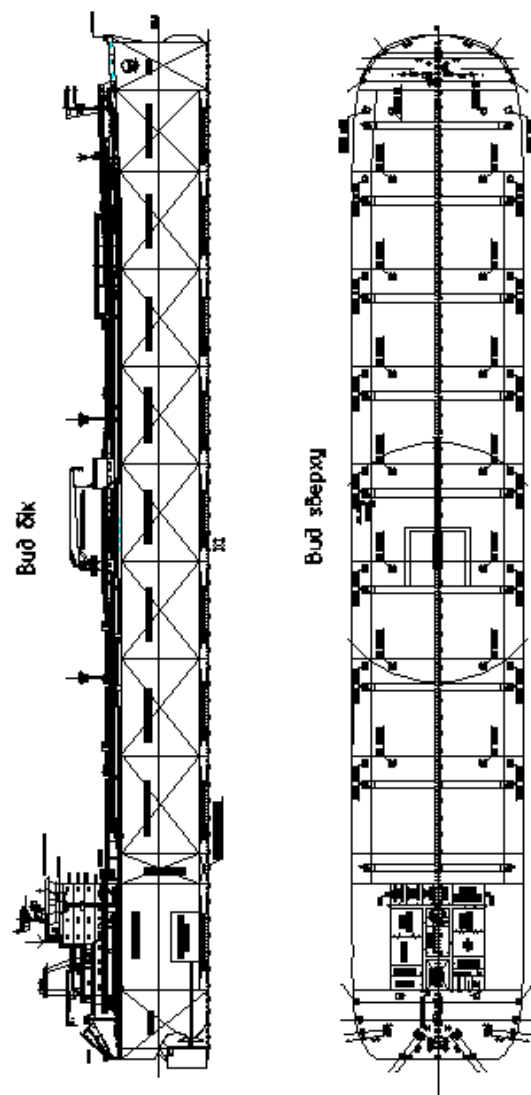
24,549,135,411,29,04[illegible][illegible]

Рис. 1.7.1. – Креслення загального розташування танкеру

Изм.	Лист	№ док-м	Підпис	Дата

Висновок

Отже, таким чином $x_c = 5,753$; $x_g = 5,753$, тому проєкт у повному вантажі удиферентовано.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.1.	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.2								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Студент		Шведов А. О.			Перевірка морехідних якостей судна.			Літ.		Арк.		Аркушів	
Консультант		Пашенко Ю. М.								38		19	
Керівник		Пашенко Ю. М.						НУК ім. адм. Макарова					
Зав.каф		Некрасов В. О.											

2. Перевірка морехідних якостей судна

2.1. Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості та початкової остійності

Для побудови теоретичного креслення і розрахунку елементів початкової остійності використовується програмний комплекс Maxsurf.

3D модель (рис.2.1.1.) і теоретичне креслення будуємо в середовищах Maxsurf Modeler і AutoCAD за допомогою афінного перетворення поверхні корпусу прототипу.

Далі виконується експорт проєкцій з програми Maxsurf Stability Enterprise у середовище AutoCAD. Редагуємо його та оформлюється відповідності до ЄСКД (рис.2.1.2.).

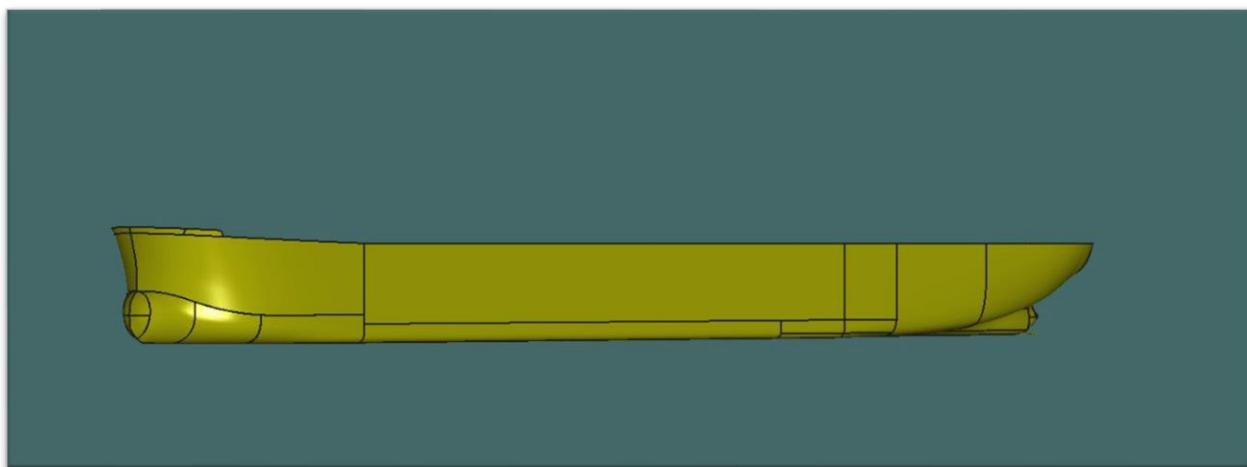


Рис.2.1.1. – Тривимірна модель танкера

2.2. Розрахунок та побудова гідростатичних кривих

Усі характеристики плавучості та початкової остійності судна у прямому положенні можуть бути уявлені у вигляді сукупності кривих, які називаються діаграмою плавучості та початкової остійності або кривими елементів теоретичного креслення.

«Криві елементів теоретичного креслення» – креслення, що показує залежність значень коефіцієнтів повноти, площі ватерлінії, абсциси центра ваги площі ватерлінії, абсциси центра величини, вагової та об'ємної водотоннажності, аплікати центру величини, поздовжнього та поперечного метацентричних радіусів, поздовжнього та поперечного моментів інерції площі ватерлінії, аплікати поперечного та поздовжнього метацентрів від осадки.

Для побудови даного креслення необхідно обчислити значення цих елементів для ряду осадок, які визначаються за наступними інтегралами [1]:

Площа ватерлінії:

$$S = 2 \int_{-L/2}^{L/2} y dx,$$

Абсциса центру ваги площі ватерлінії:

$$x_f = \frac{M_y}{S}$$

Об'ємна водотоннажність:

$$V = \int_0^T \int_{-L/2}^{L/2} y dx dz$$

Вагова водотоннажність:

$$D = V \cdot \gamma \cdot k_{\hat{a} \div}$$

Абсциса центру величини:

$$x_c = \frac{M_{mid}}{V}$$

Апліката центру величини:

$$z_c = \frac{M_{\tilde{II}}}{V}$$

Поздовжній момент інерції площі ватерлінії:

$$I_y = 2 \int_{-L/2}^{L/2} x^2 y dx$$

Поперечний момент інерції площі ватерлінії:

$$I_x = \frac{2}{3} \int_{-L/2}^{L/2} y^3 dx$$

Поздовжній метацентричний радіус:

$$R = \frac{I_f}{V}$$

Поперечний метацентричний радіус:

$$r = \frac{I_x}{V}$$

Коефіцієнт повноти площі ватерлінії:

$$C_{WP} = \frac{S}{2L_i y_{max}}$$

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту:

$$C_m = \frac{\omega_{10}}{2y_{\max}k\Delta T}$$

Коефіцієнт загальної повноти:

$$C_B = \frac{V}{2yi_{\max}}.$$

Розрахунок виконується за допомогою програмного комплексу Maxsurf Stability Enterprise. Розраховуємо криві плавучості і початкової стійкості (рис.2.2.1.).

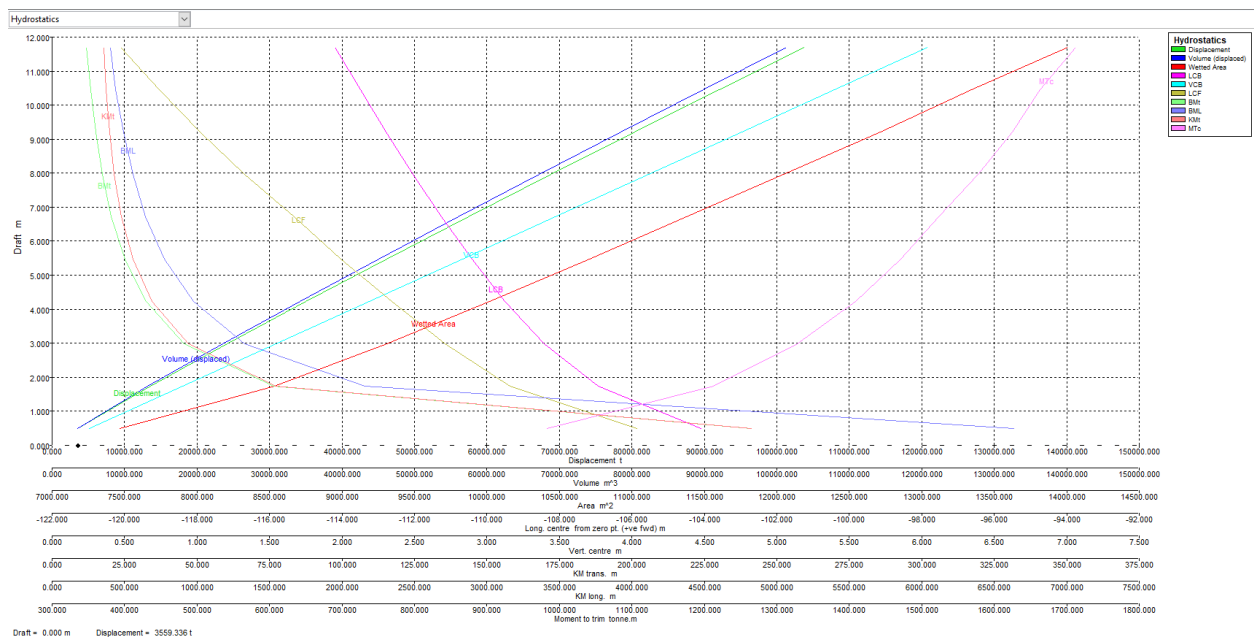


Рис.2.2.1. – Гідростатичні криві в програмного комплексу Maxsurf Stability Enterprise.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

24.БДР.135.4111.29.ПЗ.2.

Лист

43

Відносять до гідростатичних кривих, ще елементи теоретичного корпусу. Тобто, окрім основних елементів плавучості і елементів остійності, вносять також і геометричні характеристики обводів корпусу судна, а саме коефіцієнти повноти форми корпусу: коефіцієнт загальної повноти, коефіцієнт повноти площі вантажної ватерлінії, коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту (рис.2.2.2.).

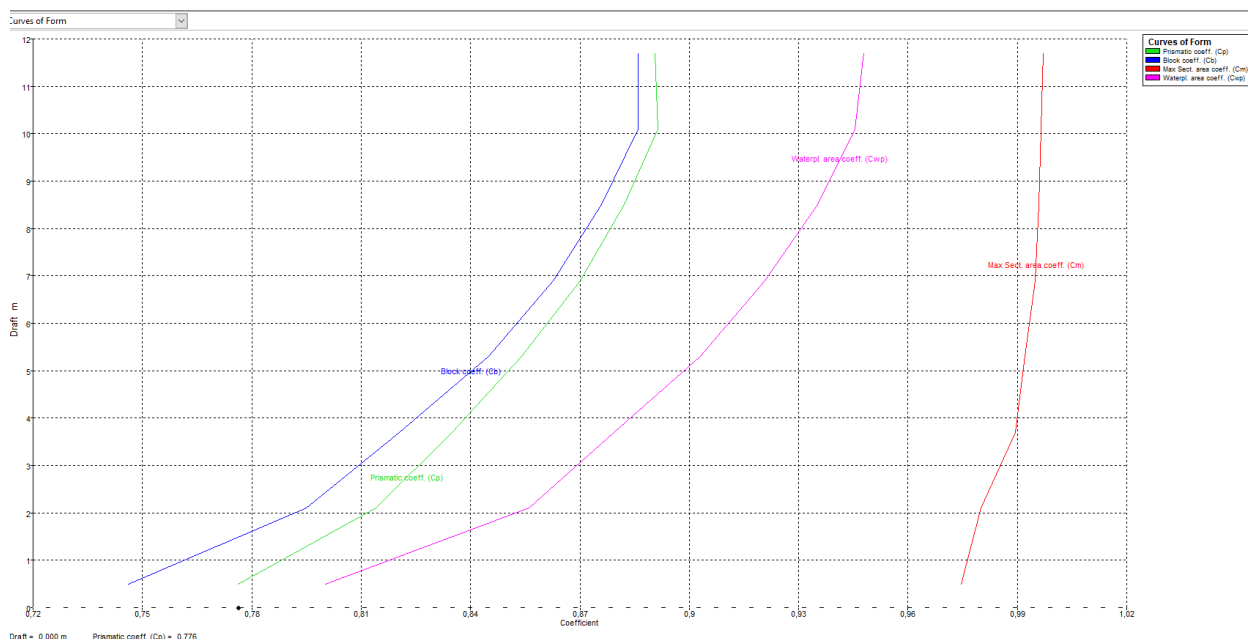


Рис.2.2.2. – Коефіцієнти повноти в програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise

Далі виконується експорт результати з програми Maxsurf Stability Enterprise у середовище AutoCAD. Редагуємо його та оформлюється відповідності до ЄСКД (рис.2.2.3.).

2.3. Перевірка вимог Правил Регістру судноплавства України до остійності проєкту

2.3.1. Розрахунок амплітуди хитавиці

Перевірка остійності здійснюється для 1-го стану завантаження проєкту. Використовуючи Maxsurf Stability Enterprise визначаємо плече статичної остійності.

За даними креслення загального розташування вимірюємо площу парусності, та замірюємо значення аплікати центру парусності.

Амплітуда хитавиці розраховується за формулою:

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S},$$

де K – коефіцієнт, що враховує вплив скулових кілів, приймаємо $K = 1$;

X_1 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від відношення ширини до осадки B/d , приймаємо $X_1 = 0,918$;

X_2 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від коефіцієнта загальної повноти C_b , приймаємо $X_2 = 1$;

Таблиця 2.1.5.1-1 Множник X_1

B/d	$\leq 2,4$	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	$\geq 3,5$
X_1	1,00	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,80

Таблиця 2.1.5.1-2 Множник X_2

C_b	$\leq 0,45$	0,50	0,55	0,60	0,65	$\geq 0,70$
X_2	0,75	0,82	0,89	0,95	0,97	1,00

Рис.2.2.1.1. – Визначення безрозмірних множників.

Таблиця 2.1.5.1-3 Множник S

Район плавання судна	T, c									
	≤ 5	6	7	8	10	12	14	16	18	≥ 20
Необмежений (включаючи район А)	0,100	0,100	0,098	0,093	0,079	0,065	0,053	0,044	0,038	0,035
Обмежений R1, R2, R2-RSN, R3-RSN, A-R1, A-R2, A-R2-RSN, B-R3-RSN, C-R3-RSN	0,100	0,093	0,083	0,073	0,053	0,040	0,035	0,035	0,035	0,035

Рис.2.3.1.2. – Визначення безрозмірного множника

$r = 0,73 + 0,6(z_g - d)/d$ – параметр, не повинен братися більше 1;

S – безрозмірний множник, який залежить від району плавання судна і періоду хитавиці, який розраховується за формулою, да знаходиться шляхом лінійної інтерполяції (рис. 2.3.):

$$\tau = \frac{2cB}{\sqrt{h}},$$

де $c = 0,373 + 0,023B/d - 0,043L_{wl}/100$;

$h = 5,784$ м – виправлена метацентрична висота, м;

L_{wl} – довжина судна по ватерлінії.

Проводимо розрахунки амплітуди хитавиці:

$$K = 1;$$

$$X_1 = 0,918, \left(\frac{B}{d} = \frac{40,32}{11,7} \approx 3,45 \right);$$

$$X_2 = 1 \text{ (т. к. } C_b = 0,886);$$

$$r = 0,73 + \frac{0,6(z_g - d)}{d} = 0,73 + \frac{0,6(12,148 - 11,7)}{11,7} = 0,753;$$

$$C = 0,373 + 0,023 \frac{B}{d} - 0,043 \frac{L}{100} = 0,373 + 0,023 \frac{40,32}{11,7} - 0,043 \frac{240,52}{100} \approx 0,3488;$$

$$\tau = 2 \cdot \frac{C \cdot B}{\sqrt{h}} = 2 \cdot \frac{0,3488 \cdot 40,32}{\sqrt{5,784}} \approx 11,7 \text{ сек};$$

$$S = 0,079 + (11,7 - 10) \cdot \frac{0,065 - 0,079}{12 - 10} \approx 0,067;$$

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 1 \cdot 0,918 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,753 \cdot 0,067} \approx 22,47^\circ$$

2.3.2. Розрахунок кренувального моменту від тиску вітру (а) і перекидального моменту (b)

$A_v = \sum S_i = 2693,6 \text{ м}^2$ площа парусності.

$Z_B = 18,709$.

$Z_v = Z_B - \frac{d}{2} = 18,709 - \frac{11,7}{2} = 12,859 \text{ м}$ – плече парусності, яке приймається рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності A_v , до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП.

Тому тиск вітру $P_v = 504 \text{ Па}$,

$D = 103743 \text{ т}$ – водотоннажність,

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



Рис. 2.3.2.1. – Схема визначення площі парусності

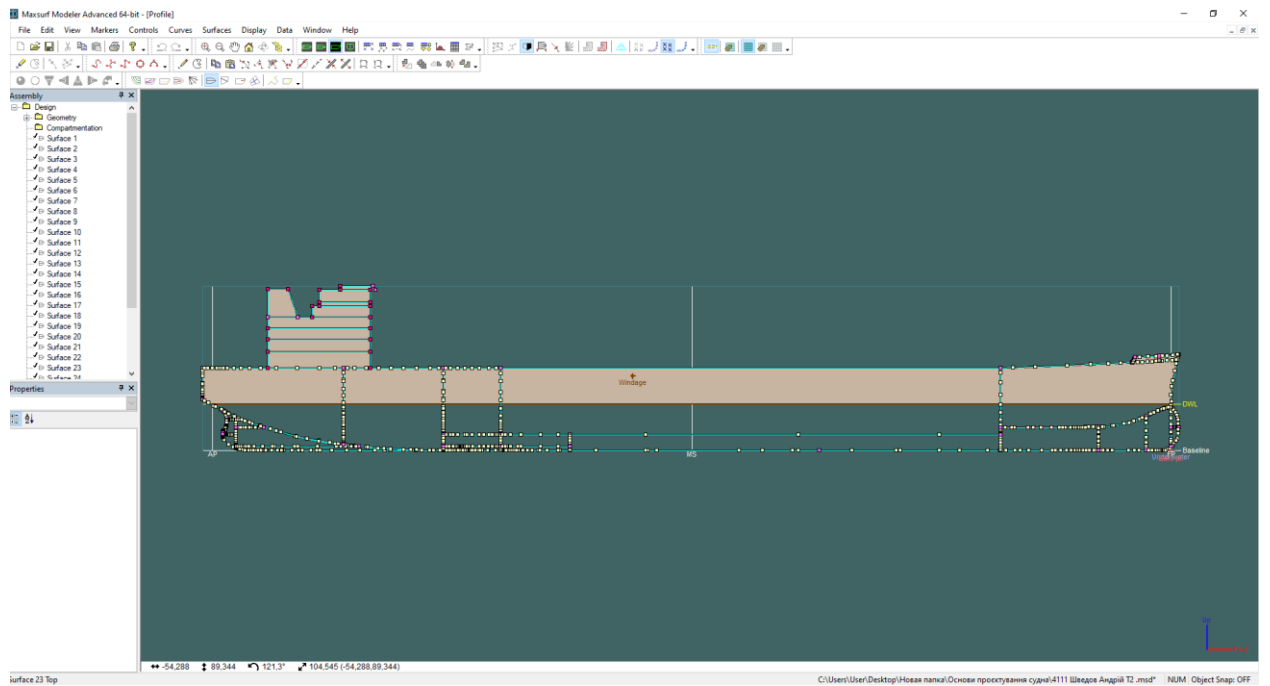


Рис. 2.3.2.2. – Визначення площі парусності в «Maxsurf»

Таблиця 2.3.2.1. – Визначення сумарного моменту

№ елементів	1	2	3	4	5	6	7
Площа $S_i, \text{м}^2$	2209,77	13,932	103,68	78,080	71,68	71,68	40,32
$z_i, \text{м}$	16,27	22,969	22,673	26,223	29,148	31,948	34,748
Момент $S_i \cdot z_i, \text{м}^3$	35953,98	320	2350,737	2047,49	2090,045	2290,03	1401,04

Продовження таблиці 2.3.2.1.

№ елементів	8	9	10	11	Сума
Площа $S_i, \text{м}^2$	12,6	37,8	9,433	44,625	2693,6
$z_i, \text{м}$	36,648	38,648	40,691	36,624	18,709
Момент $S_i \cdot z_i, \text{м}^3$	461,765	1460,89	383,838	1634,35	50394,56

Таблиця з ординатами з діаграми статичної остійності визначається в табличній формі в програмі «Maxsurf» (рис. 2.3.2.3.).

	Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0
1	GZ m	-3,966	-2,511	-1,139	0,000	1,139	2,511	3,966	4,357	3,932	3,099	2,037	0,849	-0,390	-1,617	-2,766
2	Area under GZ curve f	0,9778	0,4128	0,0970	0,0000	0,0975	0,4111	0,9841	1,7267	2,4581	3,0759	3,5265	3,7796	3,8200	3,6441	3,2608
3	Displacement t	103742	103743	103743	103743	103743	103748	103743	103743	103743	103743	103743	103748	103743	103740	103737
4	Draft at FP m	12,085	11,790	11,712	11,690	11,713	11,792	12,085	12,840	13,872	15,438	18,331	26,537	n/a	5,255	-2,881
5	Draft at AP m	11,126	11,440	11,640	11,699	11,640	11,439	11,126	11,013	10,909	10,800	10,750	10,932	n/a	-9,892	-10,236
6	WL Length m	242,323	242,321	241,422	240,515	241,421	242,321	242,323	242,324	242,769	243,675	244,043	244,135	243,974	243,872	244,044
7	Beam max extents on	40,763	43,244	41,227	40,600	41,227	43,244	40,763	33,315	29,094	26,524	24,795	23,719	23,501	24,002	25,118
8	Wetted Area m ²	14589,2	14041,0	14017,0	14003,3	14017,0	14041,3	14589,3	14836,1	14894,9	14930,7	14934,0	14912,6	14924,4	14941,1	14939,8
9	Waterpl. Area m ²	9183,73	9820,83	9395,45	9256,53	9395,43	9820,78	9183,70	7409,04	6275,89	5611,28	5233,81	5048,37	4985,76	5051,97	5247,26
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,879	0,881	0,887	0,891	0,887	0,881	0,879	0,878	0,875	0,871	0,869	0,869	0,869	0,869	0,867
11	Block coeff. (Cb)	0,520	0,557	0,692	0,886	0,692	0,557	0,520	0,575	0,615	0,648	0,688	0,735	0,775	0,713	0,659
12	LCB from zero pt. (+ve)	-114,17	-114,19	-114,19	-114,19	-114,19	-114,19	-114,17	-114,15	-114,13	-114,11	-114,10	-114,09	-114,09	-114,10	-114,10
13	LCF from zero pt. (+ve)	-117,78	-119,45	-120,04	-120,10	-120,04	-119,45	-117,78	-116,53	-116,03	-116,43	-117,27	-118,13	-118,29	-118,25	-117,64
14	Max deck inclination de	30,0006	20,0001	10,0000	0,0020	10,0000	20,0001	30,0006	40,0012	50,0015	60,0015	70,0012	80,0006	90,0000	99,9994	109,998
15	Trim angle (+ve by ster	-0,2289	-0,0837	-0,0173	0,0020	-0,0175	-0,0841	-0,2289	-0,4365	-0,7076	-1,1076	-1,8102	-3,7216	-90,0000	-3,6128	-1,7560

Рис. 2.3.2.3. – Таблиця з ординатами з діаграми статичної остійності

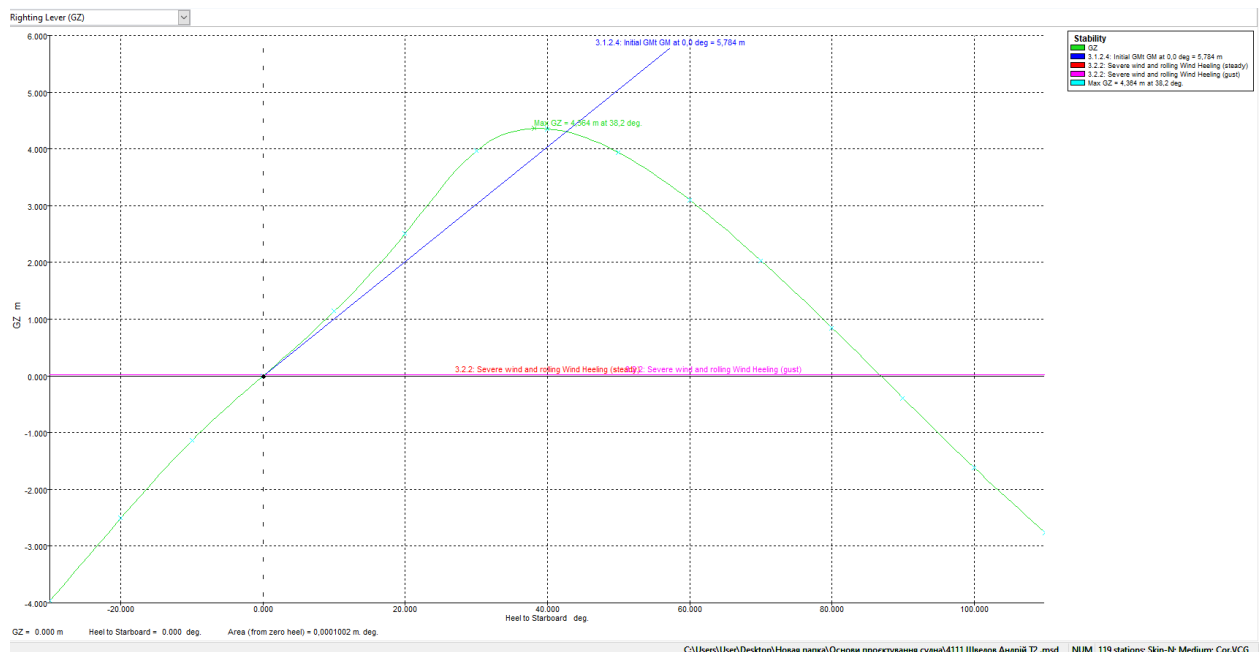


Рис. 2.3.2.4. – Діаграма остійності в «Maxsurf»

$$l_{w1} = \frac{P_v \cdot A \cdot Z_v}{1000 \cdot g \cdot D} = \frac{504 \cdot 2693,6 \cdot 12,859}{1000 \cdot 9,81 \cdot 103743} = 0,0171 \text{ м.}$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} = 1,5 \cdot 0,0171 = 0,0256 \text{ м.}$$

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

24.БДР.135.4111.29.ПЗ.2.

