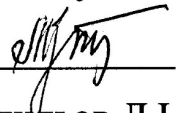


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра будівельної механіки та
конструкції корпусу корабля

“Допущений до захисту”

Завідувач кафедри 

д. т. н. професор Коростильов Л.І.

« 24 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

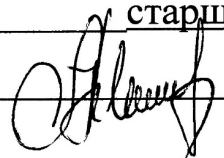
на тему: Танкер вантажепідйомністю 36 150 т. Tanker with a carrying capacity of 36 150 tons.

Виконав: студент 4111 групи

 Носенко Н.О.

Керівник роботи:

старший викладач

 Клименков С.Ю.

Кораблебудівний навчально-науковий інститут
Кафедра Будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр
Напрямок підготовки 13 Механічна інженерія
Спеціальність 135 Суднобудування

[Signature]

«05» лютого 2025 року

(прізвище, ім'я, по батькові)

4.3. Будівельна механіка корабля.

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

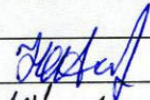
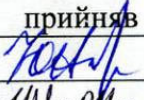