Лист

51

Таблиця 2.3.2.2. – Знаходження критеріїв в програмі «Maxsurf»

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	86,9	deg			
7		shall not be less than ($\geq$)	0,0550	m.rad	0,9841	Pass	+1689,17
8							
9	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
10		from the greater of					
11		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
12		to the lesser of					
13		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
14		first downflooding angle	n/a	deg			
15		angle of vanishing stability	86,9	deg			
16		shall not be less than ($\geq$)	0,0900	m.rad	1,7267	Pass	+1818,57
17							
18	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
19		from the greater of					
20		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
21		to the lesser of					
22		spec. heel angle	40,0	deg	40,0		
23		first downflooding angle	n/a	deg			
24		angle of vanishing stability	86,9	deg			
25		shall not be less than ($\geq$)	0,0300	m.rad	0,7427	Pass	+2375,46
26							
27	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
28		in the range from the greater of					
29		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
30		to the lesser of					
31		spec. heel angle	90,0	deg			
32		angle of max. GZ	38,2	deg	38,2		
33		shall not be less than ($\geq$)	0,200	m	4,364	Pass	+2082,00
34		Intermediate values					
35		angle at which this GZ occurs		deg	38,2		
36							
37	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
38		shall not be less than ($\geq$)	25,0	deg	38,2	Pass	+52,73
39							
40	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
41		spec. heel angle	0,0	deg			
42		shall not be less than ($\geq$)	0,150	m	5,784	Pass	+3756,00
43							
44	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
45		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$					
46		constant: a =	0,99966				
47		wind pressure: P =	504,0	Pa			
48		area centroid height (from zero point): h =	12,859	m			
49		total area: A =	2693,600	m ²			
50		H = vert. centre of projected lat. u'water area	0,000	m			
51		cosine power: n =	0				

Продовження таблиці 2.3.2.2.

52		gust ratio	1,5				
53		Area2 integrated to the lesser of					
54		roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25,0 (-24,8)	deg	-24,8		
55		Area 1 upper integration range, to the lesser of:					
56		spec. heel angle	50,0	deg	50,0		
57		first downflooding angle	n/a	deg			
58		angle of vanishing stability (with gust heel arm)	86,7	deg			
59		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
60		angle of max. GZ	38,2	deg	38,2		
61		Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdgelm				
62		Criteria:				Pass	
63		Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	0,2	Pass	+99,02
64		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall	80,00	%	0,67	Pass	+99,16
65		Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	365,79	Pass	+265,79
66		Intermediate values					
67		Heel arm amplitude		m	0,017		
68		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0,2		
69		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0,2		
70		Deck edge immersion angle		deg	23,6		
71		Area1 (under GZ), from 0,2 to 50,0 deg.		m.rad	2,4581		
72		Area1 (under HA), from 0,2 to 50,0 deg.		m.rad	0,0223		
73		Area1, from 0,2 to 50,0 deg.		m.rad	2,4357		
74		Area2 (under GZ), from -24,8 to 0,2 deg.		m.rad	-0,6546		
75		Area2 (under HA), from -24,8 to 0,2 deg.		m.rad	0,0113		
76		Area2, from -24,8 to 0,2 deg.		m.rad	0,6659		
77							

2.2.3. Розрахунок критерія погоди

Остійність судна за критерієм погоди, вважається достатньою, якщо площа b дорівнює або більша площі a , тобто $K \geq 1$. Де площа b обмежена кривою відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає кренувальному плечу і кутом крену.

Порахований критерій погоди:

$$K = \frac{b}{a} = \frac{2,4357}{0,6659} \approx 3,66 \geq 1$$

Відповідність вимогам Правил Регістру судноплавства України до остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria (табл.2.3.3.1.).

Таблиця 2.3.3.1. – Порівняння критеріїв

Критерій	Дійсне значення	Вимога Регістру
K	3,66	$K \geq 1$
l_{max} , м	4,364	$l_{max} \geq 0,2$
θ_{max} , град	38,2	$\theta_{max} \geq 30$
$\theta_{зак}$, град	87,175	$\theta_{зак} \geq 60$
h , м	5,784	$h \geq 0,15$
S_{30} , м · рад	0,9841	$S_{30} \geq 0,055$
S_{40} , м · рад	1,7267	$S_{40} \geq 0,09$
S_{30-40} , м · рад	0,7427	$S_{30-40} \geq 0,03$

Далі виконується експорт, діаграми статичної остійності з програми Maxsurf Stability Enterprise у середовище AutoCAD. Редагуємо його та оформлюється відповідності до ЄСКД (рис.2.3.3.1.).

24.5 DP.135.411.29.03

1. Розрачунок оптимізації кінцевої

Geological Notes

三、

המחיר הנמוך ביותר הוא 2.50 ש"ח לפרק, והמחיר הגבוה ביותר הוא 17.50 ש"ח לפרק.

1977-1978 1401-15

TX-12,442 b - 06/26/2019 14:00:00

$$P = \langle \uparrow, \overline{P} \rangle, M, Z_{\overline{P}} \models \varphi = \langle \uparrow, \overline{P} \rangle, M, Z_{\overline{P}} \models \langle \uparrow, \overline{P} \rangle, M, Z_{\overline{P}} \models \langle \uparrow, \overline{P} \rangle, \overline{P} = \langle \uparrow, \overline{P} \rangle$$
$$\begin{aligned} \mathbf{E}[\mathbf{Y}^T \mathbf{Y}] &= 40 \mathbf{I} / 2500 + 50000 \mathbf{I} = 50004.4 \mathbf{I} \\ \mathbf{E}[\mathbf{Y}^T \mathbf{X}] &= 40 \mathbf{I} / 2500 + 50000 \mathbf{I} = 50004.4 \mathbf{I} \\ \mathbf{E}[\mathbf{X}^T \mathbf{X}] &= 2 \end{aligned}$$

NOTES

$$r = 5.6857 \times 10^{-6} \text{ m} = 24.9425 \text{ \AA} = 11.7 \text{ \AA} = 1.17 \text{ nm}$$

5 = 0,059-0,011-0,015-0,079-0,12-0,017

Longitude: 92.699999 = 92.70

2. Розрахунок кривобільного моменту (а) в зале

(19) *malimaton* *sekonu* *qindason* *tu* *balijou* *noenlu*

PARADISE PART - 2 (1992) - 27

THE- 44,749 0 - 0 40114 - 257

The Zepherus is 18,744-11,512 = 12,350 = same as upper record

$P_1 = 504$ Ha [1984] system with $K_{\text{mean}} = 1.34$ (positive mean).

Ergebnis des Punktwertes – $g = 7,51$ und $h = 8$

$\mathcal{D} = \{0, 1\}^{\mathbb{N}} + \{0, 1\}^{\mathbb{N}}$

$$L_{ij} = [\partial_r, \partial_\theta, \partial_\phi, \partial_\psi]_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$\Delta_{\text{H}} = 1.54 = 1.54, 0.771 = 4.421$$

•
•
•
•
•

3. Краткий обзор

$$H = 24.8 \text{ m}$$

1177 45950 = 11

[illegible]

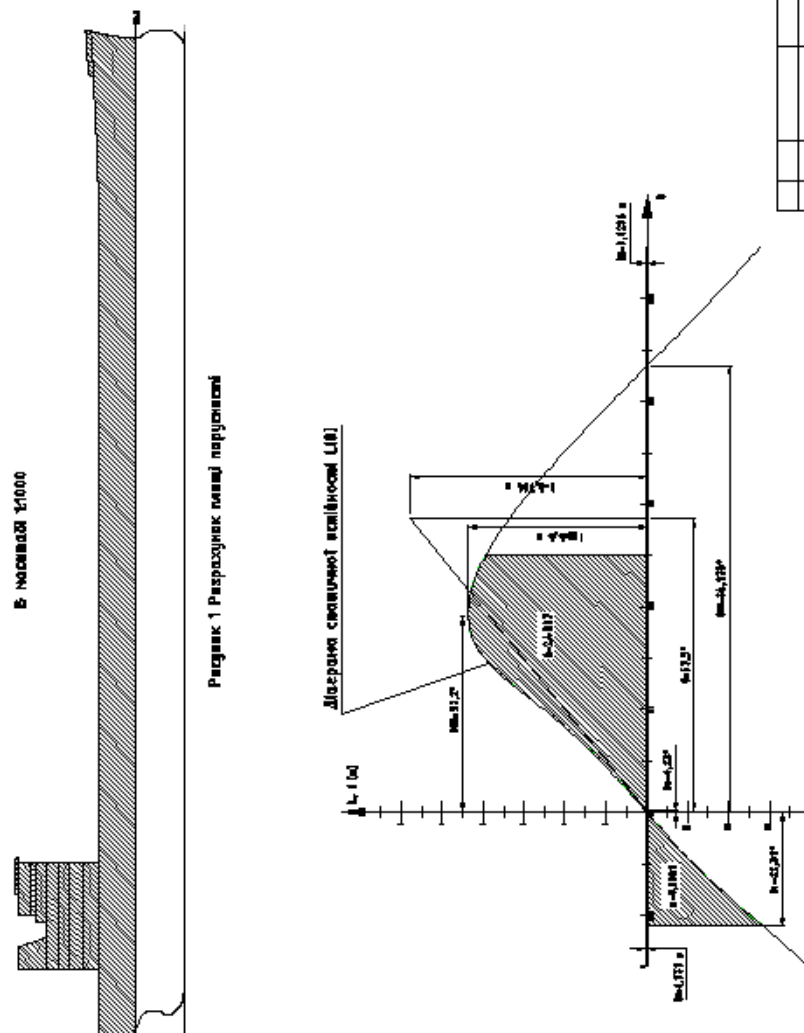
10 MTS - MATHS/SCIENCE = 40% = 8

Відомство: **Міністерство Пролетарської Революції та освіти**

Strukturformel	Empfohlene	Handlung
K ⁺	4-25	K 1
Na ⁺	2-6	Na ⁺ 0,5
Ca ²⁺	2-6	Ca ²⁺ 0,5
Mg ²⁺	2-6	Mg ²⁺ 0,5
Cl ⁻	17-21	Cl ⁻ 0,5
Br ⁻	17-21	Br ⁻ 0,5
I ⁻	17-21	I ⁻ 0,5
SO ₄ ²⁻	0,2-0,5	SO ₄ ²⁻ 0,5
NO ₃ ⁻	1,2-1,5	NO ₃ ⁻ 0,5
PO ₄ ³⁻	0,2-0,5	PO ₄ ³⁻ 0,5

Висновку Спристалине судно відновиле урід
визначен Рєдїстїру судноплавства Українї за
визначенї сплївності.

24.5ДР.135.4111.29.03

[illegible]

Рисunek 1 Розрахунок митної порценової

【017】 1990年10月10日

Висновок

Спроектоване судно відповідає всім вимогам Регістру судноплавства України за вимогами остійності.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.2.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		56

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Шведов А. О.			Набір конструктивного мідель-шпангоуту корпуса.	Літ.	Арк.
Консультант		Шарун Г. В.	Шарун				Аркушів
Керівник		Пащенко Ю. М.					
Зав.каф		Некрасов В. О.				57	83
						НУК ім. адм. Макарова	

3. Набір конструктивного мідель-шпангоуту корпусу

3.1. Загальні відомості про судно, що проєктується

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу нафтоналивного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден» Регістра на клас КМ+ICE4 $\square$ A1, нафтоналивне судно.

3.1.1. Головні розміри судна

Таблиця 3.1.1.1. – Головні розміри судна

Категорія	Позначення	Величина, м
Довжина між перпендикулярами, м	L	239,9
Ширина, м	B	40,320
Висота борту, м	D	20,310
Осадка, м	d	11,700
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,886
Коефіцієнт повноти МШ	C_M	0,995
Швидкість ходу експлуатаційна, вузли	v	15

Необхідно перевірити, щоб судно, яке проєктується, знаходилося в діапазоні суден, які розглядаються Правилами Регістра:

- відношення довжини судна до висоти борту:

$$\frac{L}{D} \leq 18, \frac{239,9}{20,31} = 11,82 \leq 18;$$

- відношення ширини судна до висоти борту:

$$\frac{B}{D} \leq 2,5, \frac{40,32}{20,31} = 1,99 \leq 2,5;$$

- відношення осадки судна до висоти борту:

$$0,55 \leq \frac{d}{D} \leq 0,8,$$

$$0,55 \leq \frac{11,7}{20,31} = 0,576 \leq 0,8;$$

- коефіцієнт загальної повноти:

$$C_B \geq 0,6,$$

$$0,886 > 0,6.$$

Відношення головних розмірів не виходить за межі діапазонів, що розглядаються Правилами Регістру.

3.1.2. Архітектурно-конструктивний тип судна

Проектоване судно є нафтоналивним, однопалубним, з кормовим розташуванням машинного відділення і житлової надбудови, з бульбовою носовою кінцевістю і транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, поперечні водонепроникні переділки. Судно з подвійним дном та подвійними бортами, з бортовими підпалубними цистернами. Судно використовується для перевезення наливних вантажів.

Схему поздовжнього перерізу корпусу з розділенням судна на відсіки дивитися рис.3.1.6.1.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		59

3.1.3. Вибір системи набору перекриттів корпусу судна

Система набору корпусу нашого судна поздовжня. Днищеві і палубні перекриття набираються за поздовжньою системою набору, як і бортові перекриття. Кінцевості корпусу наливного судна рекомендується набирати за поперечною системою, яка дозволяє краще сприймати поперечні навантаження з боку моря.

3.1.4. Вибір марки і категорії сталі

Вибір сталі залежить від ступеня відповідальності, умов роботи конструкцій та міркувань економічних факторів. Сталі підвищеної міцності рекомендується застосовувати при довжині суден більше 130 ... 140 м або при можливих температурах експлуатації нижче -20°C .

Для виготовлення елементів корпусу використовуються суднобудівні сталі категорії A, B, D, E, F з межею плинності $R_{eH} = 235$ МПа і сталі підвищеної міцності категорії A, D, E, F з межею плинності $R_{eH} = 235$ МПа.

Для виготовлення суднового корпусу використовуємо суднобудівну сталь 09Г2С, підвищеної міцності з границею плинності $R_{eH} = 315$ МПа.

Характеристика сталі наведена в табл.3.1.4.1.

Таблиця 3.1.4.1. – Характеристика суднобудівної сталі

Марка сталі	09Г2С
Границя плинності, R_{eH} , МПа	315 МПа
Коефіцієнт використання механічних властивостей, η	0,78

Продовження табл. 3.1.4.1.

Нижня границя температури, °С		–60 °С
Відносне подовження, %		18%
Приблизна вартість 1т (відносно вартості 1т сталі ВСт3сп), %		130%
Нормативна границя плинності	За нормальним напруженням, σ_n , МПа	301,3 МПа
	За дотичним напруженням, τ_n , МПа	171,7 МПа

Як розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взято нормативні границі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n напруженнями: $\sigma_n = 235/\eta = 235/0,78 \approx 301,3$ МПа, та $\tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n = 0,57 \cdot 301,3 \approx 171,7$ МПа, де η – коефіцієнт, що визначається за табл.1.2.

3.1.5. Вибір шпаций

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48,$$

де L – довжина між перпендикулярами, м;

$$a_0 = 0,002 \cdot 239,9 + 0,48 = 0,9598 \text{ м.}$$

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

Приймаємо поперечну шпацию $a_{\text{попер}} = 800$ мм.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		61

Приймаємо поздовжню шпацию $a_{\text{позд}} = 800$ мм.

У форпіку і ахтерпіку шпация повинна бути не більше 0,6 м, між перебіркою форпіка і перерізом $0,2L$ в корму від носового перпендикуляру – не більш 0,7 м.

3.1.6. Креслення поздовжнього перерізу наливного судна

Розміри вантажних трюмів наливного судна по довжині судна при проєктуванні конструкції корпусу необхідно знати для визначення розрахункової довжини основних перекриттів і прогонів балок набору.

Згідно Правил, форпікова таранна перегородка, повинна розміщуватись від носового перпендикуляру на відстані:

$$L_{\text{форпіка}} = (0,05 - 0,08)L = 0,05 \cdot 239,9 = 11,995 \text{ м.}$$

Положення перебірки ахтерпіка визначається за умови забезпечення зручності обслуговування сальника дейдвудної труби – це становить приблизно $L_{\text{ахтерпіка}} L = 0,06$ від кормового перпендикуляра:

$$L_{\text{ахтерпіка}} = 0,06 \cdot L = 0,06 \cdot 239,9 = 14,394 \text{ м.}$$

Положення носової перебірки машинного відділення визначається його довжиною від перебірки ахтерпіка. Довжина машинного відділення визначається за прототипом в залежності від довжини головного двигуна $l_{\text{гд}}$:

$$L_{MO} = \frac{\bar{L}_{MO}}{\bar{L}} \cdot L_2;$$

$$L_{MO} = \frac{\bar{L}_{MO}}{\bar{L}} \cdot L_2 = \frac{26,1}{238,0} \cdot 239,9 = 26,31 \text{ м.}$$

Решта перебірок розставляється так, щоб об'єми трюмів були приблизно рівними, за винятком носового, який повинен бути на 15...20 % меншим ніж інші. Довжина будь-якого відсіку не повинна бути більшою 30 м (рис. 3.1.6.1.).

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		62

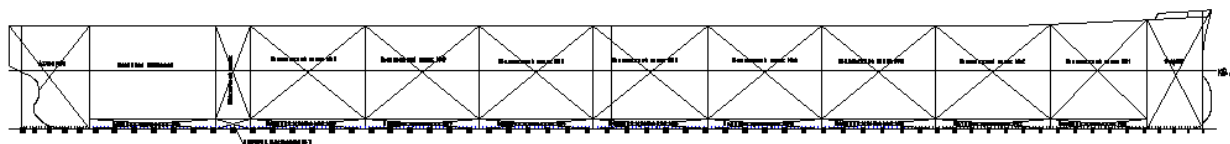


Рис. 3.1.6.1. – Схема повздовжнього перерізу корпусу судна з розділенням на відсіки

3.1.7. Креслення обводів мідель-шпангоута

Розрахунковий підйом t лінії днища і радіус R закруглення скули визначаються за формулами:

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

де d – осадка;

B – ширина судна;

C_m – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута.

$$t = 11,7 \cdot (1 - 0,995) = 0,0585 \text{ м,}$$

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}} = \sqrt{\frac{40,32 \cdot 0,0585}{0,86}} = 1,6561 \text{ м.}$$

Висота подвійного дна розраховується за формулою:

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

$$h = \frac{239,9 - 40}{570} + 0,04 \cdot 40,32 + 3,5 \cdot \frac{11,7}{239,9} \approx 2,13 \text{ м,}$$

приймаємо висоту подвійного дна $h = 2 \text{ м.}$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		63

Відстань між бортом і подвійним бортом приймаємо в 4,3 метра.

Відповідно можемо і радіус R закруглення скули прийняти відстані між днищем і подвійним дном буде дорівнювати висоті подвійного дна: $R \approx 2$ м.

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

Далі ми рахуємо розбірку шпаций по другому дну. Набір другого днища і днища буде в нашому випадку повздовжнім. Поперечна шпация $a_{\text{попер}} = 800$ мм. Ділимо на половину ширини і отримуємо кількість поперечних шпаций на один борт: $20,16/0,8 = 25,2$. Приймаємо 25 шпаций по 0,8 м (рис. 3.1.7.1.).

Стрингери в подвійному дні не повинні перевищувати 5 м, тому можемо наприклад перший стрингер розміщуємо на відстані в 5 шпаций від діаметральної площини: $0,8 \cdot 5 = 4,0$ м, другий та третій стрингер розмістимо на відповідній відстані. Від першого стрингера до відстань між бортом і подвійним бортом: відстань отримується: $20,16 - (4,0 \cdot 3) - 4,3 = 3,86$ м (рис. 3.1.7.1.).

Отже, тоді висота нашого вантажного танку буде дорівнювати: $D - h_{\text{дд}} = 20,31 - 2,0 = 18,31$ м. Тоді, цей танк може вміщувати 10081,505 т нафти.

Ширина горизонтального кіля і ширстрєка визначається за формулою:

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

$$b_k = 800 + 5 \cdot 239,9 = 1999,5 \text{ мм}.$$

Прийнято 2000 мм.

Мінімальна відстань між пазами листів і лініями зварювання поздовжніх балок повинна бути, як пишеться в методичних вказівках не менше ніж 75 мм, приймаємо горизонтальний киль, 2000 міліметрів, відстань

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		64

$b_{гк}$ (рис.3.1.7.1.), і відстань між пазом і повздовжнюю балкою буде дорівнювати 200 мм.

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.

Далі знаходимо скуловий лист. Його можна знайти за формулою:

$$c = \frac{\pi D}{4} = \frac{3,14 \cdot (2 \cdot 2)}{4} \approx 3,142 \text{ м.}$$

Тоді довжина скулового листа дорівнює скуловому листу, та добавки по 1,16 метра для кожного кінця листа: $3,142 + (0,16 \cdot 2) = 3,462 \text{ м.}$ Кількість листів обшивки днища, беремо 7 листів шириною стандартною по 2 метри і один лист залишається: $18 - 14 - 1 = 3 \text{ м.}$

Ширстрек повинен бути не менше 2,0 м. Приймаємо ширину ширстрека 2,0 м. Далі приймаємо 3 листа по 2 м, та 3 лист по 2,5 м, та 1 лист по 2,65 м. Листи обшивки подвійного борта приймаємо так 4 листа шириною по 2 м, 3 лист по 2,5 м та 1 по 2,81 м.

За отриманими даними цього розділу було побудовано креслення набору конструктивного мідель-шпангоуту корпусу судна (24.ДРБ.135.4111.29.05), дивись параграф 3.5.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		65

- для стінки суцільного флору:

$$S_{min} = 0,035 \cdot L + 5 = 0,035 \cdot 239,9 + 5 = 13,4 \text{ мм};$$

- для елементів конструкцій (балки основного набору, ребра жорсткості, книці, бракети) в середині дна:

$$S_{min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,035 \cdot 239,9 + 5 = 11,5 \text{ мм};$$

- для діафрагм і платформ подвійного борта наливного судна:

$$S_{min} = 0,018 \cdot L + 6,2 = 0,018 \cdot 239,9 + 6,2 = 10,52 \text{ мм};$$

- для обшивки водонепроникних перегородок:

$$S_{min} = 4 + 0,02 \cdot L = 4 + 0,02 \cdot 239,9 = 8,8 \text{ мм};$$

- для елементів конструкцій, які обмежують вантажні і баластні танки, а також елементи, які розташовані усередині цих танків (наливні судна):

$$S_{min} = 6,7 + 0,02 \cdot L = 6,7 + 0,02 \cdot 239,9 = 11,5 \text{ мм}.$$

При цьому мінімальна товщина балок основного набору не вимагається більше 11,5 мм; η – приймається по табл. 3.1.4.1. Мінімальні товщини визначаються з точністю до десятих міліметра і не закругляються до товщин ДСТУ. З ними порівнюються товщини конструкцій, які були визначені розрахунком по формулах Правил.

Найбільша товщина елемента конструкції, яка приймається, закругляється до цілих чисел.

3.1.9. Урахування зносу і корозії в'язей корпусу

Урахування впливу зносу і корозії на розміри в'язей корпусу ґрунтується на нормуванні міцності в середині періоду експлуатації конструкції.

Будівельна товщина, яку вимагають Правила для листових конструкцій, визначається за формулою:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		67

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

де S' – товщина листа, мм, яка відповідає середині періоду служби судна, мм;

ΔS – запас на знос і корозію, мм;

u – середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу і корозії, яке беруть відповідно до табл. 1.3, мм;

T – період служби конструкції, роки, ($T = 24$ роки). Якщо $T < 12$ років, то $\Delta S = 0$. В нашому випадку беремо експлуатації конструкції 24 роки.

Таблиця 3.1.9.1. – Середньорічне зменшення товщини в'язі

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	U , мм/рік, група I
1.1.	Настил верхньої палуби	0,20
2.1.2.	Зовнішня обшивка одинарного борту	0,19
2.3.1.	Зовнішня обшивка подвійного борту	0,21
3.2.3.	Зовнішня обшивка дна	0,20
4.1.2.	Настил другого дна у вантажному танку	0,15
4.1.4.	Настил другого дна в машинному відділенні	0,20
4.2.4.	Міждонний лист	0,22
5.1.3.	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,25
6.1.4.	Поздовжні балки палуби	0,25
6.2.4.	Рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	0,20
7.1.4.	Поздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки, горизонтальні рами перегородок	0,20

Продовження табл. 3.1.9.1.

<i>Номер пункту Правил</i>	<i>Елементи конструкції корпусу</i>	<i>U, мм/рік, група I</i>
8.2.3.	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

Таблиця 3.1.9.2. – Запас на знос і корозії нашого судна

<i>Номер пункту Правил</i>	<i>Елементи конструкції корпусу</i>	<i>ΔS</i>
1.1.	Настил верхньої палуби	2,4
2.1.2.	Зовнішня обшивка одинарного борту	2,28
2.3.1.	Зовнішня обшивка подвійного борту	2,52
3.2.3.	Зовнішня обшивка дна	2,4
4.1.2.	Настил другого дна у вантажному танку	1,8
4.1.4.	Настил другого дна в машинному відділенні	2,4
4.2.4.	Міждонний лист	2,64
5.1.3.	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	3,0
6.1.4.	Поздовжні балки палуби	3,0
6.2.4.	Рамні бімси, карлінгси палуб і платформ	2,4
7.1.4.	Поздовжні балки борту, основні і рамні шпангоути, стояки, горизонтальні рами перегородок	2,4
8.2.3.	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і другого дна у відсіках подвійного дна	2,4
9.1.	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	1,2

На цьому параграфі: «загальні відомості про судно, що проектується», завершено. Можна приступати до розрахункових навантажень на корпус проєктованого танкеру.

3.2. Розрахункові навантаження

3.2.1. Розрахункові навантаження на корпус судна

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

де z_i – відстань точок прикладання навантаження від літньої вантажної ватерлінії, м (рис 3.2.1.1.).

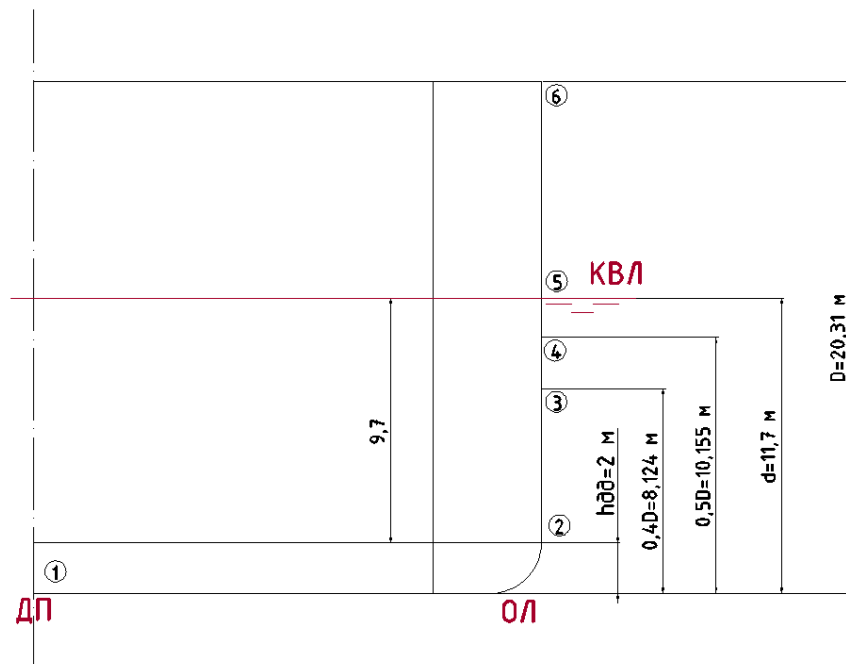


Рис. 3.2.1.1. – Схема визначення точок для розрахунку навантаження з боку моря

Найголовнішою умовою, буде розрахувати розрахунковий тиск для точок прикладання навантаження, розташованих нижче літньої вантажної ватерлінії, яка визначається за формулою:

$$P = P_w + P_{st}, \text{ кПа},$$

для точок прикладання навантаження, розташованих вище літньої вантажної ватерлінії, тільки:

$$P = P_w, \text{ кПа}.$$

Першочергово нашою дією буде, визначення хвильового тиску. Для точок прикладання навантажень, розташованих нижче ватерлінії, він визначається за формулою:

$$P_w = P_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \left(\frac{Z_i}{d}\right), \text{ кПа}.$$

Для того щоб знайти P_w потрібно знайти хвильовий тиск P_{w0} . Його можна знайти за формулою:

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

де C_w хвильовий фактор, залежить від, довжини судна. В нашому випадку скористаємося формулою, яка дійсна умові $90 < L < 300$.

Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0,6, при цьому повинно бути $a_x \geq 0,267$. Знаходимо P_{w0} :

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{\frac{3}{2}} = 10,75 - \left(\frac{300 - 239,9}{100}\right)^{\frac{3}{2}} \approx 10,04;$$

$$a_v = \frac{0,8 \cdot v_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4\right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 15 \left(\frac{239,9}{10^3} + 0,4\right)}{\sqrt{239,9}} + 1,5 \approx 1,996;$$

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L}\right) \geq 0,267 = 0,8 \cdot \left(1 - 2 \frac{71,97}{239,9}\right) \geq 0,267 = 0,32 \geq 0,267;$$

$$a_v \cdot a_x = 1,996 \cdot 0,32 \approx 0,639;$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		71

$$P_{w0} = 5 \cdot 10,04 \cdot 0,639 = 32,078 \text{ кПа},$$

де $v_0 = 15$ вуз – специфікаційна швидкість судна за вихідними даними (табл. 3.1.1.1.),

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

$x_1 = 0,3 \cdot L = 71,97$ м – відстань розглядуваного поперечного перерізу від ближнього носового перпендикуляра, м.

Далі знаходимо для кожної точки значення хвильового тиску, статичного тиску, та розрахунковий тиск для точок прикладання навантажень.

Для точки 1, коли $z_i = 11,7$ м:

$$P_w = 32,078 - 1,5 \cdot 10,04 \cdot \frac{11,7}{11,7} = 17,018 \text{ кПа};$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 11,7 = 117 \text{ кПа};$$

$$P = P_w + P_{st} = 17,018 + 117 = 134,018 \text{ кПа}.$$

Для точки 2, коли $z_i = 9,7$ м:

$$P_w = 32,078 - 1,5 \cdot 10,04 \cdot \frac{9,7}{11,7} = 19,586 \text{ кПа};$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 9,7 = 97 \text{ кПа};$$

$$P = P_w + P_{st} = 19,586 + 97 = 116,586 \text{ кПа}.$$

Для точки 3, коли $z_i = 3,576$ м:

$$P_w = 32,078 - 1,5 \cdot 10,04 \cdot \frac{3,576}{11,7} = 27,475 \text{ кПа};$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 3,576 = 35,76 \text{ кПа};$$

$$P = P_w + P_{st} = 27,475 + 35,76 = 63,235 \text{ кПа}.$$

Для точки 4, коли $z_i = 1,545$:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		72

$$P_w = 32,078 - 1,5 \cdot 10,04 \cdot \frac{1,545}{11,7} = 30,089 \text{ кПа};$$

$$P_{st} = 10 \cdot z_i = 10 \cdot 1,545 = 15,45 \text{ кПа};$$

$$P = P_w + P_{st} = 30,089 + 15,45 = 45,539 \text{ кПа}.$$

Для точки 5, коли $z_i = 0$:

$$P_w = P_{w0} = 32,078 \text{ кПа};$$

$$P_{st} = 0.$$

Відповідно зараз потрібно знайти хвильовий тиск. Для точок прикладання навантаження, який розташовано вище ватерлінії, визначається за формулою:

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i \geq P_{min} \text{ кПа};$$

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

Для точки 6, коли $z_i = 8,61$:

$$P_w = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i = 32,078 - 7,5 \cdot 0,32 \cdot 8,61 = 11,414 \text{ кПа}.$$

Для зручності, можемо занести всі значення, а саме: відстані до точок, статичний та хвильовий тиск і розрахунковий тиск у таблицю. Нище побудовано таблицю 3.2.1.1.

Таблиця 3.2.1.1. – Визначення розрахункового тиску

№ точок	Відстань до точок z_i , м	Статичний тиск P_{st} , кПа	Хвильовий тиск P_w , кПа	Розрахунковий тиск P , кПа
1	11,7	117	17,018	134,018

Продовження табл. 3.1.9.1.

№ точок	Відстань до точок z_i , м	Статичний тиск P_{st} , кПа	Хвильовий тиск P_w , кПа	Розрахунок ковий тиск P , кПа
2	9,7	97	19,586	116,586
3	3,576	35,76	27,475	63,235
4	1,545	15,45	30,089	45,539
5	0	0	32,078	32,078
6	8,61	—	11,414	11,414

Розподіл навантажень P_{st} і P_w по контуру поперечного перерізу судна показаний нижче на рис. 3.2.1.2. та рис. 3.2.1.3.

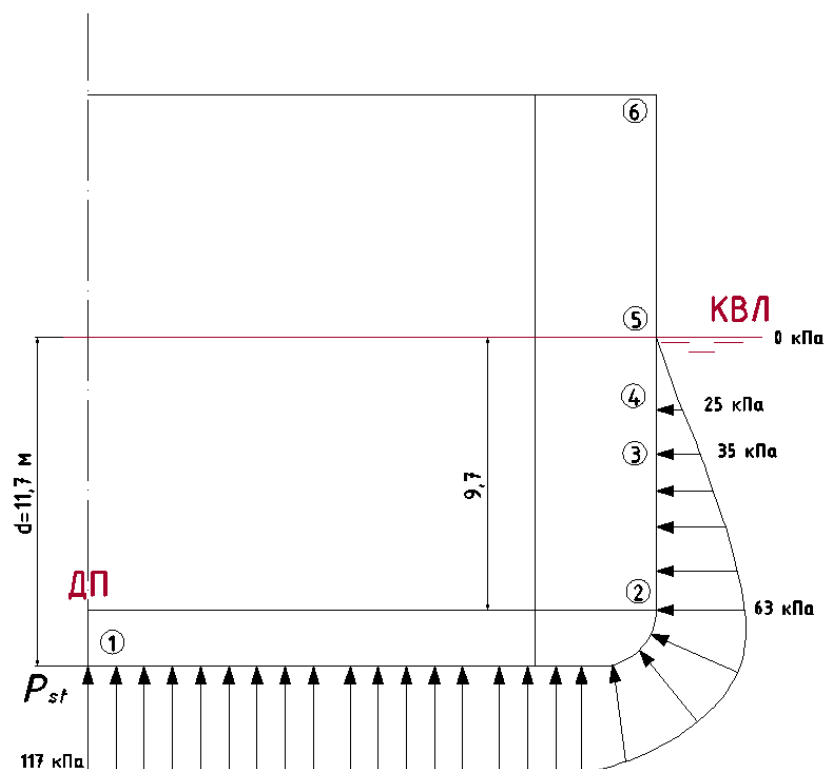


Рис. 3.2.1.2. – Схема розподілення навантаження величин статичного тиску з боку моря

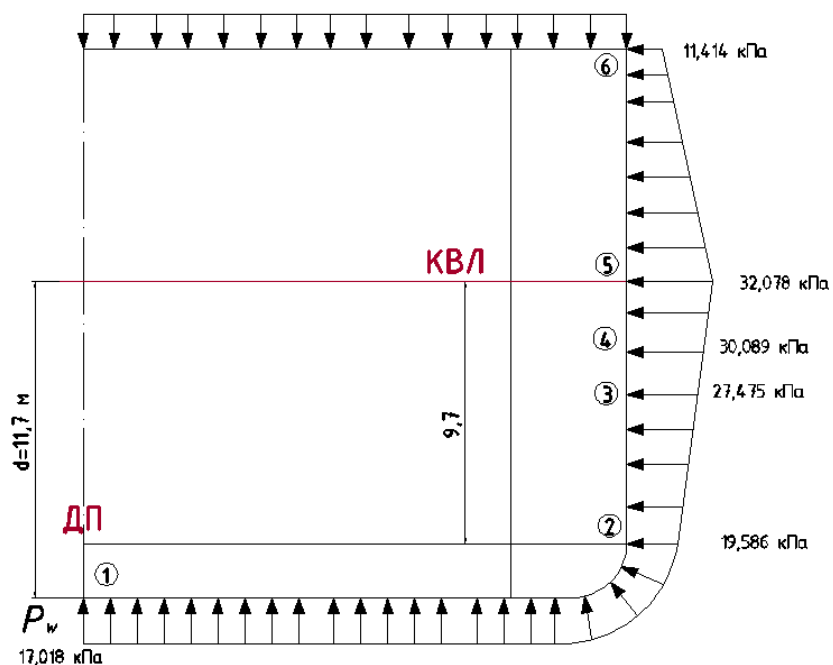


Рис. 3.2.1.3. – Схема розподілення навантаження величин хвильового тиску з боку моря

3.2.2. Навантаження, викликані вантажем, що перевозиться

Розрахунковий тиск на друге дно визначається за формулою:

$$P_{\text{вип}} = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k \text{ кПа},$$

де ρ – густина рідкого вантажу, т/м³;

$P_k = 25$ – тиск (кПа), на який відрегульовано запобіжний клапан;

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

z_i – відстань в'язі, що розглядається, від рівня палуби (даху цистерни), визначена в ДП, м.

Розрахункове прискорення, у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

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

де a_{cz} – проекція прискорення, м/с², центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці;

$a_{kz}, a_{\delta z}$ – проекції прискорень, м/с², на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кильової і бортової хитавиці.

Проекції прискорень визначаються за формулами:

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

$$a_{kz} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_k}\right) \cdot \psi \cdot x_0, \text{ м/с}^2,$$

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

де відповідно:

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

$$T_{\delta} = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}}, \text{ с};$$

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

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

де T_k, T_ϕ – періоди кильової і бортової хитавиці, с, відповідно;

ψ, θ – розрахункові кути диференту і крену, рад, відповідно;

$x_0 = 0,2 \cdot L = 47,98$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна, м;

$y_0 = B/2 = 20,16$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини, м;

$v_0 = 15,0$ вузл. – специфікаційна швидкість судна, вузли;

$c = 0,8$ – числовий коефіцієнт;

$h = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 40,32 = 2,8224$ м – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м.

Спочатку знайдемо розрахункові кути диференту і крену:

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 239,9 \cdot 10^{-2}} \approx 0,0677 \text{ рад},$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 239,9 \cdot 10^{-2}} \approx 0,27 \text{ рад}.$$

Далі знаходимо періоди кильової і бортової хитавиці:

$$T_k = \frac{0,8 \cdot \sqrt{L}}{1 + 0,4 \cdot \frac{v_0}{L} \cdot \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8 \cdot \sqrt{239,9}}{1 + 0,4 \cdot \frac{15}{239,9} \cdot \left(\frac{239,9}{10^3} + 0,4 \right)} \approx 12,195 \text{ с};$$

$$T_\phi = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 40,32}{\sqrt{2,8224}} \approx 19,2 \text{ с}.$$

Зараз коли ми дізналися значення кутів диференту і крену, періоди кильової і бортової хитавиці, може знайти проекція прискорення, центра ваги судна на вертикальну вісь у розглядуваній точці, та проекції прискорень, на вертикальну вісь у розглядуваній точці відповідно від кильової і бортової хитавиці:

$$a_{cz} = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \cdot \left(\frac{100}{239,9}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 \approx 1,466 \text{ м/с}^2,$$

$$a_{kz} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_k}\right) \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{12,195}\right) \cdot 0,0677 \cdot 47,98 \approx 1,674 \text{ м/с}^2,$$

$$a_{\delta z} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_{\delta}}\right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{19,2}\right)^2 \cdot 0,27 \cdot 20,16 = 0,583 \text{ м/с}^2.$$

Відповідно зараз потрібно знайти розрахункове прискорення у вертикальному напрямку, яке знаходиться за формулою:

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{\delta z}^2} = \sqrt{1,466^2 + 1,674^2 + 0,4 \cdot 0,583^2} = 2,255 \text{ м/с}^2.$$

Остаточного знаходимо розрахунковий тиск на друге дно від нафти за визначеною формулою:

$$P_B = \rho \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) Z_i = 0,722 \cdot 9,81 \cdot \left(1 + \frac{2,255}{9,81}\right) \cdot 18,31 = 159,497 \text{ кПа};$$

$$P_B = \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0,722 \cdot 9,81 \cdot (18,31 + 31,72 \cdot 0,27) = 190,346 \text{ кПа};$$

$$P_B = \rho \cdot g \cdot (Z_i + l \cdot \psi) = 0,722 \cdot 9,81 \cdot (18,31 + 23,02 \cdot 0,0677) \\ = 140,725 \text{ кПа};$$

$$P_B = 0,75 \cdot \rho \cdot g \cdot (Z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 0,722 \cdot 9,81 \cdot (18,31 + 2,5) \\ = 110,545 \text{ кПа},$$

де $\Delta z = 2,5$ м – висота повітряної труби над палубою;

$l = 23,02$ та $b = 31,72$ – довжина та ширина танку, м.

Що задовольняє нашої умові. Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

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

Де $Z_i = D - h_{\text{вк}} = 20,31 - 2 = 18,31$ м.

Маємо, тоді: $P_{\text{вин}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1,5) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (18,31 + 1,5) = 199,194, \text{ кПа}.$

Розподіл навантажень: статичного, який викликаний вантажем, що перевозиться; розрахунковий тиск на друге дно від нафти та від

випробувального напору по контуру поперечного перерізу судна завершено.

3.3. Загальна поздовжня міцність судна

Для розрахунку загальної поздовжньої міцності корпусу судна необхідно визначити згинальні моменти M_{sw} і перерізуючі сили N_{sw} на тихій воді для основних випадків навантаження судна за стандартними програмами, причому розрахунковий згинальний момент на тихій воді, одержаний інтегруванням кривої навантаження судна, повинен бути не менший від $M_{sw} = \pm 76 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{кН} \cdot \text{м}$, де згинальні моменти, які викликають перегин корпусу судна, вважаються додатними, а прогин – від’ємними.

$$M_{sw} = \pm 76 \cdot 10,04 \cdot 40,32 \cdot 239,9^2 \cdot (0,886 + 0,7) \cdot 10^{-3} \\ \approx \pm 2,81 \cdot 10^6 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Хвильовий згинальний момент, який викликає перегин корпусу судна, визначається за формулою:

$$M_w = 190 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot C_b \cdot 10^{-3} \text{кН} \cdot \text{м}, \\ M_w = 190 \cdot 10,04 \cdot 40,32 \cdot 239,9^2 \cdot 0,886 \cdot 10^{-3} =, \text{кН} \cdot \text{м} \approx 3,922 \cdot \\ 10^6 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Хвильовий згинальний момент, який викликає прогин корпусу судна, знаходиться за формулою:

$$M_w = -110 \cdot C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-3} \text{кН} \cdot \text{м}, \\ M_w = -110 \cdot 10,04 \cdot 40,32 \cdot 239,9^2 \cdot (0,886 + 0,7) \cdot 10^{-3} \\ = -4,064 \cdot 10^6 \text{кН} \cdot \text{м},$$

де C_w – хвильовий коефіцієнт;

C_b – коефіцієнт загальної повноти судна ($C_b > 0,6$). Момент опору поперечного перерізу корпусу судна (для палуби і днища) в середній частині повинен бути не менший за:

$$W = \frac{M_T}{\sigma} \cdot 10^3, \text{ м}^3,$$

де $M_T = |M_{sw} + M_w|$ – розрахунковий згинальний момент, кН·м, у розглядуваному перерізі судна, який дорівнює максимуму абсолютної величини алгебраїчної суми складових моментів M_{sw} і M_w ;

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

$\eta = 0,78$ – коефіцієнт використання механічних властивостей (табл. 1.2).

Отже, сумарний згинальний момент:

- при прогині дорівнює:

$$M_{\Sigma 1} = |M_{sw} + M_w| = |-2,81 \cdot 10^6 + (-4,064 \cdot 10^6)| = 6,874 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

- при перегині дорівнює:

$$M_{\Sigma 2} = |M_{sw} + M_w| = |2,81 \cdot 10^6 + 3,922 \cdot 10^6| = 6,732 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тоді, можемо знайти момент опору, в якому σ – допустимі напруження, МПа, тоді $\sigma = \frac{175}{\eta} = \frac{175}{0,78} = 224,36 \text{ МПа}$:

$$W = \frac{M_T}{\sigma} \cdot 10^3 = \frac{6,874 \cdot 10^6}{224,36} \cdot 10^3 = 30,6383 \cdot 10^6 \text{ см}^3 \approx 30,64 \text{ м}^3.$$

Визначаємо, момент опору поперечного перерізу корпусу в середній частині судна (для палуби і днища) повинен бути не менший за:

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

$$\begin{aligned} W_{min} &= 10,04 \cdot 40,32 \cdot 239,9^2 \cdot (0,886 + 0,7) \cdot 0,78 \approx 28,82 \cdot 10^6 \text{ см}^3 \\ &= 28,82 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Момент інерції поперечного перерізу корпусу в середній частині судна повинен бути не менше за:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		80

$$I = 3 \cdot C_w \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0,7) \text{ см}^4,$$

$$I = 3 \cdot 10,04 \cdot 40,32 \cdot 239,9^3 \cdot (0,886 + 0,7) = 26,593 \cdot 10^9 \text{ см}^4 = 265,93 \text{ м}^4.$$

Знаходимо розрахунковий момент інерції:

$$I^* = W \cdot (D - e) \cdot 10^2 \text{ см}^4,$$

де невідомим є $e = (0,34 + 0,06 \cdot L \cdot 10^{-2}) \cdot D = (0,34 + 0,06 \cdot 239,9 \cdot 10^{-2}) \cdot 20,31 \approx 9,829 \text{ м}$ – відстань нейтральної осі від основної площини.

Тоді розрахунковий момент інерції дорівнює:

$$\begin{aligned} I^* &= W \cdot (D - e) \cdot 10^2 = 30,6383 \cdot 10^6 \cdot (20,31 - 9,829) \cdot 10^2 \\ &= 32,112 \cdot 10^9 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Одержані величини W і I використовуються для порівняння з геометричними характеристиками еквівалентного бруса (параграф 3.5.), які розраховані для міделевого перерізу корпусу судна.

3.4. Проектування елементів конструкції корпусу судна за правилами реєстра

3.4.1. Проектування листових конструкцій корпусу

Корпус судна – це складна система, що може бути поділена на дві структури: листову (обшивки, настили) і балкову (судновий набір). Кожне полотнище обшивки або настилу складається з простих конструкцій поясів. Пояс конструкція з листів, послідовно з'єднаних короткими боками.

Розрахунковою моделлю листових конструкцій є пластина – частина полотнища, яка з чотирьох сторін обмежена опорним контуром, що утворюється балками суднового набору.

Більшість пластин має чітко виражену прямокутну форму. і розподілене нормальне навантаження, яке викликає прогинання пластин за циліндричною поверхнею. Розрахунок листових конструкцій полягає у визначенні товщин листів, а ширина і довжина їх залежать від умов прокату та технічних можливостей суднобудівного заводу.

Була використана, така послідовність визначення елементів корпусу судна:

- товщина зовнішньої обшивки днища і бортів;
- елементи набору днища;
- елементи набору борта;
- товщина настила палуби;
- елементи набору палуби.

Для чіткого подання майбутньої конструкції корпусу в масштабі 1:100 складається ескіз мідель – шпангоуту, за допомогою якого можна визначити такі величини, як прогін в'язів, відстань між балками набору, ширина приєднаного пояску і інше, погодити крок схеми розміщення набору перекриття днища, бортів, палуби і перегородок з пазами листів обшивки і настил (див. параграф.3.5.).

3.4.2. Проектування зовнішньої обшивки корпусу

Зовнішня обшивка складається з обшивки борту і дна. Її проектування починається з розподілу на пояси обводу поперечного перерізу корпусу судна (рис. 3.1.7.1.).

Ширина горизонтального кіля і ширстрека, не більше $b_{гк} = 800 + 5 \cdot L \leq 2000$ мм.

Товщина його повинна бути на 2 мм більшою від товщини зовнішньої обшивки дна.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		82

Ширина скулового пояса визначається положенням верхньої і нижньої кромки. Нижня кромка відповідає точці поєднання плоскої частини обшивки дна з криволінійною. Верхню кромку в розрахунках приймаємо вище внутрішнього дна на 200 мм. Товщину скулового пояса вибираємо рівною товщині обшивки дна або товщині надскулового пояса, в залежності від того, що більше.

Ширину ширстрека обираємо 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.

Пази зовнішньої обшивки не повинні збігатися з лініями дотикання до неї будь-яких поздовжніх в'язей.

Товщина зовнішньої обшивки відповідно до умов міцності визначається за формулою:

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

де m, k_{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;

$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{b} \leq 1,0$; 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 нижче в табл. 3.4.2.1.

Таблиця 3.4.2.1. – Наведений коефіцієнт

Обшивка дна	Поперечна система набору	$k_{\sigma} = 0,3 \cdot k_B \leq 0,6$
	Поздовжня система набору	$k_{\sigma} = 0,6$
Обшивка борту	$(0,4 \dots 0,5) \cdot D$ від основної площини	$k_{\sigma} = 0,6$
	На рівні верхньої палуби	$k_{\sigma} = 0,3 \cdot k_D \leq 0,6$

Для обшивки борту нижче рівня $0,4D$ k_{σ} визначається лінійною інтерполяцією між k_{σ} дна і k_{σ} борту в межах $(0,4 \div 0,5) D$.

Для обшивки борту вище рівня $0,5D$ коефіцієнт k_{σ} визначається лінійною інтерполяцією між k_{σ} на рівні розрахункової палуби і k_{σ} в межах $(0,4 \div 0,5) D$.

Коефіцієнт k_D, k_B приймаємо рівним одиниці.

Розрахунок товщини листів зовнішньої обшивки за умови міцності наведено в табл. 3.4.2.2.

Розрахункові навантаження визначаються для розрахункових точок 1,2,3,4,5,6 (див. рис 3.2.1.1.).

Таблиця 3.4.2.2. – 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	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Відношення $\frac{a}{b}$	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Коефіцієнт $k =$ $1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{b}$	1	1	1	1	1	1
Розрахунковий тиск P , кПа	134,018	116,586	63,235	45,539	32,078	11,414
Коефіцієнт k_σ	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3
$S' = 15,8 \cdot a \cdot k$ $\cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}}$	10,88	10,15	7,48	6,34	5,32	4,49
Додаток товщини ΔS , мм	2,4	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	13,28	12,43	9,76	8,62	7,6	6,77

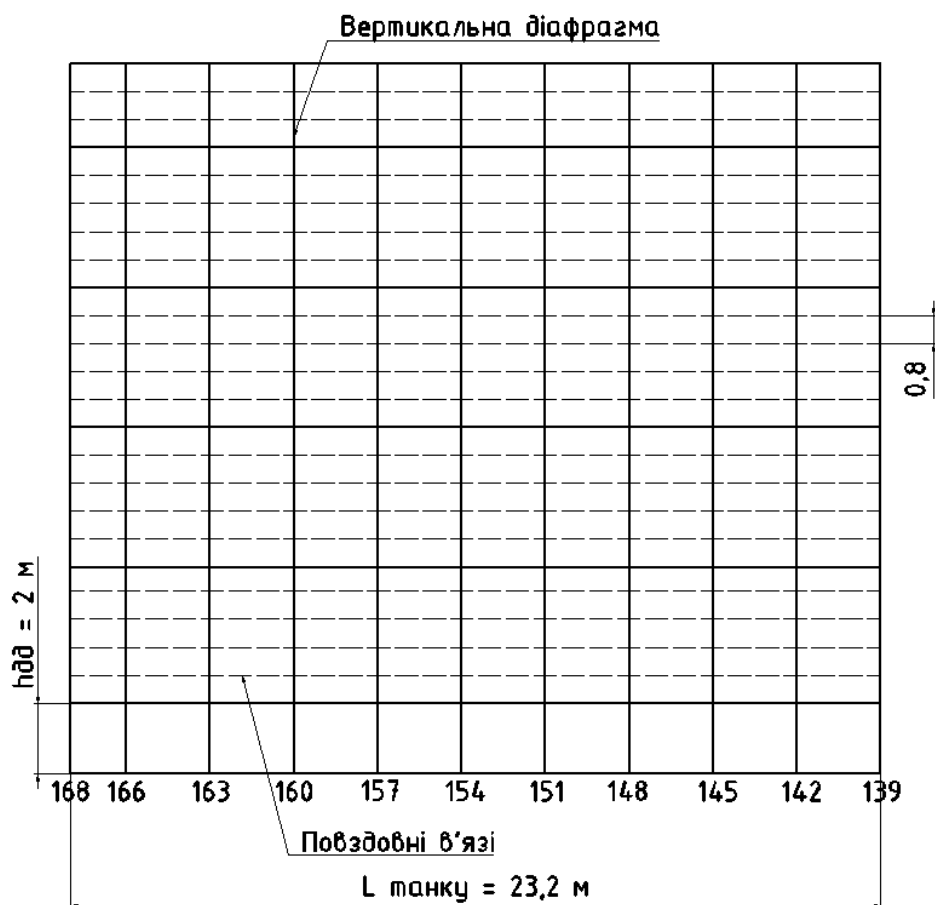


Рис. 3.4.2.1. – Схема бортового перекрытия

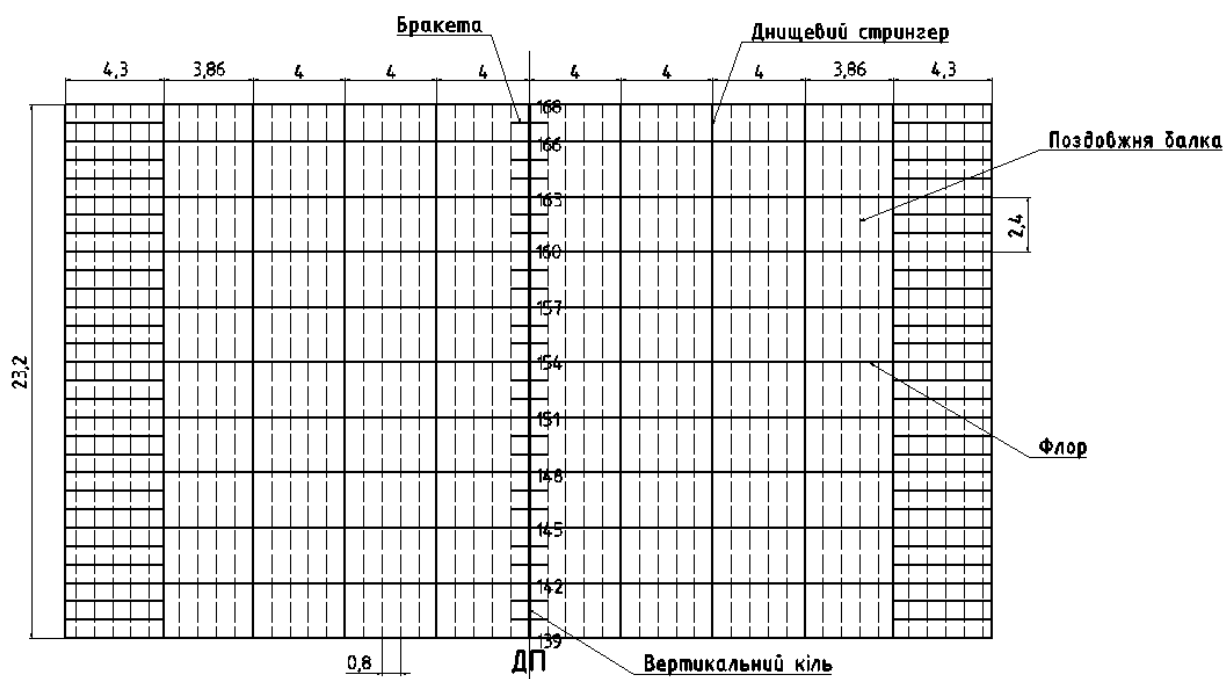


Рис. 3.4.2.2. – Схема днищевого перекрытия

Стійкість зовнішньої обшивки дна, надскулового і підширстрєкового поясів і ширстрєка розраховується відповідно до

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.

Лист

86

стійкості елементів конструкції корпусу. Розрахуємо стискаючи напруження знаходяться за формулою:

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

де за розрахунковий згинаючий момент для зовнішньої обшивки дна і надскулового поясу приймається момент, що викликає перегин корпусу, а за розрахунковий згинаючий момент для ширстрека і підширстречного поясу приймається момент, що викликає прогин корпусу.

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що викликає перегин корпусу судна для зовнішньої обшивки дна і надскулового поясу:

$$M_T = |M_{sw} + M_w| = M_p = |2,81 \cdot 10^6 + 3,922 \cdot 10^6| = 6,732 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що викликає прогин корпусу судна для ширстреку і підширстречного поясу:

$$\begin{aligned} M_T &= |M_{sw} + M_w| = M_p = |-2,81 \cdot 10^6 + (-4,064 \cdot 10^6)| \\ &= 6,874 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Момент інерції, см^4 , поперечного перерізу корпусу судна:

$$I^* = 32,112 \cdot 10^9 \text{ см}^4;$$

z_i - відстань точки, що розглядається від нейтральної осі (рис. 3.4.2.3.):

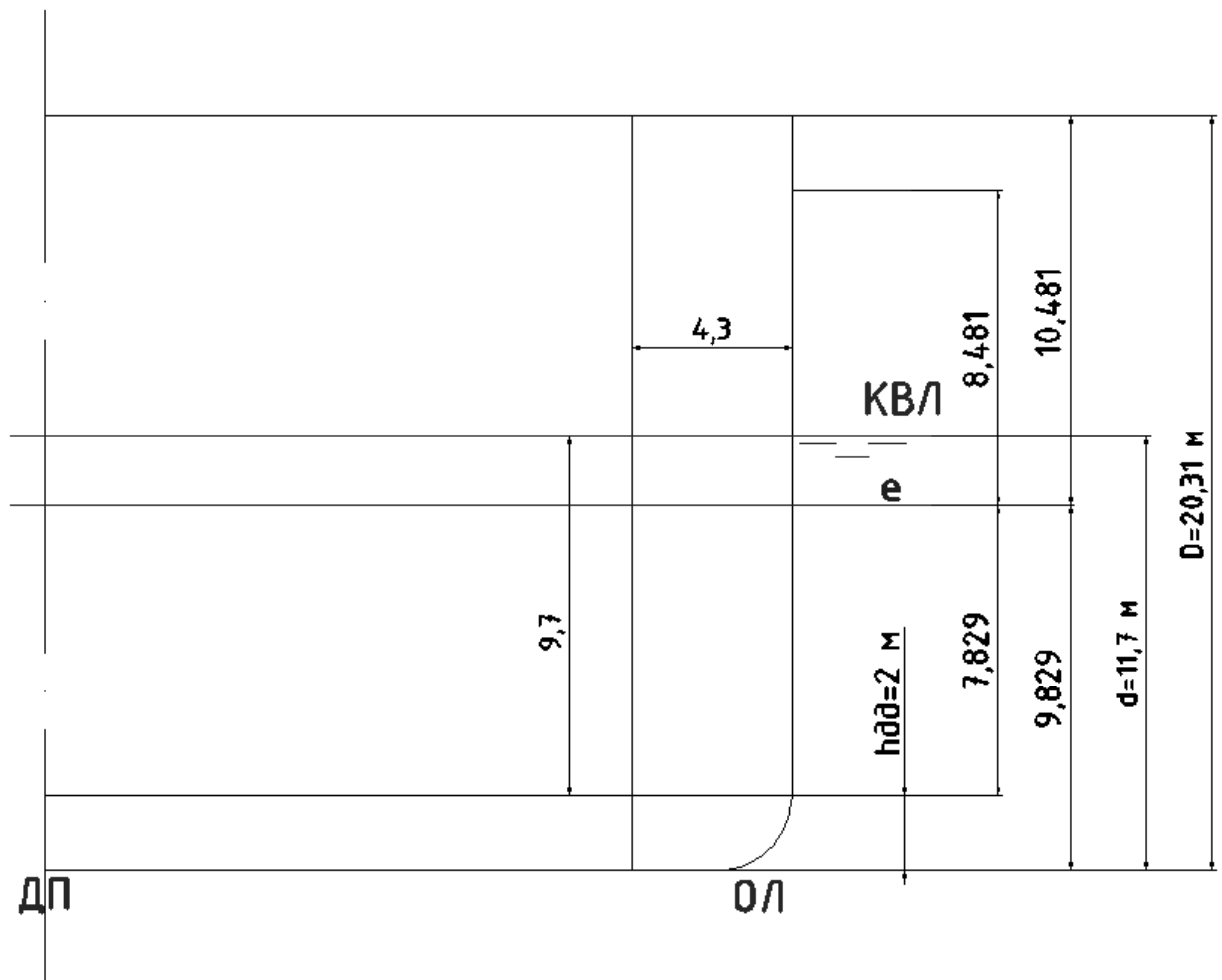


Рис. 3.4.2.3. – Схема відстані нейтральної осі від основної площини, до розрахункових точок

$$z_i = 10,481 \text{ м};$$

$$\sigma_{сВП} = \frac{6,874 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 10,481 \cdot 10^5 \approx 224,359 \text{ МПа.}$$

Для ширстречного поясу приймаємо величину $\sigma_c = 224,359 \text{ МПа}$.

Для підширстречного поясу $z_i = 8,481 \text{ м}$;

$$\sigma_{сВП} = \frac{6,874 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 8,481 \cdot 10^5 \approx 181,547 \text{ МПа};$$

Для другого дна $z_i = -7,829 \text{ м}$;

За розрахунковий згинальний момент приймаємо момент, що визиває перегин корпусу судна, $z_i = -7,829$ м:

$$\sigma_{c\partial\partial} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot (-7,829) \cdot 10^5 \approx -164,128 \text{ МПа};$$

Для днища:

$$z_i = -9,829 \text{ м};$$

$$\sigma_{c\partial\partial} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot (-9,829) \cdot 10^5 \approx -206,056 \text{ МПа}.$$

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

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

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 ($R_{eH} = 315$ МПа):

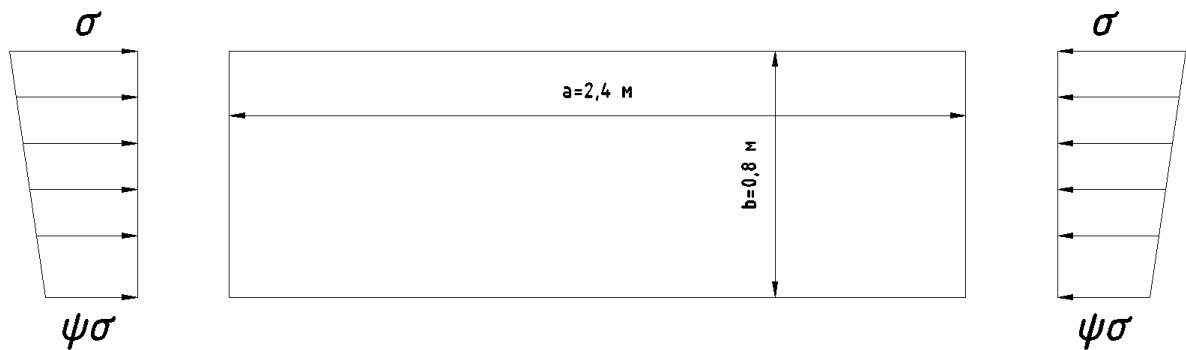
Відношення σ_{cr}/R_{eH} визначає формулу для розрахунку ейлерових напружень:

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

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{eH} > 0,5 \quad \sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}}.$$

Виберемо коефіцієнти n і ψ для:

Ширстреку:



$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}};$$

$$\sigma_{c1} = 224,359 \text{ МПа};$$

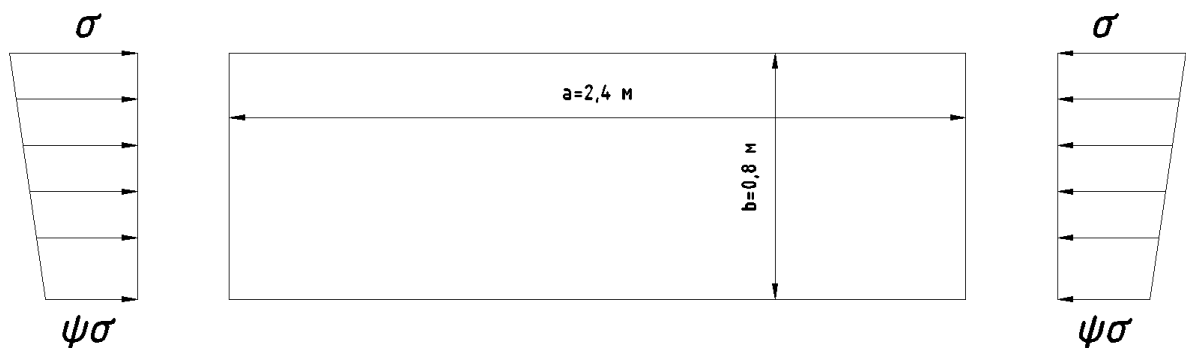
$$z_i = 9,681 \text{ м};$$

$$\sigma_{c2} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,874 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 9,681 \cdot 10^5 \approx 207,235 \text{ МПа};$$

$$\psi = \frac{207,235}{224,359} \approx 0,924;$$

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,924 + 1,1} \approx 4,15.$$

Підширстречний пояс:



$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}};$$

$$\sigma_{c1} = 181,547 \text{ МПа};$$

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.

Лист

90

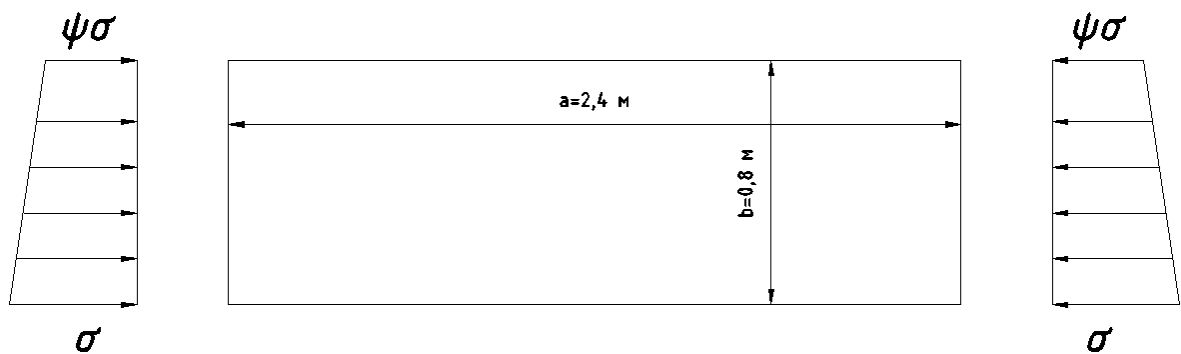
$$z_i = 7,681 \text{ м};$$

$$\sigma_{c2} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,874 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 7,681 \cdot 10^5 \approx 164,422 \text{ МПа};$$

$$\psi = \frac{164,422}{181,547} \approx 0,9056;$$

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,9056 + 1,1} \approx 4,19.$$

Надскуловий пояс:



$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}};$$

$$\sigma_{c1} = 164,128 \text{ МПа};$$

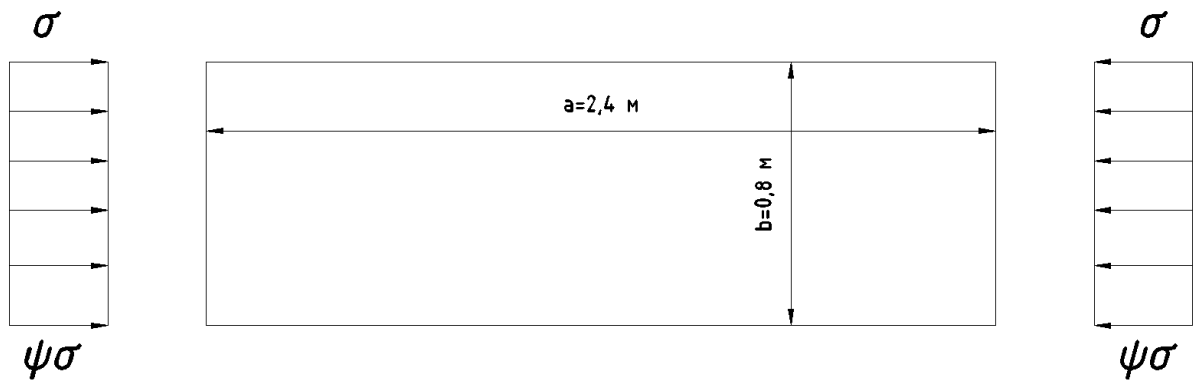
$$z_i = 7,029 \text{ м};$$

$$\sigma_{c2} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 7,029 \cdot 10^5 \approx 147,357 \text{ МПа};$$

$$\psi = \frac{147,357}{164,128} \approx 0,8978;$$

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,8978 + 1,1} \approx 4,20.$$

Обшивки дна:



$$\psi = 1;$$

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

Розрахунок товщини S , мм, листових конструкцій зовнішньої обшивки на стійкість наведено в табл. 3.4.2.3.

Таблиця 3.4.2.3. – Розрахунок товщини листів З.О. з умов стійкості

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна	Надскуловий пояс	Ширстрек	Підширстречний пояс
M_{sw} , кНм	$2,81 \cdot 10^6$	$2,81 \cdot 10^6$	$-2,81 \cdot 10^6$	$-2,81 \cdot 10^6$
M_w , кНм	$3,922 \cdot 10^6$	$3,922 \cdot 10^6$	$-4,064 \cdot 10^6$	$-4,064 \cdot 10^6$
Розрахунковий момент M_T , кНм	$6,732 \cdot 10^6$	$6,732 \cdot 10^6$	$6,874 \cdot 10^6$	$6,874 \cdot 10^6$
Z_i , м	$-9,829$	$-7,829$	$10,481$	$8,481$
σ_c , МПа	$206,056$	$164,128$	$224,359$	$181,547$
$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c$, МПа	$206,056$	$164,128$	$224,359$	$181,547$
σ_{cr}/R_{eH}	$0,654$	$0,521$	$0,712$	$0,576$
σ_e , МПа	$227,7$	$164,42$	$273,67$	$185,88$
a , м	$2,4$	$2,4$	$2,4$	$2,4$

Продовження табл. 3.4.2.3.

Розрахункові величини	Перегин		Прогин	
	Обшивка дна	Надскуловий пояс	Ширстрек	Підширстречни й пояс
$b, \text{ м}$	0,8	0,8	0,8	0,8
$\gamma = a/b$	3	3	3	3
ψ	1	0,8978	0,924	0,9056
n	4	4,20	4,15	4,19
$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}}, \text{ мм}$	14,02	11,62	15,09	12,38
$\Delta S, \text{ мм}$	2	0,581	0,7545	0,619
$S = S' + \Delta S, \text{ мм}$	16,02	12,201	15,8445	12,999

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$S_{min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} \text{ мм} \quad \text{при } L \geq 30 \text{ м};$$

$$S_{min} = (5,5 + 0,04 \cdot 239,9) \cdot \sqrt{0,78} \approx 13,33 \text{ мм}.$$

3.4.3. Проектування внутрішнього дна

В дипломному проєкті при розрахунку в'язів внутрішнього дна необхідно викреслити схему днищового перекриття наливного судна (див. рис. 3.4.3.1.). На наливних суднах довжиною 80 м і більше повинна застосовуватись поздовжня система набору внутрішнього дна.

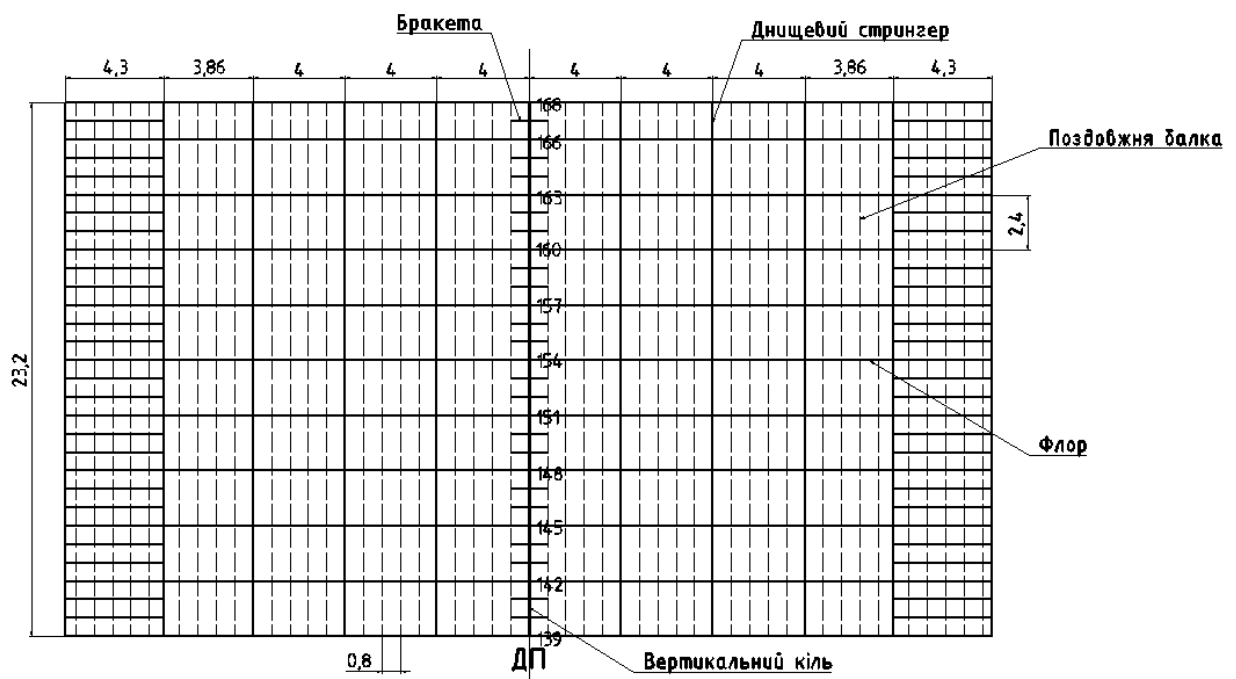


Рис. 3.4.3.1. – Схема днищового перекриття

Довжина L_1 і ширина B_1 вантажного танка визначаються відстанями між поперечними і поздовжніми перегородками чи поздовжньою перегородкою і бортом. Відстань між флорами є кратна шпації. Суцільні флори розташовують через п'ять шпацій чи 3,6 м в залежності від того, що менше. Відстань між днищевими стрингерами, днищевим стрингером і вертикальним кілем чи міждним листом, не повинна перевищувати 5,0 м при поздовжній системі набору.

В поздовжній системі набору подвійного дна також можна розміщувати полегшені стрингери (панелі з великими вирізами) замість поздовжніх балок по днищу і другому дну.

В такому випадку відстань між суцільними флорами може бути збільшена, але не більш ніж у два рази.

Відстань між стрингерами повинна бути кратна поздовжній шпації.

3.4.3.1. Проектування конструкцій вертикального кіля і днищевих стрингерів

Висота вертикального кіля повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$h = \frac{L - 40}{0,57} + 40 \cdot B + 3500 \frac{d}{L} \geq 650 \text{ мм};$$

$$h = \frac{239,9 - 40}{0,57} + 40 \cdot 40,32 + 3500 \frac{11,7}{239,9} \approx 2134,2 \text{ мм} = 2,1342 \text{ м.}$$

Висота вертикального кіля дорівнює: $h = 2 \text{ м.}$

Товщина стінки вертикального кіля згідно з Правилами визначається за формулою:

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

де $\alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 \leq 11,2$, $\alpha_k = 0,03 \cdot 239,9 + 8,3 = 80,27 > 11,2$;

Приймаємо $\alpha_k = 11,2$;

$h_\phi = 2 \text{ м}$ – фактична висота ВК;

$\eta = 0,78$ – коефіцієнт використання механічних властивостей;

$\Delta S = 2,4 \text{ м}$ – додаток на знос і корозію.

$$S = 11,2 \cdot 2,1342 \cdot \frac{2,1342}{2,0} \cdot \sqrt{0,78} + 2,4 = 24,93 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину стінки вертикального кіля $S_{ВК} = 25 \text{ мм.}$

Товщина вертикального кіля з умов міцності знаходиться також за формулою:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		95

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

де, $k_{\sigma} = 0,75$ – якщо вертикальний кіль підкріплюється горизонтальними ребрами жорсткості в середній частині судна;

$a = 0,8$ м – шпация;

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{h_{\phi}} \leq 1,0 = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{0,8}{2} = 1.$$

Розрахунковий тиск на вертикальний кіль:

$$\begin{cases} P' = 0,75 \cdot g \cdot (z_i + \Delta z), \text{кПа}; \\ P'' = \rho_{\epsilon} \cdot g \cdot z_i + P_k, \text{кПа}, \end{cases}$$

де, $\Delta z = 1,5$ м – висота повітряної трубки, м;

z_i – відстань, м, від середини висоти панелі вертикального кіля до верхньої палуби в діаметральній площині:

$$z_i = D - \frac{h_{BK}}{2} = 20,31 - \frac{2}{2} = 19,31 \text{ м};$$

$$P_k = 15 \text{ кПа}.$$

Тоді, розрахунковий тиск на вертикальний кіль:

$$\begin{cases} P' = 0,75 \cdot 9,81 \cdot (19,31 + 1,5) \approx 153,11 \text{ кПа}; \\ P'' = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 19,31 + 15 \approx 209,17 \text{ кПа}. \end{cases}$$

Приймаємо розрахунковий тиск на вертикальний кіль $P = 209,17$ кПа.

ΔS – додаток на знос і корозію, мм.

Розрахуємо товщину вертикального кіля:

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{209,17}{0,75 \cdot 301,3}} + 2,4 \approx 14,56 \text{ мм}.$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		96

Зменшити товщину стінки вертикального кіля можна, якщо розмістити по висоті кіля горизонтальні ребра жорсткості, які також треба перевіряти на згин і стійкість. Товщина вертикального кіля повинна бути на 1 мм більша від товщини суцільного флора і не менша, ніж:

$$S = 0,035 \cdot L + 5 = 0,035 \cdot 239,9 + 5 \approx 13,4 \text{ мм};$$

$$S = 0,025 \cdot L + 7 = 0,025 \cdot 239,9 + 7 \approx 13 \text{ мм}.$$

Стійкість стінки вертикального кіля (рис 3.4.3.1.):

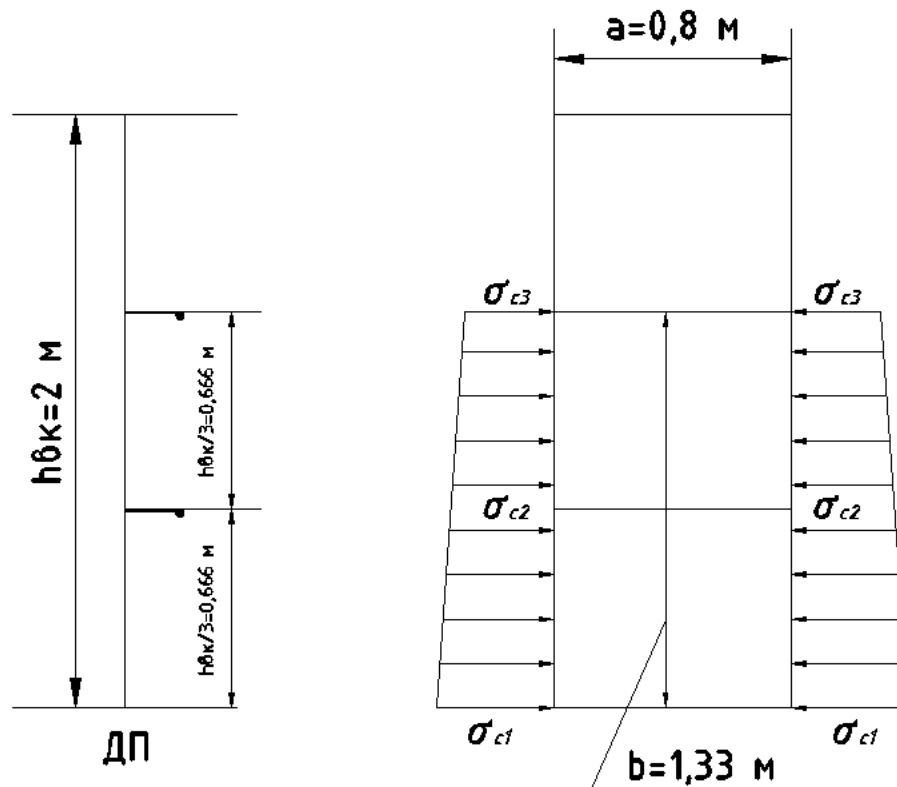


Рис. 3.4.3.1. – Схема вертикального кіля

$$\sigma_{c1} = \frac{M_T}{I} \cdot z_i \cdot 10^5, \text{ МПа};$$

$$\sigma_{c2} = \frac{M_T}{I} \cdot \left(z_i - \frac{h}{3} \right) \cdot 10^5, \text{ МПа};$$

$$\sigma_{c3} = \frac{M_T}{I} \cdot \left(z_i - \left(\frac{h}{3} \cdot 2 \right) \right) \cdot 10^5, \text{ МПа},$$

де, $M_T = M_{\Sigma 2} = |M_{sw} + M_w| = |2,81 \cdot 10^6 + 3,922 \cdot 10^6| = 6,732 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м};$

z_i – відстань від нейтральної осі, до в'язі (точки), яка розглядається, м;

$I^* = 32,112 \cdot 10^9$ – розрахунковий момент інерції, см⁴.

$$\sigma_{c1} = \frac{M_T}{I} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 9,829 \cdot 10^5 \approx 206,056 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{c2} = \frac{M_T}{I} \cdot \left(z_i - \frac{h}{3} \right) \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot \left(9,829 - \frac{2}{3} \right) \cdot 10^5 \approx 192,08 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{c3} = \frac{M_T}{I} \cdot \left(z_i - \left(\frac{h}{3} \cdot 2 \right) \right) \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot \left(9,829 - \left(\frac{2}{3} \cdot 2 \right) \right) \cdot 10^5 \approx 178,10 \text{ МПа}.$$

Вертикальний кіль є стійким коли:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad \sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 206,056 = 206,056 \text{ МПа};$$

$$b = \frac{h_{БК}}{3} = \frac{2}{3} = 0,666 \text{ м};$$

$$\gamma = \frac{a}{b} = \frac{0,8}{0,666} \approx 1,2;$$

$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}} = \frac{178,10}{206,056} \approx 0,86;$$

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,86 + 1,1} \approx 4,29;$$

$$S = S' + \Delta S;$$

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,666 \cdot \sqrt{\frac{206,056}{0,1854 \cdot 4,29}} + 2,4 \approx 13,22 \text{ мм}.$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		98

Приймаємо товщину вертикального кіля $S_{BK} = 25$ мм (рис. 3.4.3.2.).

Товщина днищового стрингера повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флора і не менше, ніж:

$$S_{min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 239,9 + 6 \approx 14,4 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину днищового стрингера $S_{ДС} = 14$ мм.

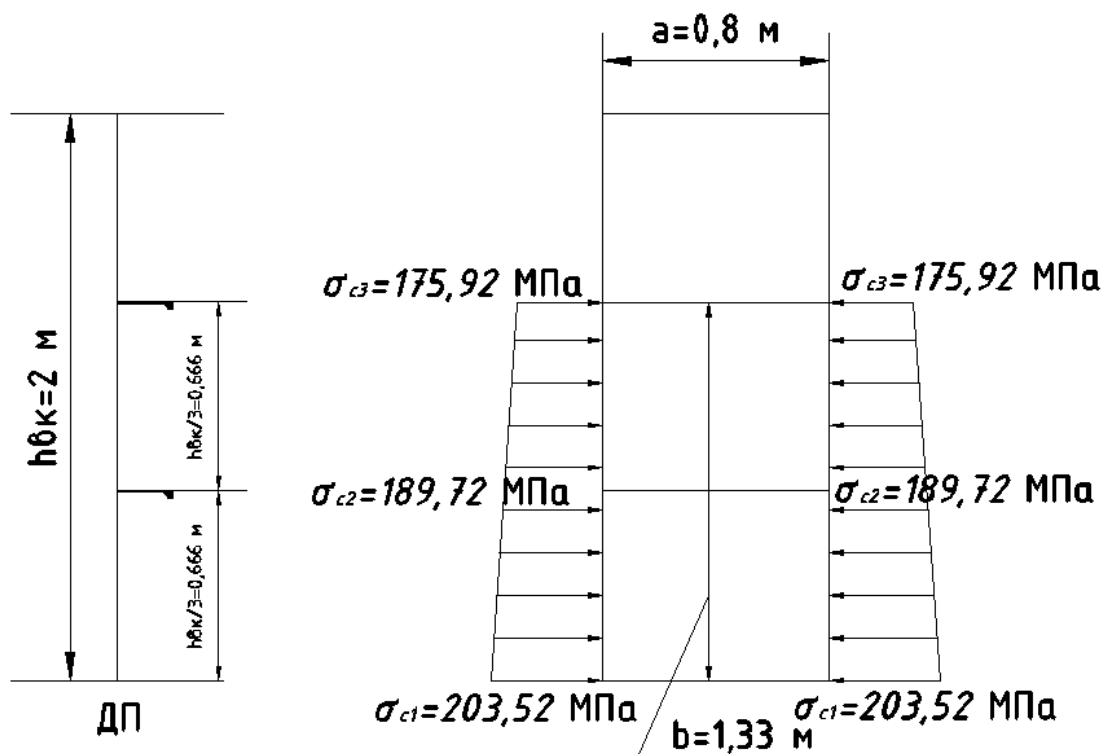


Рис. 3.4.3.2. – Схема, після розрахунку вертикального кіля

По висоті вертикального кіля розміщуємо ребра жорсткості, які 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 $P = 209,17$ кПа – розрахунковий тиск;

$a = \frac{h_{BK}}{3} = 0,666$ м – відстань між РЖ та днищем;

$l = 2,4$ м – довжина прогіна ребра, між флорами і бракетами, м;

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

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

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

$$W' = \frac{209,17 \cdot 0,666 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,75 \cdot 301,3} \approx 295,91 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{295,91} \right) = 0,089.$$

Приймаємо $\alpha_k = 0,089$.

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,089 \cdot 2,4 = 1,21;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 295,91 \cdot 1,21 = 358,05 \text{ см}^3.$$

Мінімальна будівельна товщина ребра жорсткості:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 239,9 + 5,5 = 11,5 \text{ мм}.$$

В якості ребер жорсткості вертикального кіля приймаю профіль штабобульб несиметричний f226 ($h = 220$ мм, $S_{ct} = 13$ мм, $b_6 = 50$ мм, $F = 37,2 \text{ см}^2$).

Перевіримо ребро жорсткості обраного профілю на стійкість.

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

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

$\sigma_{c1} = 206,056$ МПа – нормальні стискальні напруження;

$\sigma_{cr} = k \cdot \sigma_{c1} + 1 = 1,1 \cdot 206,056 + 1 = 227,66$ МПа – критичне напруження.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		100

$$\sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}} \text{ при } \frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{227,66}{315} = 0,722 > 0,5;$$

$$\sigma_e = \frac{0,25 \cdot 315^2}{315 - 227,66} \approx 284,02 \text{ МПа.}$$

Фактичні ейлереві напруження σ_e^* , МПа, для поздовжніх балок основного набору визначаються за формулою:

$$\sigma_e^* = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2},$$

де, $i^* = 1795$ – момент інерції балки, см^4 , з приєднаним пояском, що розрахований для товщини, зменшеної на величину ΔS ;

$f^* = 166,5$ – площа поперечного перерізу балки, см^2 , з приєднаним пояском, яка розрахована для товщини, зменшеної на величину ΔS ;

$l = 3 \cdot 0,8 = 2,4$ – прогін балки, м. Значення були взяті з додатка методичних вказівок.

$$\sigma_e^* = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 1795}{166,5 \cdot 2,4^2} \approx 385,6 \text{ МПа.}$$

Оскільки $\sigma_e^* > \sigma_e$, то балка профілю І 226 є стійкою.

Ребра жорсткості стрингерів приймаю такого ж профілю.

3.4.3.2. Проектування конструкцій флорів

Суцільний флор має таку висоту у діаметральній площині, як і вертикальний кіль $h = 2$ м.

Товщина суцільного флора визначається за формулою:

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

де $\alpha = 0,023 \cdot L + 5,8 = 0,023 \cdot 239,9 + 5,8 \approx 11,318$;

$$k = k_1 \cdot k_2;$$

k_1, k_2 – знаходимо в залежності від відношення a_ϕ/a та від числа стрингерів на один борт, де $a_\phi = 0,8 \cdot 3 = 2,4$ м – відстань між суцільними флорами, k_1 визначається за табл. 3.4.3.1., k_2 визначається за табл. 3.4.3.2.

$a = 0,8$ м – шпация;

$a = 0,8$ м – відстань між ребрами жорсткості;

$\eta = 0,78$ – коефіцієнт використання механічних властивостей;

$\Delta S = 2,4$ – додаток на знос і корозію, мм.

Таблиця 3.4.3.2.1. – Визначення коефіцієнту k_1 при повздовжній системі набору

a_ϕ/a	1	2	3	4	5
k_1	—	1,25	1,45	1,65	1,85

Таблиця 3.4.3.2.2. – Визначення коефіцієнту k_2 при повздовжній системі набору

Число стрингерів на один борт	0	1	2	3 і більше
k_2	1,00	0,93	0,86	0,80

Тоді k дорівнює:

$$k = k_1 \cdot k_2 = 1,45 \cdot 0,8 = 1,16;$$

Товщина суцільного флора, після визначення всіх значень буде дорівнювати:

$$S = \alpha \cdot k \cdot a \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S = 11,318 \cdot 1,16 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,78} + 2,4 \approx 11,68 \text{ мм.}$$

Мінімальна будівельна товщина суцільного флора:

$$S_{min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 239,9 + 6 \approx 14,4 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_{фл} = 15 \text{ мм.}$

Посередині висоти флора розміщують лази (рис. 3.4.3.1.). Вертикальний розріз лазу не повинен перевищувати половину висоти флора:

$$h_1 \leq \frac{\partial_{\partial\partial}}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ м;}$$

$$h_2 \leq \frac{a}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ м.}$$

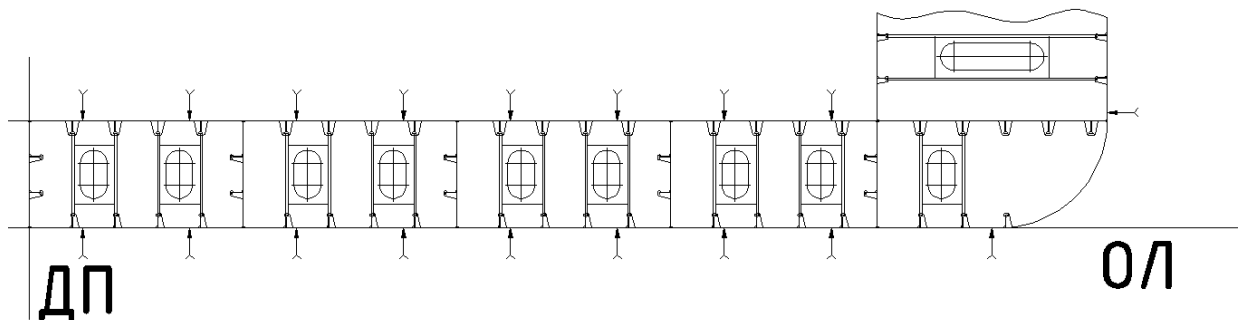


Рис. 3.4.3.1. – Схема суцільного флора

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

Товщина ребра жорсткості визначається так:

$$S_{рж} \geq 0,8 \cdot S_{фл} = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ мм.}$$

Приймаю $S_{рж} = 12$ мм.

Ширина ребра жорсткості $b_{рж} = 10 \cdot S_{рж} = 10 \cdot 12 = 120$ мм.

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 $m = 15,8$;

$k_{\sigma} = 0,85$, – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

$a = 0,8$ м – відстань (шпація) між балками, які розглядаються;

$\Delta S = 2,4$ – запас на знос та корозію, мм;

$P = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k = 0,9 \cdot 9,81 \cdot 19,31 + 15 \approx 185,488$ кПа – розрахунковий тиск,

де $\rho = 0,9$ т/м³ – густина палива судна;

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

$P_k = 15$ кПа – тиск запобіжного клапана;

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

$z_i = 19,31$ м – відстань від верхньої палуби до середини висоти флора;

$$S = 15,6 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{185,488}{0,85 \cdot 301,3}} + 2,4 \approx 13,02 \text{ мм}.$$

Товщина водонепроникного флора повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флору. Приймаємо $S = S_{фл} = 15$ мм.

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:

$$W = W' \cdot \omega_k;$$

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

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, кожний доданок це: $P = 185,488$ кПа – розрахунковий тиск на обшивку (береться такий, як у флора);

$a = 0,8$ м – відстань між балками, які розглядаються;

$l = 2,0$ м – довжина ребра жорсткості;

$m = 10$;

$k_\sigma = 0,75$;

ω_k – поправка на знос і корозію;

ΔS – запас на знос і корозію, мм.

$$W' = \frac{185,488 \cdot 0,8 \cdot 2,0^2 \cdot 10^3}{10 \cdot 0,75 \cdot 301,3} \approx 262,66 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{262,66} \right) = 0,092.$$

Приймаємо $\alpha_k = 0,092$.

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,092 \cdot 2,4 = 1,22;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 262,66 \cdot 1,22 = 320,44 \text{ см}^3.$$

Товщина ребра жорсткості повина бути не менше, ніж:

$$S_{min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 239,9 + 5,5 \approx 11,5 \text{ мм.}$$

По сортаменту приймаємо штабобульб несиметричний f 22a ($h = 220 \text{ мм}, S_{ct} = 11 \text{ мм}, b_{\phi} = 48 \text{ мм}, F = 32,8 \text{ см}^2$).

3.4.3.3. 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 – найбільший розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа;

Для настилу внутрішнього дна обирають розрахунковий тиск на друге дно від нафти в розділі 2.2.:

$$\begin{aligned} P_b = P &= \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0,722 \cdot 9,81 \cdot (18,31 + 31,72 \cdot 0,27) \\ &= 190,346 \text{ кПа;} \end{aligned}$$

$k_{\sigma} = 0,8$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

$a = 0,8$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м;

$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$; $a = 0,8$, $b = 2,4$ – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

$\Delta S = 1,8$ – запас на знос та корозію, мм.

Розрахунок товщин поясів настилу внутрішнього дна наведено в табл. 3.4.3.3.1.

Мінімальна будівельна товщина настилу внутрішнього дна визначається за формулою:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		106

$$S_{min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5 + 0,035 \cdot 239,9) \cdot \sqrt{0,78} \approx 11,831 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.4.3.3.1. – 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 $\gamma = a/b$	0,3333
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5a/b$	1
Розрахунковий тиск P , кПа	190,346
Коефіцієнт k_{σ}	0,8
$S' = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}}$, мм	11,23
Додаток товщини ΔS , мм	1,8
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	13,03

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

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{164,42}{0,1854 \cdot 4}} \approx 11,91 \text{ мм;}$$

Розрахуємо ейлерові напруження:

$$\sigma_{cdd} = 164,128 \text{ МПа;}$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad \sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 164,128 = 164,128 \text{ МПа;}$$

$$\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{162,111}{315} = 0,5146 > 0,5 \quad \sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}} = \frac{0,25 \cdot 315^2}{315 - 164,128} = 164,42 \text{ МПа};$$

$$\psi = 1;$$

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

Додаткова товщина:

$$\Delta S = 0,1 \cdot S' = 0,1 \cdot 11,83 = 1,183 \text{ мм};$$

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

$$S = S' + \Delta S = 11,91 + 2 = 13,91 \text{ мм};$$

Приймаю товщину пластини другого дна: $S_{\text{II дн}} = 14 \text{ мм}.$

3.4.3.4. 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 $P = P_{st} + P_w = 134,018 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск для балок днища;

$a = 0,8 \text{ м}$ – шпация;

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

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,45 \cdot k_\delta = 0,45 \cdot 1 = 0,45$ – коефіцієнт допустимих напружень для балок дна, де, $k_\delta = 1$;

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

ω_k – поправка на знос і корозію.

Для балок дна:

$$W' = \frac{134,018 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 301,3} \approx 379,562 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{212,36} \right) = 0,084;$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,084 \cdot 2,4 = 1,2016;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 379,562 \cdot 1,2016 = 456,08 \text{ см}^3.$$

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 239,9 + 5,5 = 11,49 \text{ мм.}$$

Обираємо згідно сортаменту профіль штабобульб несиметричний f 246 ($h = 240 \text{ мм}$, $S_c = 14 \text{ мм}$, $b_{\phi} = 54 \text{ мм}$, $F = 43,6 \text{ см}^2$, $W = 466 \text{ см}^3$).

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

Фактичні ейлерові напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2},$$

де $l = 3 \cdot a = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м}$ – прогін балки;

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

$f_c = S_c \cdot h_c = 14 \cdot 21,0 = 29,4 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу стінки штабобульба;

$$S_n = \frac{f - h \cdot S_c}{b - S_c} = \frac{43,6 - 24 \cdot 1,4}{5,4 - 1,4} = 2,5 \text{ см} \text{ – товщина бульба штабобульба;}$$

$$\Delta S = 0,24 \text{ мм.}$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		109

Тоді:

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

$$S'_c = S_c - \Delta S = 1,4 - 0,24 = 1,16 \text{ см};$$

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

$b_{nn} = a = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см}$ – ширина приєднаного пояса;

$F = S'_c \cdot h_c = 1,16 \cdot 21,0 = 24,36 \text{ см}^2$ – площа стінки штабобульба;

$F' = S'_n \cdot b_n = 2,26 \cdot 5,4 = 12,204 \text{ см}^2$ – площа бульба штабобульба;

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

Площа поперечного перерізу штабобульба:

$$f^* = F + F' + F'' = 24,36 + 12,204 + 100,8 = 137,364 \text{ см}^2.$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$\begin{aligned} i^* &= \frac{h_c^2}{1 + \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F} \right) \right] \\ &= \frac{29,4^2}{1 + \frac{2 \cdot 12,204 + 24,36}{2 \cdot 100,8 + 24,36}} \\ &\cdot \left[12,204 + \frac{24,36}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 12,204 + 24,36}{2 \cdot 100,8 + 24,36} \right) \right] = 13867,07 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

Фактичне ейлереве напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 13867,07}{137,364 \cdot 2,4^2} \approx 3610,41 \text{ МПа}.$$

Потрібні ейлерові напруження:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad k = 1,15; \quad \sigma_{c\partial\partial} = 203,524 \text{ МПа};$$

$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 3610,41}\right) \approx 308,13 \text{ МПа}$ – критичне напруження;

$$k \cdot \sigma_c = 1,15 \cdot 203,524 = 234,05 \text{ МПа} < 308,13 \text{ МПа};$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю штабобульба несиметричного f 246 є стійкою. Обраний профіль підходить.

Для балок другого дна:

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

де $P = 190,346 \text{ кПа}$ – розрахунковий тиск для балок подвійного дна;

$a = 0,8 \text{ м}$ – шпация;

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

$m = 12$ – коефіцієнт згинального моменту;

$k_\sigma = 0,6 \cdot k_\epsilon = 0,6 \cdot 1 = 0,6$ – коефіцієнт допустимих напружень для балок дна, де; $k_\epsilon = 1$;

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

ω_k – поправка на знос і корозію.

Відповідно балки другого дна:

$$W' = \frac{190,346 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301,3} \approx 404,32 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'}\right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{404,32}\right) = 0,083;$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,083 \cdot 2,4 = 1,2;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 404,32 \cdot 1,2 = 485,184 \text{ см}^3.$$

Мінімальна будівельна товщина стінки балок повинна бути:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 239,9 + 5,5 = 11,5 \text{ мм.}$$

Обираємо згідно сортаменту профіль штабобульб симетричний T24710 ($h = 240 \text{ мм}$, $S_c = 10,5 \text{ мм}$, $b_{\phi} = 75,5 \text{ мм}$, $F = 38,65 \text{ см}^2$, $W = 491 \text{ см}^3$).

Перевіряємо стійкість поздовжніх балок днища:

Фактичні ейлерові напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2},$$

де $l = 3 \cdot a = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м}$ – прогін балки;

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

$f_c = S_c \cdot h_c = 1,05 \cdot 21,0 = 22,05 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу стінки штабобульба;

$$S_n = \frac{f - h \cdot S_c}{b - S_c} = \frac{38,65 - 24 \cdot 1,05}{7,55 - 1,05} = 2,07 \text{ см} – \text{товщина бульба штабобульба};$$

$$\Delta S = 0,24 \text{ мм.}$$

Тоді:

$$S'_n = S_n - \Delta S = 2,07 - 0,24 = 1,83 \text{ см};$$

$$S'_c = S_c - \Delta S = 1,05 - 0,24 = 0,81 \text{ см};$$

$$S'_{nn} = S_{nn} - \Delta S = 1,25 - 0,24 = 1,01 \text{ см};$$

$b_{nn} = a = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см}$ – ширина приєднаного пояса;

$F = S'_c \cdot h_c = 0,81 \cdot 21,0 = 17,01 \text{ см}^2$ – площа стінки штабобульба;

$F' = S'_n \cdot b_n = 1,83 \cdot 7,55 = 13,8165 \text{ см}^2$ – площа бульба штабобульба;

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		112

$F'' = S'_{nn} \cdot b_{nn} = 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ см}^2$ – площа приєднаного пояса.

Площа поперечного перерізу штабобульба:

$$f^* = F + F' + F'' = 17,01 + 13,8165 + 100 = 130,8265 \text{ см}^2.$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$\begin{aligned} i^* &= \frac{h_c^2}{1 + \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F} \right) \right] \\ &= \frac{21,0^2}{1 + \frac{2 \cdot 13,8165 + 17,01}{2 \cdot 100 + 17,01}} \\ &\cdot \left[13,8165 + \frac{17,01}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 13,8165 + 17,01}{2 \cdot 100 + 17,01} \right) \right] = 6912,91 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

Фактичне ейлерове напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 6912,91}{130,8265 \cdot 2,4^2} \approx 1889,77 \text{ МПа}.$$

Потрібні ейлерові напруження:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad k = 1,15; \quad \sigma_{c\partial\partial} = 162,111 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e} \right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 6912,91} \right) \approx 311,41 \text{ МПа} \quad - \quad \text{критичне напруження};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,15 \cdot 162,111 = 186,43 \text{ МПа} < 311,41 \text{ МПа};$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю штабобульба симетричного Т24710 є стійкою. Обраний профіль підходить.

Стінка вертикального кіля підкріплюється з обох боків кіля бракетами, які приварюються до неї. Відстань між бракетами дорівнює одній шпациї $a = 0,8 \text{ м}$.

Товщина бракет дорівнює товщині суцільного флора. $S_c = 15 \text{ мм}$.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		113

3.4.4. Бортовий набір вантажних танків

Система набору борту в районі вантажних танків у суден довжиною менше 180 м може бути поперечною чи поздовжньою, для суден довжиною більше 180 м – поздовжньою. При подвійному борті мінімальна відстань між зовнішнім і внутрішнім бортами – не менше $b_{min} \geq 2,0$ м. Зовнішній і внутрішній борти мають однакову систему набору. При розробці бортового набору в курсовому проекті в залежності від вибраної системи набору викреслюються схеми (див. рис. 3.4.4.1.).

При поперечній системі набору по висоті борту можуть бути встановлені бортові стрингери на відстані не більше 3,5 м один від одного, від палуби чи від основної площини.

При поперечній системі набору борта можуть бути встановлені, а при поздовжній системі повинні бути встановлені рамні шпангоути. Площина їх установки повинна співпадати з площиною установки суцільних флорів, а також з площиною рамних бімсів, якщо такі є.

Прогін l звичайного шпангоута заміряється між бортовими стрингерами; рамного шпангоуту – між кромками флору і рамного бімса; бортового стрингера – між рамними шпангоутами. Прилюбій системі набору в конструкції з подвійним бортом повинні бути встановлені рамні шпангоути і рамні стояки або суцільні вертикальні діафрагми, які закріплюються на суцільних флорах і рамних бімсах. Якщо подвійний борт набрано за поперечною системою, то установлюються також бортові стрингери і горизонтальні рами або листові платформи.

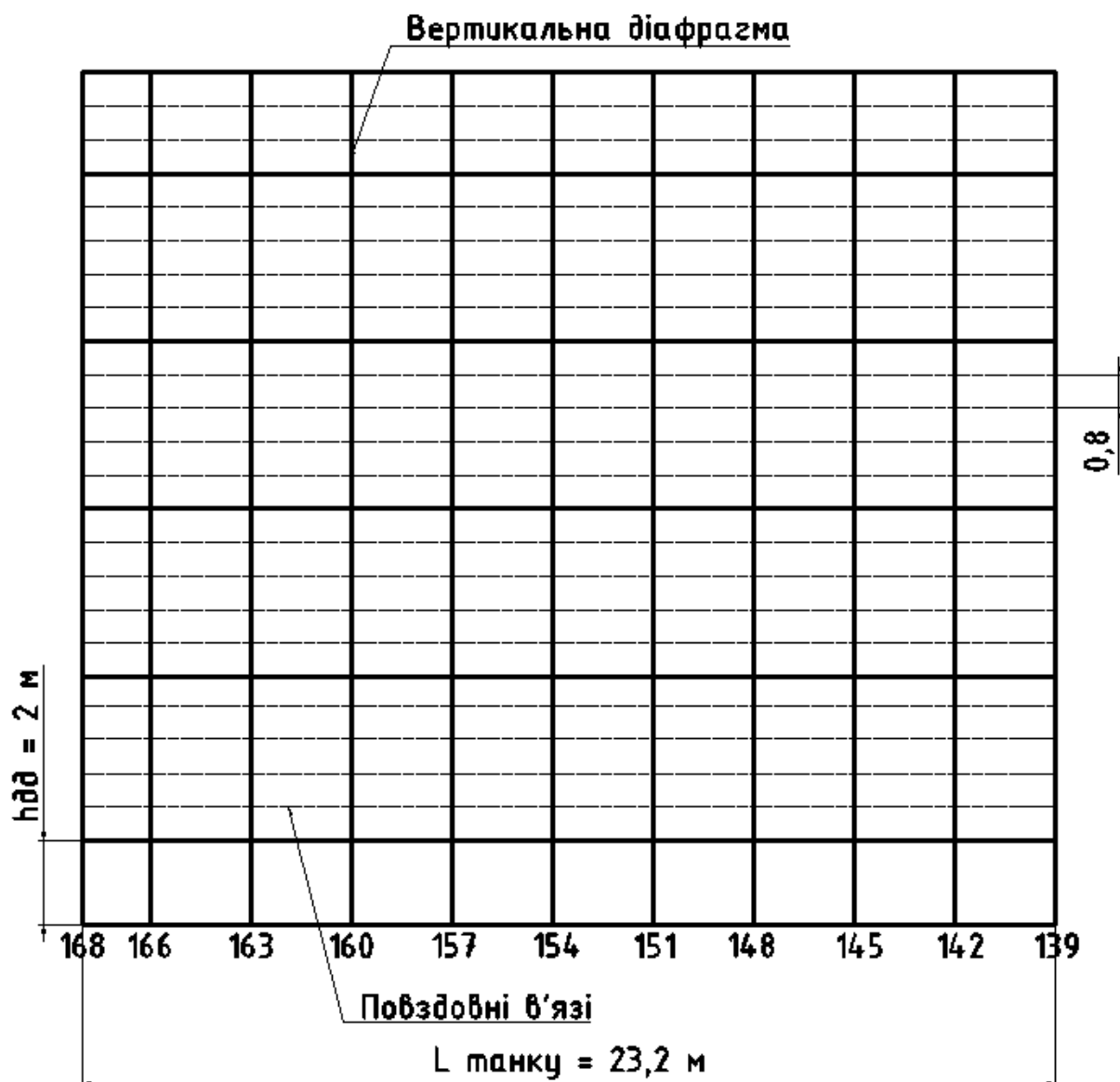


Рис. 3.4.4.1. – Схема бортового перекриття

3.4.4.1. Надскуловий пояс обшивки борту

Товщина листів з умов міцності має бути не менше ніж розрахована за формулою:

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

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.

Лист

115

де $m = 15,8$,

$k_\sigma = 0,6$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

$a = 0,8$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м;

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

$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$; $a = 0,8$, $b = 2,4$ – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

$\Delta S = 2,04$ – запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

$$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{0,8}{2,4} = 1,03,$$

Приймаємо $k = 1,0$.

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0,78} = 301,3 \text{ МПа};$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{116,586}{0,6 \cdot 301,3}} + 2,28 = 12,43 \text{ мм.}$$

Прийнято $S = 13 \text{ мм.}$

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою (див. пункт 3.4.2.):

$$\sigma_{сод} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5.$$

Критичні напруження $\sigma_{cr} = k\sigma_c$ визначаються за умови стійкості пластин зовнішньої обшивки, при цьому $k = 1,0$ – коефіцієнт запасу стійкості для пластин.

Відношення σ_{cr}/R_{eH} визначає формулу для розрахунку ейлеревих напружень (див. пункт 3.4.2.):

Товщина пластини надскулового пояса, яка відповідає умовам стійкості, знаходиться за формулою (див. пункт 4.1.1.):

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		116

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

де b – бік пластини, що сприймає нормальні стискальні напруження, м;

n – коефіцієнт, що враховує співвідношення боків пластини і розподіл нормальних стискальних напружень уздовж кромки пластини;

ΔS – додаток товщини на знос і корозію, мм.

Розрахуємо ейлерові напруження:

$$\sigma_{сн\partial} = 164,128 \text{ МПа};$$

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad \sigma_{cr} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 164,128 = 164,128 \text{ МПа};$$

$$\frac{\sigma_{cr}}{R_{eH}} = \frac{162,111}{315} = 0,5146 > 0,5 \quad \sigma_e = \frac{0,25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \sigma_{cr}} = \frac{0,25 \cdot 315^2}{315 - 164,128} = 164,42 \text{ МПа};$$

$$\psi = \frac{\sigma_{c2}}{\sigma_{c1}};$$

$$\sigma_{c1} = 164,128 \text{ МПа};$$

$$z_i = 7,029 \text{ м};$$

$$\sigma_{c2} = \frac{|M_{sw} + M_w|}{I^*} \cdot z_i \cdot 10^5 = \frac{6,732 \cdot 10^6}{32,112 \cdot 10^9} \cdot 7,029 \cdot 10^5 \approx 147,357 \text{ МПа};$$

$$\psi = \frac{147,357}{164,128} \approx 0,8978;$$

$$n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{0,8978 + 1,1} \approx 4,20.$$

Тоді пластини надскулового пояса, яка відповідає умовам стійкості:

$$S = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = b \sqrt{\frac{164,42}{0,1854 \cdot 4,2}} + 0,581 = 12,201 \text{ мм}.$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		117

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від

$$S_{min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} \text{ мм} \quad \text{при } L \geq 30 \text{ м};$$

$$S_{min} = (5,5 + 0,04 \cdot 239,9) \cdot \sqrt{0,78} \approx 13,33 \text{ мм}.$$

Приймаю товщину надскулового пояса обшивки борту: $S_{надск} = 16 \text{ мм}$.

Товщину борту приймаю $S_{борту} = 16 \text{ мм}$, а товщину скули, як найбільшу із товщин, тобто $S_{скули} = 15 \text{ мм}$.

3.4.4.2. Проектування конструкцій набору подвійного борту

У дипломній роботі, розглядається, подвійний борт районі вантажного відсіку, виконаний по повздовжній системі набору.

3.4.4.3. Визначення товщини внутрішнього борту

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

де $m = 15,8$;

$k_{\sigma} = 0,6$;

$k = 1,2 - 0,5 \cdot \frac{0,8}{2,4} \approx 1,03$, приймаємо $k = 1$;

$a = 0,8 \text{ м}$;

$\sigma_n = 301,3 \text{ МПа}$;

$\Delta S = 2,52$;

$P = P_{вип} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + 1,5) = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (18,31 + 1,5) = 199,194 \text{ кПа}$ –
розрахунковий тиск;

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{199,194}{0,6 \cdot 301,3}} + 2,52 \approx 15,79 \text{ мм.}$$

$$S_{min} = 0,03 \cdot L + 4,5 = 0,03 \cdot 239,9 + 4,5 = 11,697 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S = 16 \text{ мм.}$

3.4.4.4. Визначення товщини листів зовнішньої обшивки борту

Товщину листів, що знаходяться між скуловим і підширстречним поясами приймаємо рівною $S = 16 \text{ мм.}$

3.4.4.5. Визначення товщини діафрагм і платформ

Діафрагма подвійного борту виконує одночасно роль рамного шпангоута і рамного стояка поздовжньої перегородки (внутрішнього борту); таким чином вона конструюється у вигляді вертикального листа. У будь-якому випадку товщина діафрагм повинна бути не менше, мм

$$S_{min} = 0,018 \cdot L + 6,2 = 0,018 \cdot 239,9 + 6,2 = 10,52 \text{ мм;}$$

Товщину діафрагм приймаємо рівною $S = 11 \text{ мм.}$

Товщину платформи приймаємо рівною $S = 17 \text{ мм.}$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		119

3.4.4.6. Проектування балок зовнішнього та внутрішнього борту

Момент опору балок основного набору визначається за формулою:

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

де $P = 117$ – розрахунковий тиск на рівні середини вертикального кіля і стрингера, кПа;

$a = 0,8$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м;

$l = 2,4$ – прогін балки, м;

$m = 12$;

$k_\sigma = 0,65$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних Правилах;

ω_k – поправка на знос та корозію.

Зовнішній борт:

$$W' = \frac{117 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 301,3} \approx 229,40 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'} \right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{229,40} \right) \approx 0,096;$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,096 \cdot 2,4 = 1,2304;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 229,4 \cdot 1,2304 = 282,25 \text{ см}^3.$$

Обираємо згідно сортаменту профіль штабобульб несиметричний f 206 ($h = 200$ мм, $S_c = 12$ мм, $b_6 = 46$ мм, $F = 31,4$ см², $W = 296$ см³).

Перевіримо на стійкість поздовжні балки зовнішнього борту:

Фактичні ейлерові напруження:

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

де $l = 3 \cdot a = 3 \cdot 0,8 = 2,4$ м – прогін балки;

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		120

$h_c = h - 0,125 \cdot h = 200 - 0,125 \cdot 200 = 175 \text{ мм} = 17,5 \text{ см}$ – розрахункова висота стінки штабобульба;

$f_c = S_c \cdot h_c = 1,2 \cdot 17,5 = 21 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу стінки штабобульба;

$S_n = \frac{f - h \cdot S_c}{b - S_c} = \frac{31,4 - 20 \cdot 1,2}{4,6 - 1,2} = 2,18 \text{ см}$ – товщина бульба штабобульба;

$\Delta S = 0,24 \text{ мм}$.

Тоді:

$$S'_n = S_n - \Delta S = 2,18 - 0,24 = 1,94 \text{ см};$$

$$S'_c = S_c - \Delta S = 1,2 - 0,24 = 0,96 \text{ см};$$

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

$b_{nn} = a = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см}$ – ширина приєднаного пояска;

$F = S'_c \cdot h_c = 0,96 \cdot 17,5 = 16,8 \text{ см}^2$ – площа стінки штабобульба;

$F' = S'_n \cdot b_n = 1,94 \cdot 4,6 = 9,016 \text{ см}^2$ – площа бульба штабобульба;

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

Площа поперечного перерізу штабобульба:

$$f^* = F + F' + F'' = 16,8 + 9,016 + 100,8 = 126,616 \text{ см}^2.$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$\begin{aligned} i^* &= \frac{h_c^2}{1 + \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F} \right) \right] \\ &= \frac{17,5^2}{1 + \frac{2 \cdot 9,016 + 16,8}{2 \cdot 100,8 + 16,8}} \cdot \left[9,016 + \frac{16,8}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 9,016 + 16,8}{2 \cdot 100,8 + 16,8} \right) \right] \\ &\approx 3742,51 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

Фактичне ейлерове напруження:

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		121

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 3742,51}{126,616 \cdot 2,4^2} \approx 1057,1 \text{ МПа.}$$

Потрібні ейлерові напруження:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad k = 1,1; \quad \sigma_c = 40,05 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 1057,1}\right) \approx 291,53 \text{ МПа} \quad - \quad \text{критичне напруження;}$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 40,05 = 44,055 \text{ МПа} < 291,53 \text{ МПа.}$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю штабобульба несиметричного f 206 є стійкою. Обраний профіль підходить.

Внутрішній борт:

$P = 190,346 \text{ кПа}$ – випробувальний напір.

$$W' = \frac{190,346 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 301,3} \approx 155,5 \text{ см}^3 > 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{W'}\right) = \frac{1}{0,15} \left(0,01 + \frac{1}{155,5}\right) \approx 0,109;$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,109 \cdot 2,4 = 1,2616;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 155,5 \cdot 1,2616 = 169,18 \text{ см}^3.$$

Обираємо згідно сортаменту профіль штабобульб несиметричний f 18a ($h = 180 \text{ мм}$, $S_c = 9 \text{ мм}$, $b_6 = 40 \text{ мм}$, $F = 22,2 \text{ см}^2$, $W = 200 \text{ см}^3$).

Перевіримо на стійкість поздовжні балки зовнішнього борту:

Фактичні ейлерові напруження:

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

де $l = 3 \cdot a = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м}$ – прогін балки;

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.З.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		122

$h_c = h - 0,125 \cdot h = 180 - 0,125 \cdot 180 = 157,5 \text{ мм} = 15,75 \text{ см}$ – розрахункова висота стінки штабобульба;

$f_c = S_c \cdot h_c = 0,9 \cdot 15,75 = 14,175 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу стінки штабобульба;

$S_n = \frac{f - h \cdot S_c}{b - S_c} = \frac{22,2 - 18 \cdot 0,9}{4,0 - 0,9} = 1,93 \text{ см}$ – товщина бульба штабобульба;

$\Delta S = 0,24 \text{ мм}$.

Тоді:

$$S'_n = S_n - \Delta S = 1,93 - 0,24 = 1,94 \text{ см};$$

$$S'_c = S_c - \Delta S = 0,9 - 0,24 = 0,66 \text{ см};$$

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

$b_{nn} = a = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см}$ – ширина приєднаного пояса;

$F = S'_c \cdot h_c = 0,66 \cdot 15,75 = 10,395 \text{ см}^2$ – площа стінки штабобульба;

$F' = S'_n \cdot b_n = 1,94 \cdot 4,0 = 7,76 \text{ см}^2$ – площа бульба штабобульба;

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

Площа поперечного перерізу штабобульба:

$$f^* = F + F' + F'' = 10,395 + 7,76 + 100,8 = 118,955 \text{ см}^2.$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$\begin{aligned} i^* &= \frac{h_c^2}{1 + \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F} \right) \right] \\ &= \frac{15,75^2}{1 + \frac{2 \cdot 7,76 + 10,395}{2 \cdot 100,8 + 10,395}} \cdot \left[7,76 + \frac{10,395}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 7,76 + 10,395}{2 \cdot 100,8 + 10,395} \right) \right] \approx 2434,38 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

Фактичне ейлереве напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 2434,38}{118,955 \cdot 2,4^2} \approx 731,9 \text{ МПа.}$$

Потрібні ейлерові напруження:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad k = 1,1; \quad \sigma_c = 181,547 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 731,9}\right) \approx 281,12 \text{ МПа} \quad - \quad \text{критичне напруження;}$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 181,547 = 199,7 \text{ МПа} < 281,12 \text{ МПа.}$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю штабобульба несиметричного f 18a є стійкою. Обраний профіль підходить.

3.4.5. Проектування палубного набору

На наливних судах довжиною 80 м і більше повинна застосовуватись поздовжня система набору палуби. На судах довжиною більше 200 м можуть бути застосовані підсилені поздовжні балки, розташовані в одній вертикальній площині з днищевими стрингерами. Рамні бімси і флори також повинні знаходитись в одній площині (рис. 3.4.5.1.).

Товщина настилу верхньої палуби з урахуванням поздовжнього півпалубного набору повинна забезпечувати одержання необхідного моменту опору палуби W_d .

Прийнята товщина палубного настилу повинна задовольняти вимогам стійкості.

Тоді товщина настилу верхньої палуби:

$$S = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{7,9898}{0,6 \cdot 301,3}} + 2,4 = 4,93 \text{ мм.}$$

Розрахуємо також за умови ударного навантаження вантажу зсередини, де $P = \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0,722 \cdot 9,81 \cdot (0 + 31,72 \cdot 0,27) = 60,66 \text{ кПа.}$

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{60,66}{0,6 \cdot 301,3}} + 2,4 = 9,72 \text{ мм.}$$

Стійкість пластин настилу верхньої палуби розраховується згідно вимог елементів конструкцій корпусу. Розрахунок товщини настилу ВП з умови стійкості:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0,1854 \cdot n}} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{273,67}{0,1854 \cdot 4,15}} \approx 15,09 \text{ мм.}$$

Розрахунок ейлерових напружень було в пункті 4.1.1. Додаткова товщина, в даному розрахунку буде:

$$\Delta S = 0,05 \cdot S' = 0,05 \cdot 15,09 = 0,7545 \text{ мм;}$$

$$S = S' + \Delta S = 15,09 + 0,7545 = 15,8445 \text{ мм.}$$

Мінімальна будівельна товщина настилу верхньої палуби повинна бути не менша від $S_{min} = (7 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (7 + 0,02 \cdot 239,9) \cdot \sqrt{0,78} \approx 10,42 \text{ мм.}$

Для забезпечення міцності судна в районі верхньої палуби, було обрано товщину 18 мм.

3.4.5.2. Визначення профілю поздовжніх балок у районі підпалубної коробки

Момент опору поперечного перерізу балок основного набору катаного профілю визначається за формулою:

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

$P = P_{w0} - 7,5 \cdot a_x \cdot z_i = 32,078 - 7,5 \cdot 0,32 \cdot 8,61 = 11,414$ кПа – тиск (розрахунковий тиск) розташованих вище ватерлінії;

$a = 0,8$ м – шпация;

$l = 2,4$ 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.

Відповідно:

$$W' = \frac{11,414 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301,3} \approx 24,24 \text{ см}^3 < 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = 0,07 + \frac{6}{W'} \leq 0,25 = 0,07 + \frac{6}{24,24} \approx 0,318 \leq 0,25.$$

Приймаємо $\alpha_k = 0,25$.

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,25 \cdot 3,0 = 1,75;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 24,24 \cdot 1,75 \approx 42,42 \text{ см}^3,$$

Мінімальна будівельна товщина стінки повинна бути:

$$S = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 239,9 + 5,5 \approx 11,5 \text{ мм.}$$

Обираємо згідно сортаменту профіль штабобульб несиметричний f 16a ($h = 160 \text{ мм}$, $S_{\text{ст}} = 9 \text{ мм}$, $b_{\text{б}} = 36 \text{ мм}$, $F = 18,0 \text{ см}^2$, $W = 147 \text{ см}^3$).

Поздовжні балки внутрішнього борту приймаємо такі ж як і поздовжні 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 $l = 3 \cdot a = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м}$ – прогін балки;

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

$f_c = S_c \cdot h_c = 0,9 \cdot 14 = 12,6 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу стінки штабобульба;

$S_n = \frac{f - h \cdot S_c}{b - S_c} = \frac{18 - 16 \cdot 0,9}{3,6 - 0,9} = 1,33 \text{ см}$ – товщина бульба штабобульба;

$\Delta S = 0,24 \text{ мм.}$

Тоді:

$$S'_n = S_n - \Delta S = 1,33 - 0,24 = 1,09 \text{ см;}$$

$$S'_c = S_c - \Delta S = 0,9 - 0,24 = 0,66 \text{ см;}$$

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

$b_{nn} = a = 0,8 \text{ м} = 80 \text{ см}$ – ширина приєднаного пояска;

$F = S'_c \cdot h_c = 0,66 \cdot 14 = 9,24 \text{ см}^2$ – площа стінки штабобульба;

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		128

$F' = S'_n \cdot b_n = 1,09 \cdot 3,6 = 3,924 \text{ см}^2$ – площа бульба штабобульба;

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

Площа поперечного перерізу штабобульба:

$$f^* = F + F' + F'' = 9,24 + 3,924 + 100,8 = 113,964 \text{ см}^2.$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$\begin{aligned} i^* &= \frac{h_c^2}{1 + \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F} \right) \right] \\ &= \frac{14^2}{1 + \frac{2 \cdot 3,924 + 9,24}{2 \cdot 100,8 + 9,24}} \cdot \left[3,924 + \frac{9,24}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 3,924 + 9,24}{2 \cdot 100,8 + 9,24} \right) \right] \\ &\approx 1247,24 \text{ см}^4; \end{aligned}$$

Фактичне ейлерове напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 1247,24}{113,964 \cdot 2,4^2} \approx 391,4 \text{ МПа}.$$

Потрібні ейлерові напруження:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad k = 1,1; \quad \sigma_{сВП} = 224,359 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e} \right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 391,4} \right) \approx 251,62 \text{ МПа} \quad - \quad \text{критичне напруження};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 224,359 = 246,8 \text{ МПа} < 251,62 \text{ МПа}.$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю штабобульба несиметричного f16a є стійкою. Обраний профіль підходить.

3.4.5.3. Проектування балок верхньої палуби

Момент опору поперечного перерізу, який вимагається Правилами для поздовжніх балок, повинен визначатися за формулою:

$W = W' \cdot \omega_k$ – момент опору поздовжніх балок W , см^3 :

$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n}$ – момент опору балки до середини строку служби, см^3 ;

$a = 0,8$ м. – відстань між ребрами жорсткості,

$P = \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0,722 \cdot 9,81 \cdot (0 + 31,72 \cdot 0,27) = 60,66$ кПа – загальний тиск, кПа

$l = 2,4$ м. – довжина ребра жорсткості,

$m = 12$;

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

$\sigma_n = 301,3$ МПа;

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{60,66 \cdot 0,8 \cdot 2,4^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 118,94 \text{ см}^3 < 200 \text{ см}^3;$$

$$\alpha_k = 0,07 + \frac{6}{W'} \leq 0,25 = 0,07 + \frac{6}{118,94} \approx 0,12 \leq 0,25.$$

Приймаємо $\alpha_k = 0,12$.

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S = 1 + 0,12 \cdot 3,0 = 1,36;$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 118,94 \cdot 1,36 = 161,76 \text{ см}^3.$$

Обираємо згідно сортаменту профіль штабобульб несиметричний f166 ($h = 160$ мм, $S_{\text{ст}} = 10$ мм, $b_6 = 38$ мм, $F = 21,2 \text{ см}^2$, $W = 165 \text{ см}^3$).

Перевіримо на стійкість поздовжні балки палуби.

Фактичні ейлерові напруження:

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

де $l = 3 \cdot a = 3 \cdot 0,8 = 2,4$ м – прогін балки;

$h_c = h - 0,125 \cdot h = 160 - 0,125 \cdot 160 = 140$ мм = 14 см – розрахункова висота стінки штабобульба;

$f_c = S_c \cdot h_c = 1,0 \cdot 14 = 14,0$ см² – площа поперечного перерізу стінки штабобульба;

$$S_n = \frac{f - h \cdot S_c}{b - S_c} = \frac{21,2 - 16 \cdot 1,0}{3,8 - 1,0} = 1,86 \text{ см} - \text{товщина бульба штабобульба};$$

$$\Delta S = 0,24 \text{ мм.}$$

Тоді:

$$S'_n = S_n - \Delta S = 1,86 - 0,24 = 1,62 \text{ см};$$

$$S'_c = S_c - \Delta S = 1,0 - 0,24 = 0,76 \text{ см};$$

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

$b_{nn} = a = 0,8$ м = 80 см – ширина приєднаного пояса;

$F = S'_c \cdot h_c = 0,76 \cdot 14 = 10,64$ см² – площа стінки штабобульба;

$F' = S'_n \cdot b_n = 1,09 \cdot 3,8 = 4,142$ см² – площа бульба штабобульба;

$F'' = S'_{nn} \cdot b_{nn} = 1,26 \cdot 80 = 100,8$ см² – площа приєднаного пояса.

Площа поперечного перерізу штабобульба:

$$f^* = F + F' + F'' = 10,64 + 4,142 + 100,8 = 115,582 \text{ см}^2.$$

Момент інерції поперечного перерізу балки:

$$i^* = \frac{h_c^2}{1 + \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F}} \cdot \left[F' + \frac{F}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot F' + F}{2 \cdot F'' + F} \right) \right]$$

$$= \frac{14^2}{1 + \frac{2 \cdot 4,142 + 10,64}{2 \cdot 100,8 + 10,64}} \cdot \left[4,142 + \frac{10,64}{6} \cdot \left(2 - \frac{2 \cdot 4,142 + 10,64}{2 \cdot 100,8 + 10,64} \right) \right] \approx 1355,16 \text{ см}^4;$$

Фактичне ейлерове напруження:

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i^*}{f^* \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 1355,16}{115,582 \cdot 2,4^2} \approx 419,32 \text{ МПа.}$$

Потрібні ейлерові напруження:

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}; \quad k = 1,1; \quad \sigma_{cBII} = 224,359 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e} \right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 419,32} \right) \approx 255,84 \text{ МПа} \quad - \quad \text{критичне напруження};$$

$$k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 224,359 = 246,8 \text{ МПа} < 255,84 \text{ МПа.}$$

Так як $k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}$, то балка профілю штабобульба несиметричного f 166 є стійкою. Обраний профіль підходить.

3.4.5.4. Розрахунок рамного бімсу

Момент опору поперечного перерізу, який вимагається Правилами для складених зварних балок, повинен визначатися за формулою:

$$W = W' + \Delta W,$$

де

$$W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n} = \frac{60,66 \cdot 2,4 \cdot 31,72^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 301,3} = 62324,44 \text{ см}^3,$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.3.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		132

$l = B_1 - (B_1 - \text{ширина середнього танку, м, або ширина танку між двома поздовжніми перегородками (між подвійними бортами)});$

ΔW – додаток моменту опору.

$$\Delta W = 0,1 \cdot W' = 0,1 \cdot 62324,44 = 6232,444 \text{ см}^3;$$

$$W = W' + \Delta W = 62324,44 + 6232,444 = 68556,884 \text{ см}^3.$$

Значення моменту опору поперечного перерізу W , см^3 , яке вимагається Правилами, більше за наведене в сортаменті для зварних таврів, то необхідно спроектувати складений профіль балки (3.4.5.4.1.).

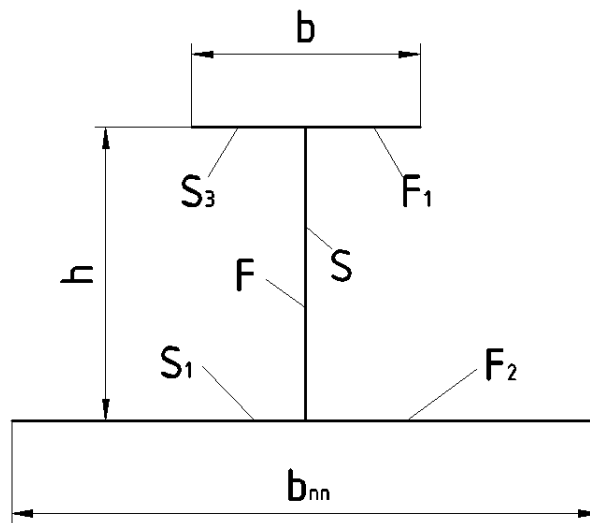


Рис. 3.4.5.4.1. – Проектування рамного бімсу

Висота стінки визначається за формулою:

$$h = 1,16 \sqrt{\frac{W}{0,1S}} = 1,16 \sqrt{\frac{68556,884}{0,1 \cdot 20}} = 214,76 \text{ см};$$

Приймаємо $h = 2200 \text{ мм};$

Площу вільного пояса балки в першому наближенні розраховують за формулою:

$$F_1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} = \frac{68556,884}{220} - \frac{220 \cdot 2}{4,5} = 213,8 \text{ см}^2.$$

Коефіцієнт k уточняється за формулою:

$$k = 6 \cdot \frac{2 \cdot F_2 + F}{4 \cdot F_2 - 2 \cdot F_1 + F} = 6 \cdot \frac{2 \cdot 240 \cdot 1,7 + 220 \cdot 2}{4 \cdot 240 \cdot 1,7 - 2 \cdot 213,8 + 220 \cdot 2} = 4,58.$$

У другому наближенні площа вільного пояса дорівнює:

$$F_1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} = \frac{68556,884}{220} - \frac{220 \cdot 2}{4,58} \approx 215,55 \text{ см}^2.$$

За площиною F_1 приймається ширина вільного пояса b , см

$$b = \frac{F_1}{0,1 \cdot S_3} = \frac{215,55}{0,1 \cdot 24} = 42,1875 \text{ см} = 89,8 \text{ см},$$

де S_3 – товщина вільного пояса, який беремо на 4 мм товстішим, від стінки.

Приймаю $b = 898 \text{ мм}$.

$$F_1 = b \cdot S = 89,8 \cdot 2,4 = 215,52 \text{ мм}^2.$$

Перевіримо момент опору спроектованої балки:

$$\begin{aligned} W &= h \cdot \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot F_1 + F}{2 \cdot F_2 + F} \right) \right] \\ &= 220 \cdot \left[215,52 + \frac{220 \cdot 2}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot 215,52 + 220 \cdot 2}{2 \cdot 240 \cdot 1,7 + 220 \cdot 2} \right) \right] \\ &= 68492,54 \text{ см}^3; \end{aligned}$$

Цей момент опору повинен бути не меншим ніж визначений за правилами, порівняємо: $W = 68492,54 \text{ см}^3 \cong W_{\text{вим}} = 68556,884 \text{ см}^3$.

Момент інерції балки підраховується за формулою:

$$I = W \frac{h}{1 + \frac{2 \cdot F_1 + F}{2 \cdot F_2 + F}} = 68492,54 \cdot \frac{220}{1 + \frac{2 \cdot 215,52 + 220 \cdot 2}{2 \cdot 240 \cdot 1,7 + 220 \cdot 2}} \approx 8897745 \text{ см}^4.$$

3.5. Розрахунок еквівалентного бруса та перевірка загальної повздовжньої міцності

Після визначення розмірів в'язів конструктивного мідель-шпангоута танкера, викреслюється розрахункова схема еквівалентного бруса, в яку входять всі поздовжні в'язи корпусу, що беруть участь у загальному поздовжньому згинанні. Тобто пронумеровано всі частини танкера в схемі від листа днищевої обшивки в 1, до підсиленої палубної балки (вільний пояс) в 40 (рис. 3.5.1.).

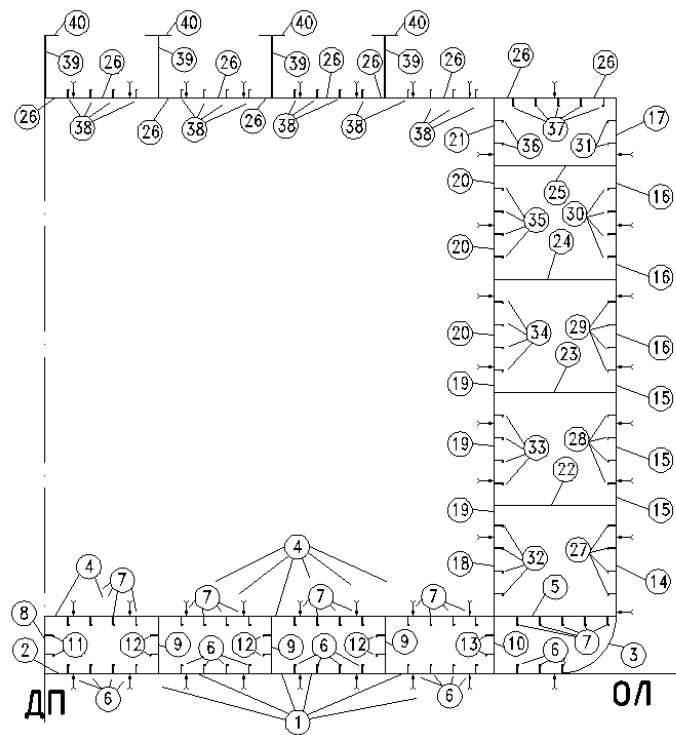


Рис. 3.5.1. – Схема еквівалентного бруса

Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса виробляється у таблиці 3.5.1.

Таблиця 3.5.1. – Розрахунок еквівалентного бруса.

№	Найменування	Товщина, мм	Ширина, мм	$F_i, \text{см}^2$	$Z_i, \text{м}$	$\text{Fix}Z_i, \text{см}^2\cdot\text{м}$	$\text{Fix}Z_i^2, \text{см}^4\cdot\text{м}^2$	$I_i, \text{см}^4\cdot\text{м}^2$	$Z_i-e, \text{м}$
1	Лист днищової обшивки	17	17000	2890,0	0	0,00	0,00	0,00	-9,64
2	Лист днищової обшивки(горизонтальний кінь)	19	1000	190,0	0	0,00	0,00	0,00	-9,64
3	Скуловий лист	15	3462	519,3	0,59	304,21	178,20	34,30	-9,05
4	Лист настилу другого дна	14	15000	2100,0	2,0	4200,00	8400,00	0,00	-7,64
5	Лист настилу другого дна(Мікдонний лист)	16	5160	825,6	2,0	1651,20	3302,40	0,00	-7,64
6	Поздовжні балки днища	P246	19 шт.	828,4	0,15	125,09	18,89	4,83	-9,48
7	Поздовжні балки другого дна	T24710	21 шт.	811,7	1,84	1496,68	2759,88	4,73	-7,79
8	Вертикальний кінь (ВК)	12,5	2000	250,0	1,00	250,00	250,00	83,33	-8,64
9	Днищевий стрингер, 3 шт.	14	2000	840,0	1,00	840,00	840,00	93,33	-8,64
10	Днищевий стрингер (ДС)	14	2000	280,0	1,00	280,00	280,00	93,33	-8,64
11	Горизонтальні ребра жорсткості (БК)	P226	2 шт.	74,4	1,00	74,40	74,40	0,00	-8,64
12	Горизонтальні ребра жорсткості ДС(1)	P22a	6 шт.	196,8	1,00	196,80	196,80	0,00	-8,64
13	Горизонтальні ребра жорсткості ДС (2)	P22a	2 шт.	65,6	1,00	65,60	65,60	0,00	-8,64
14	Листи обшивки зовнішнього борту (Надскуловий пояс)	16	2650	424,0	3,49	1477,64	5149,58	248,13	-6,15
15	Листи обшивки зовнішнього борту (3 листа по 2 м)	16	6000	960,0	7,81	7497,60	58556,26	2880,00	-1,83
16	Листи обшивки зовнішнього борту (3 листа по 2,5 м)	16	7500	1200,0	14,56	17472,00	254392,32	5625,00	4,92
17	Листи обшивки зовнішнього борту (Ширстрек)	19	2000	380,0	19,31	7337,80	141692,92	126,67	9,67
18	Листи обшивки подвійного борту (1 лист по 2,81 м)	16	2810	449,6	3,405	1530,89	5212,67	295,84	-6,23
19	Листи обшивки подвійного борту (3 листа по 2 м)	16	6000	960,0	7,81	7497,60	58556,26	2880,00	-1,83
20	Листи обшивки подвійного борту (3 листа по 2,5 м)	16	7500	1200,0	14,56	17472,00	254392,32	5625,00	4,92
21	Листи обшивки подвійного борту (1 лист по 2 м)	16	2000	320,0	19,31	6179,20	119320,35	106,67	9,67
22	Платформа в середині подвійного борту (1)	17	4300	731,0	5,91	4320,21	25532,44	0,00	-3,73
23	Платформа в середині подвійного борту (2)	17	4300	731,0	9,91	7244,21	71790,12	0,00	0,27
24	Платформа в середині подвійного борту (3)	17	4300	731,0	13,91	10168,21	141439,80	0,00	4,27
25	Платформа в середині подвійного борту (4)	17	4300	731,0	17,91	13092,21	234481,48	0,00	8,27
26	Лист настилу палуби	18	20160	3628,8	20,31	73700,93	1496865,85	0,00	10,67
27	Поздовжні балки зовнішнього борту (4 шт.)	P206	4 шт.	125,6	4,01	503,88	2021,47	0,00	-5,62
28	Поздовжні балки зовнішнього борту (4 шт.)	P206	4 шт.	125,6	7,91	993,50	7858,55	0,00	-1,73
29	Поздовжні балки зовнішнього борту (4 шт.)	P206	4 шт.	125,6	11,91	1495,90	17816,12	0,00	2,27
30	Поздовжні балки зовнішнього борту (4 шт.)	P206	4 шт.	125,6	15,91	1998,30	31792,89	0,00	6,27
31	Поздовжні балки зовнішнього борту (2 шт.)	P206	2 шт.	62,8	19,11	1200,11	22934,06	0,00	9,47
32	Поздовжні балки подвійного борту (4 шт.)	P18a	4 шт.	88,8	4,01	356,25	1429,20	0,00	-5,62
33	Поздовжні балки подвійного борту (4 шт.)	P18a	4 шт.	88,8	7,91	702,41	5556,05	0,00	-1,73
34	Поздовжні балки подвійного борту (4 шт.)	P18a	4 шт.	88,8	11,91	1057,61	12596,11	0,00	2,27
35	Поздовжні балки подвійного борту (4 шт.)	P18a	4 шт.	88,8	15,91	1412,81	22477,78	0,00	6,27
36	Поздовжні балки в подвійного борту (2 шт.)	P18a	2 шт.	44,4	19,11	848,48	16214,53	0,00	9,47
37	Поздовжні балки у районі підпалубної коробки (5 шт.)	P16a	5 шт.	90,0	20,21	1818,90	36759,97	0,23	10,57
38	Поздовжні балки верхньої палуби	P166	16 шт.	339,2	20,41	6923,07	141299,90	0,84	10,77
39	Підсилені палубна балка (стінка)	20x2200	3,5 шт.	1540,0	20,41	31431,40	641514,87	621,00	10,77
40	Підсилені палубна балка (вільний пояс)	20x900	3,5 шт.	630,0	22,51	14181,30	319221,06	0,00	12,87
41			Площа ЕБ	25882,2	Статичний момент	249398,38	4163241,10	18102,24	
42						Момент інерції ЕБ	4181343,34		

Після заповнення перших восьми стовпців в Excel табл. 3.5.1. обчислюються їх суми:

A – площа еквівалентного бруса – сума площ поперечного перерізу зв'язків.

B – статичний момент площі перерізу еквівалентного бруса – сума статичних моментів його зв'язків.

C – момент інерції площі еквівалентного бруса щодо осі порівняння – сума переносних та власних моментів інерції поперечних перерізів зв'язків.

Знаючи суми A , B , C , можна визначити положення нейтральної осі розрахункового перерізу (еквівалентного бруса), головний центральний момент інерції площі поперечного перерізу щодо нейтральної осі та моменти опору палуби та днища.

1. Відстань від нейтральної осі до основної площини:

$$e = \frac{B}{A} = \frac{249398,38}{25882,2} \approx 9,64 \text{ м.}$$

2. Головний центральний момент інерції поперечного перерізу:

$$I = 2 \left(C - \frac{B^2}{A} \right) = 2 \cdot \left(4181343,34 - \frac{249398,38^2}{25882,2} \right) / 10^4 = 355,91 \text{ м}^4.$$

3. Момент опору днища:

$$W_{\text{дн}} = \frac{I}{e} = \frac{355,91}{9,64} = 36,91 \text{ м}^3.$$

4. Момент опору палуби:

$$W_{\text{нал}} = \frac{I}{(D - e)} = \frac{355,91}{(20,31 - 9,64)} = 33,32 \text{ м}^3.$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби і днища порівняємо з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру: $W_{\text{норм}} = 30,6383 \cdot 10^6 \text{ см}^3 \approx 30,64 \text{ м}^3$, $I_{\text{норм}} = 26,593 \cdot 10^9 \text{ см}^4 = 265,93 \text{ м}^4$.

Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо:

$$W_{\text{дн}} \geq W_{\text{норм}}; \quad W_{\text{нал}} \geq W_{\text{норм}}; \quad I \geq I_{\text{норм}}.$$

$$W_{\text{дн}} = 36,91 \text{ м}^3 > W_{\text{норм}} = 30,64 \text{ м}^3; \quad W_{\text{нал}} = 33,32 \text{ м}^3 > W_{\text{норм}} = 30,64 \text{ м}^3;$$

$$I = 355,91 \text{ м}^4 > I_{\text{норм}} = 265,93 \text{ м}^4.$$

Редагуємо схему еквівалентного бруса, й оформлюється креслення набору конструктивного мідель-шпангоуту, відповідності ЄСКД (рис.3.5.2.).

Висновок

Всі вимоги виконуються. Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.4.						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Шведов А. О.			Перевірка міцності зовнішньої одшивки судна.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Консультант		Коростильов Л. І.							140	6	
Керівник		Пащенко Ю. М.						НУК ім. адм. Макарова			
Зав.каф		Некрасов В. О.									

4. Перевірка міцності зовнішньої обшивки днища

Перевірка міцності на згинання зовнішньої обшивки днища здійснюється у відповідності з вимогами Норм міцності морських судів.

4.1. Вихідні дані для перевірки міцності зовнішньої обшивки днища

Таблиця 1.1 – Головні розміри судна

Категорія	Позначення	Величина, м
Довжина між перпендикулярами, м	$L_{\perp\perp}$	239,9
Ширина, м	B	40,320
Висота борту, м	D	20,310
Осадка, м	d	11,700
Коефіцієнт загальної повноти	C_b	0,886
Коефіцієнт повноти МШ	C_M	0,995
Швидкість ходу експлуатаційна, вузли	v	15

4.2. Розрахункова схема пластини днищового перекриття

При поздовжній системі набору днища розрахунковим є прямокутне поле зовнішньої обшивки, що обмежується жорстким днищевим набором – поздовжніми ребрами жорсткості (вертикальним кілем, днищевими стрингерами) та суцільними флорами, що встановлюються через декілька шпаций. Відношення довгої сторони a поля b до короткої завжди більше одиниці – $\gamma = a/b > 1$.

У дипломній роботі приймається:

$$b = 800 \text{ мм};$$

$$a = 3b = 3 \cdot 800 = 2400 \text{ мм};$$

$$\gamma = 2400/800 = 3 > 1.$$

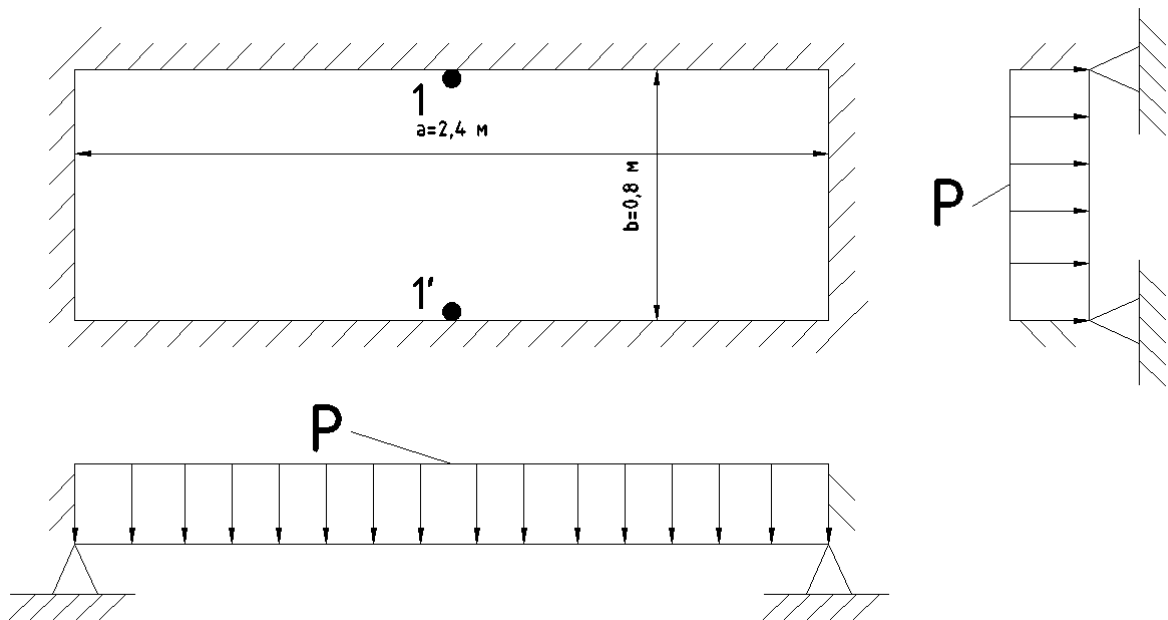


Рисунок 4.1. – Розрахункова схема пластини днища з вказаним розташування найбільш напружених точок 1 та 1'

4.3. Розрахункове навантаження

Розрахункове навантаження P на пластину днища відповідно до Норм міцності визначається без протитиску зсередини по формулі.

$$P = P_{st} + P_{w_0} = 117,65 + 32,24 = 149,89 \text{ кПа},$$

де P_{st} – розрахунковий статичний тиск води, а P_{w_0} – тиск, що зумовлений хитавицею на хвилюванні.

$$P_{st} = \rho_e \cdot g \cdot d = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 11,7 = 117,65 \text{ кПа};$$

$$P_{w_0} = \rho_e \cdot g \cdot \frac{h_1}{2} \cdot a_v \cdot a_x = 1,025 \cdot 9,81 \cdot \frac{10,04}{2} \cdot 1,996 \cdot 0,32 = 32,24 \text{ кПа},$$

де $\rho = 1,025 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$ – щільність морської води;

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

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.4.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		142

d – осадка судна на рівні поля, що перевіряється на міцність, м,

h_1 – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах, що визначається або за графіком Норм міцності, або за формулами.

$$h_1 = k_c \cdot C_w = 1 \cdot 10,04 = 10,04 \text{ м},$$

$$k_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} \leq 1 = 1,05 - \frac{2425}{239,9^2 + 8530} = 1,01 > 1,$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{\frac{3}{2}} = 10,75 - \left(\frac{300 - 239,9}{100} \right)^{\frac{3}{2}} \approx 10,04 \leq 10,75;$$

a_v, a_x – параметри хитавиці, що розраховуються за наближеними залежностями.

$$a_v = \frac{0,8 \cdot v_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5 = \frac{0,8 \cdot 15 \left(\frac{239,9}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{239,9}} + 1,5 \approx 1,996;$$

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \cdot \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267 = 0,8 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{71,97}{239,9} \right) \geq 0,267 = 0,32 \geq 0,267.$$

У відповідних зазначених вище формулах.

v_0 – швидкість судна на тихій воді, у вузлах;

L – довжина судна, в м;

x_1 – відстань від центра поля пластини до носового перпендикуляра, в м;

$k_x = 1,25$ – для пластин, що розташовані в ніс від міделя.

Приймаємо: $k_c = 1$.

4.4. Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини

На розрахунковій схемі (рис. 4.1) небезпечні точки 1 та 1' вказані по середині довгої сторони опорного контуру.

Відповідно до теорії згину тонких пластин максимальне нормальне напруження σ_{max} у вказаних точках визначаються за формулою.

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot M}{t^2} = \frac{6 \cdot 6264,62}{17^2} = 130,06 \text{ МПа}.$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.4.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		143

В якій.

t – товщина пластини, в мм,

M – погонний момент в точках 1, 1' опорного контуру.

$$M = k \cdot P \cdot b^2 \cdot 10^{-3} = 0,0832 \cdot 117,65 \cdot 800^2 \cdot 10^{-3} \approx 6264,62 \text{ Н},$$

$P = 117,65$ – розрахунковий тиск, в кПа;

$b = 800$ – менший розмір пластини (шпація), в мм;

$k = 0,0832$ – коефіцієнт, що залежить від відношення довжин кромки пластини $\gamma = a/b$, визначається по довідниковим таблицям згину ізотропних жорстких пластин за умов жорсткого закріплення на опорному контурі.

4.5. Перевірка умов міцності та висновки

Умова міцності має вигляд.

$$\sigma_{max} \leq k_{\sigma} \cdot \sigma_m^H,$$

де $\sigma_{max} = 130,06$ – максимальне згинаюче напруження, МПа;

σ_m^H – нормативна границя плинності матеріалу за нормальними напруженнями, МПа.

$$\sigma_m^H = k_H \cdot R_{сн} = 0,97 \cdot 315 = 305,55 \text{ МПа},$$

$$k_H = \frac{1}{1 + 0,16 \left(\frac{R_{сн}}{235} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{1 + 0,16 \left(\frac{315}{235} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} \approx 0,97;$$

$R_{сн} = 315$ – границя плинності, в МПа;

$k_{\sigma} = 1,1$ – коефіцієнт допустимих напружень, який відповідно до Норм для пластин днища приймається по таблиці 1.1 (для відстані $0,25L$ від носу).

Відповідно умова міцності має вигляд:

$$k_{\sigma} \cdot \sigma_m^H = 1,1 \cdot 305,55 = 345,27 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{max} = 130,06 \text{ МПа} \leq k_{\sigma} \cdot \sigma_m^H = 345,27 \text{ МПа}.$$

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.4.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		144

Висновок

Умова міцності пластини, товщина якої 17 мм, виконується у відповідності з вимогами Норм міцності морських суден.

					24.БДР.135.4111.29.ПЗ.4.	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		145

Загальний висновок

Відповідно із завдання для дипломної роботи, було спроектовано танкер типу «Large/Long Range 1» для перевезення нафти. У процесі роботи були визначені: розміри судна у двох наближеннях та параметри головного двигуна. 3D-модель судна була створена за допомогою програми Maxsurf Modeler Advanced, в якій ще було виконано лінійне та параметричне перетворення.

В програмі Maxsurf Stability Enterprise, знайдені обсяги і центри ваги приміщень, виконано розрахунки елементів плавучості та початкової стійкості, виконано удиферентування судна. Відповідно після чого, складено діаграму статичної та динамічної остійності, а також перевірено критерій погоди, перевірено відповідність діаграми статичної остійності судна до вимог правил Регістру судноплавства України.

Відповідно до «Правил класифікації та будівництва судів» Регістру судноплавства України, було спроектовано та конструктивний мідель-шпангоут судна. Перевірку загальної міцності судна, з'ясувала, що загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою.

Перевірка міцності на згинання зовнішньої обшивки днища, теж виконується у відповідності з вимогами Норм міцності морських суден.

Було побудовано в середовищі AutoCAD: теоретичне креслення, креслення гідростатичних кривих, діаграму статичної остійності, загальне розташування, конструктивний мідель-шпангоут судна.

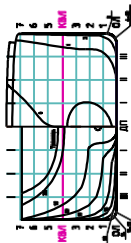
Перелік використаної літератури

1. Особливості проєктування морських транспортних суден: Навчальний посібник. Частина 1/ О.В. Бондаренко, О.І. Кротов, Л.О. Матвєєв, С.О. Прокудін – Миколаїв: УДМТУ, 2004. – 73 с . (дата звернення 15.02.2025);
2. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. Т. 1–2. – Київ, 2002. (дата звернення 15.03.2025);
3. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2003 (дата звернення 07.03.2025);
4. Проєктування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден: Методичні вказівки / В. Г. Матвєєв, А. І. Кузнецов, Б. М. Мартинець, Б. М. Михайлов, А. М. Узлов, М. А. Цибенко, Г. В. Шарун. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 76 с. (дата звернення 02.04.2025);
5. Матвєєв В.Г., Шарун Г.В. Проєктування конструктивного мідель-шпангоута навалочних суден: Методичні вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 64 с. (дата звернення 16.04.2025);
6. Михайлов Б.Н. Методичні вказівки щодо виконання практичних завдань щодо конструкції корпусу судна. – Миколаїв: НУК, 2006. – Ч. 1. – 28 с. (дата звернення 11.05.2025);
7. Проєктування конструктивного мідель-шпангоута наливних суден: Методичні вказівки / О.М. Узлов. Миколаїв: УДМТУ, 2003. - 89 с. (дата звернення 02.04.2025);
8. <https://maritimeforum.net/data/spravochnik/tanker.html> (дата звернення 16.06.2025).

ДОДАТКИ

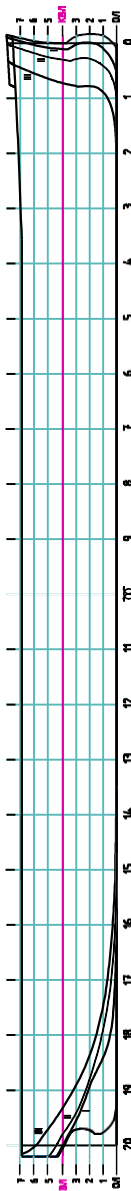
24.БДР.135.4111.29.01

Корпус

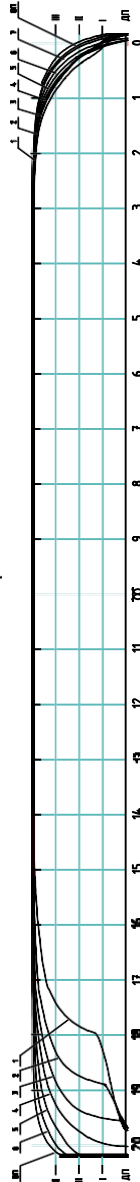


Головні розміри судна:
Довжина надбівня, $L_n = 244,13$ м
Довжина між перпендикулярів, $L_m = 239,9$ м
Довжина по КВЛ, $L_{kv} = 240,52$ м
Ширина, $B = 40,32$ м
Висота борту, $D = 20,31$ м
Осадка по КВЛ, $d = 11,7$ м
Водотоннажність об'єму, $V = 10374,3$ м³
Абсциса центра вальчини, $x_c = 5,753$ м
Апсциса центра вальчини, $z_c = 6,039$ м
Коефіцієнт заглиблені поборти, $C_b = 0,886$
Коефіцієнт поборти площі зручної вальчини, $C_{wp} = 0,922$
Коефіцієнт поборти площі мітель-шпансета, $C_{sp} = 0,995$
Теретична шпация, $\Delta L = 11,995$ м

Бік



Напівшироота



24.БДР.135.4111.29.01

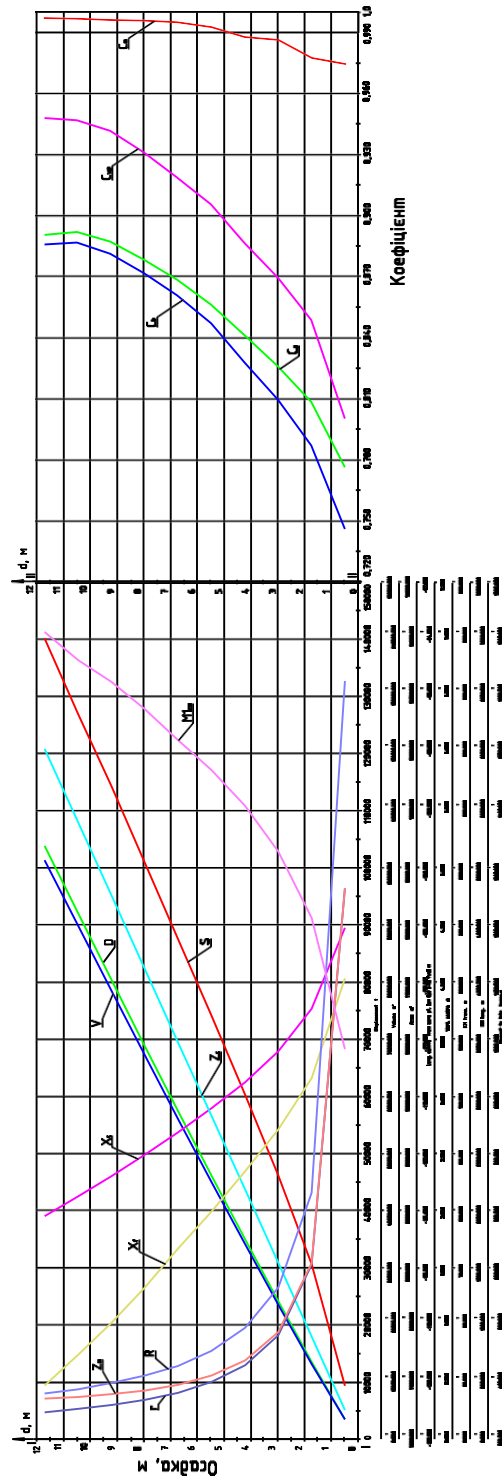
Теоретичне
креслення

Танкер з вантажопідйомністю
79200 т

Літера	Маса, кг	Масштаб
Аркуш 1	Аркуші 5	

НУК

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Студент		Шведов А.О.		
Консультант		Пашенко Ю.М.		
Керівник		Пашенко Ю.М.		
Зав. кафедри		Некрасов В.О.		



V – об'ємна водотонажність судна, м³;
D – масова водотонажність судна, т;
S – площа змоченої поверхні, м²;
X_c – абсциса центру величини, м;
Z_c – абсциса центру величини, м;
X_f – абсциса центру ваги площі ватерлінії, м;
Z_f – абсциса поперечного метacentру, м;
r – поперечний метacentричний радіус, м;
R – поперечний метacentричний радіус, м;
M₁ – момент, що диференціює на 1 см, т м/см.

Абсциса центра величини від носового перпендикуляра, м
Абсциса центра ваги площі ватерлінії від носового перпендикуляра, м

V – об'ємна водотонажність судна, м³;
D – масова водотонажність судна, т;
S – площа змоченої поверхні, м²;
X_c – абсциса центру величини, м;
Z_c – абсциса центру ваги площі ватерлінії, м;
X_f – абсциса поперечного метacentру, м;
Z_f – абсциса поперечного метacentру, м;
r – поперечний метacentричний радіус, м;
R – поперечний метacentричний радіус, м;
M₁ – момент, що диференціює на 1 см, т м/см.

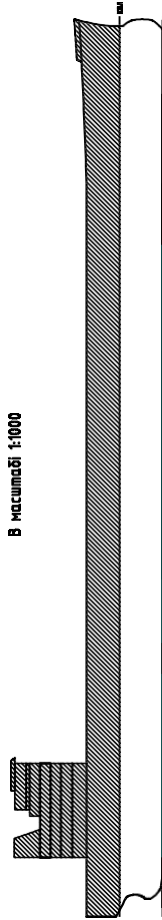
Криві X_c, Z_c, X_f, Z_f, r, R, V, D, S від осі H
Криві S_b, S_w, S_w, S_w від осі H-H

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Студент		Шведов А.О.		
Консультант		Пашенко Ю.М.		
Керівник		Пашенко Ю.М.		
Зав. кафедри		Некрасов В.О.		

24.БДР.135.4111.29.02							
Гідростатичні криві				Літера		Маса, кг	Масштаб
				Аркуш 2		Аркушів 5	
Танкер з вантажопідйомністю 79200 т				НУК			

Перевірка остійності судна за Регістром судноплавства України

В масштабі 1:1000



1. Розрахунок емпіричної хитаваті:

$$\begin{aligned} B &= 99 \cdot K \cdot X \cdot Y / (1 - S) \\ K &= 100 \\ X &= 0,998 \text{ (для } B/T = 40,32/11,7 = 3,45) \\ Y &= 1,00 \text{ (для } G = 0,86) \\ Z &= 12,548 \text{ м - емпірична ширину бази} \\ C &= 0,73 - 0,012 \cdot e^{-0,1/d} = 0,73 - 0,012 \cdot 145 - 11,7/11,7 = 0,753 \\ C &= 0,73 - 0,012 \cdot 8/6 - 0,043 / 100 = 0,73 - 0,023 - 40,32/11,7 - 0,043 \cdot 240,52/100 = 0,3460 \\ h &= 5,784 \text{ м} \\ Z &= 2 \cdot C \cdot B / h = 2 \cdot 0,3460 \cdot 40,32 / 5,784 = 4,764 \text{ м} \\ S &= 0,078 - 1/11,7 - 0,0405 - 0,179/100 - 90 - 0,067 \\ B &= 99 \cdot 10,918 \cdot 1 / (0,753 - 0,067) = 22,47^\circ \text{ - емпірична хитаваті} \end{aligned}$$

2. Розрахунок кренцального моменту (а) в залежності від типу підпора по перекидальному моменту (b):

$$\begin{aligned} A &= 9393,6 \text{ м}^2 \text{ - площа корпусу} \\ Z &= 18,789 \text{ м - відстань центру парусності до ОД} \\ Z &= 20 \cdot 7/2 = 9,795 - 11,7/2 = 12,859 \text{ м - площа парусності} \\ A &= 504 \text{ тс (для судна медичного району подвійної)} \\ g &= 9,81 \text{ м/с}^2 \text{ - прискорення вільного падіння} \\ D &= 183743 \text{ т - водотональність судна} \\ A_{\text{кр}} = (A \cdot Z) / (1000 \cdot g \cdot D) = [504 \cdot 2693,6 \cdot 12,859] / (1000 \cdot 9,81 \cdot 183,743) = 0,0771 \text{ м} \\ A_{\text{кр}} = 15 \cdot A_{\text{кр}} = 15 \cdot 0,0771 = 0,0256 \text{ м} \end{aligned}$$

3. Крітерій погоди:

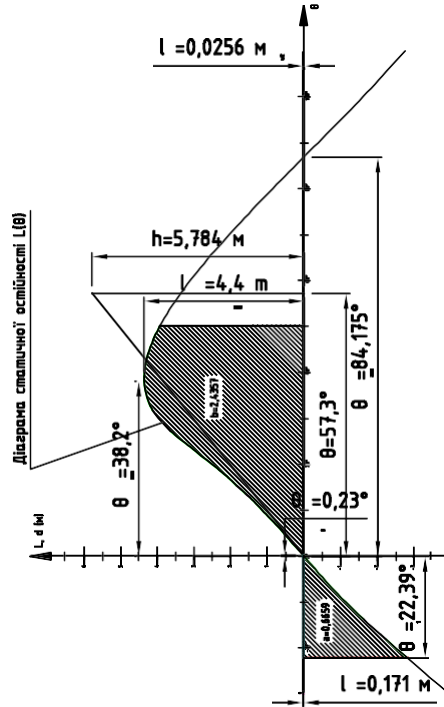
$$\begin{aligned} K &= D/g \cdot x \\ K &= 0,6659 \text{ град} \\ K &= 24,357 \text{ град} \\ K &= D/g = 24,357/0,6659 = 3,66 \pm 1 \end{aligned}$$

Відповідно вказан Провил Регістру до остійності

Значення	Судно	Регістр
K	2,08	K ± 1
L _{кр} , м	1,4	L _{кр} ± 0,2
B _{кр} , м	38,2	B _{кр} ± 0,5
B _{кр} , м	87,175	B _{кр} ± 0,5
B _{кр} , м	5,784	B _{кр} ± 0,25
S _{кр}	0,861 град	S _{кр} ± 0,05 град
S _{кр}	1,767 град	S _{кр} ± 0,09 град
S _{кр} - S _{кр}	0,1427 град	S _{кр} - S _{кр} ± 0,03 град

Висновок: Спроектоване судно відповідає усім вказан Регістру судноплавства України за вказаними остійності.

Рисунок 1 Розрахунок площі парусності

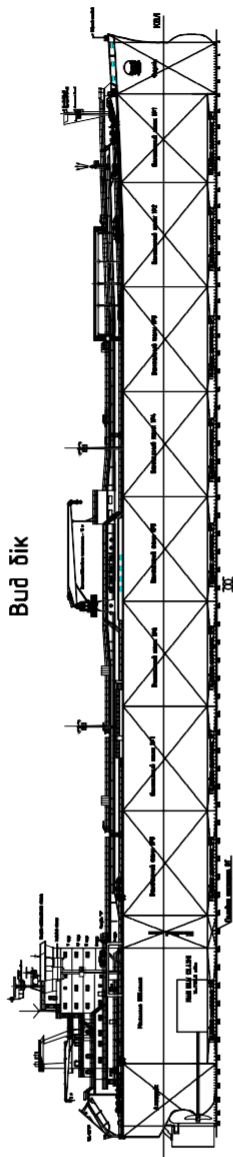


Перевірка остійності

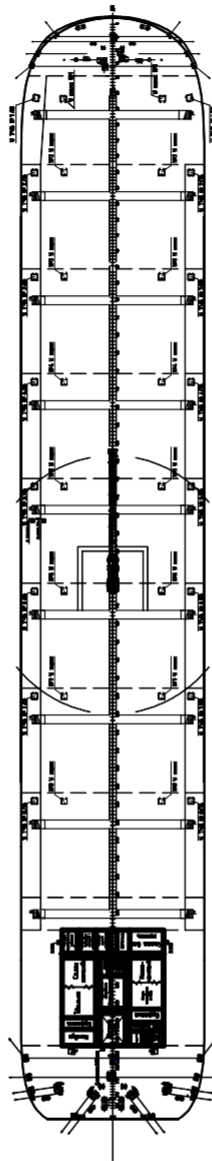
Танкер з вантажопідйомністю 79200 т

Літера			Маса, кг	Масштаб
Аркуш 3			Аркушів 5	
НУК				

24.БДР.135.4111.29.04



Вид зверху



№	Найменування	Розмірність	Позначення	Значення
1	Довжина надбавка	м	L _н	244,13
2	Довжина між перпендикулярно	м	L _п	239,9
3	Ширина	м	B	40,32
4	Висота борту	м	D	20,31
5	Осадка	м	d	11,7
6	Дайвізм при практичній осадці	м	DW	82292
7	Вантажопідіймальність	т	P _в	79200
8	Маса вантажівки вантажівки	кг	MAN B&W 12L42HC	
9	Максимальна потужність	кВт	N	1840
10	Частота обертання врівноваженого вала	об/хв	n	116
11	Дальність плавання	миль	R	15500
12	Дальність плавання	миль	R	15500
13	Швидкість судна експлуатаційна	вузл	у	15,0
14	Екстра	об/хв	-	24
15	Клас	об/хв	MAN B&W 12L42HC	

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Студент		Шведов А.О.		
Консультант		Пашенко Ю.М.		
Керівник		Пашенко Ю.М.		
Зав. кафедри		Некрасов В.О.		

24.БДР.135.4111.29.04

Загальне
розташування

Танкер вантажопідійомністю
79200 т

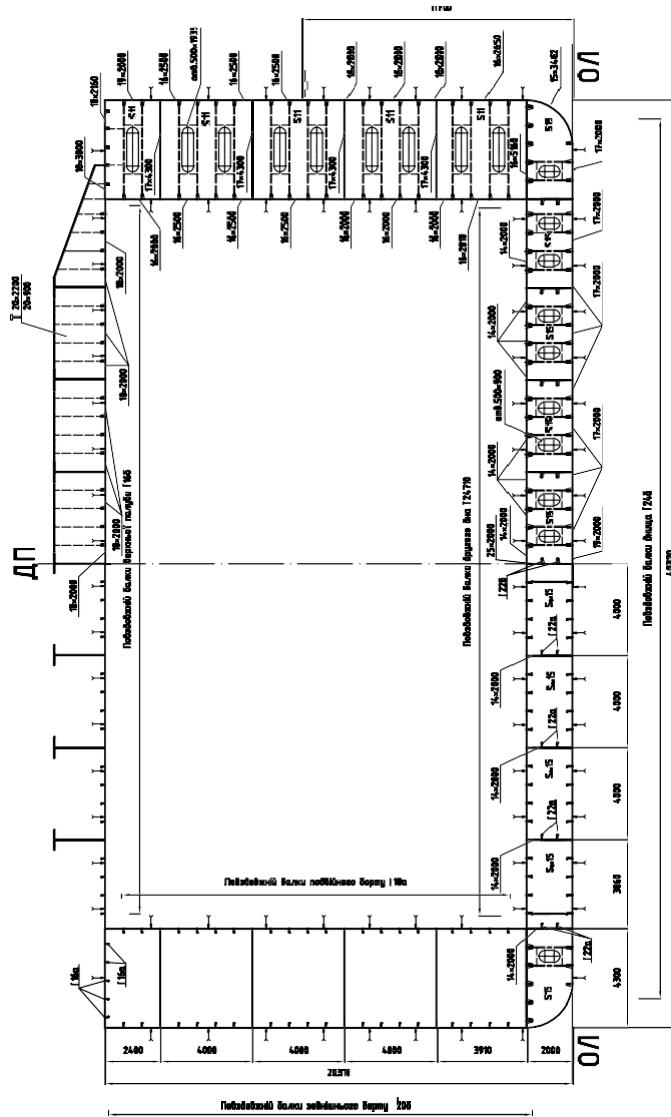
Літера	Маса, кг	Масштаб
Аркуш 4	Аркуш 5	

НУК

24.50P.135.411.29.05

154 шп. дуб. в ніс

155 шп. дуб. в нис



24.БДР.135.4111.29.05

Набір конструктивного мідель-шпанзоуту корпусу

Танкер вантажопідйомністю
79200 т

Літера

Maca, kg

Macamamā

Арқуш 5

Аркушів 5

НУК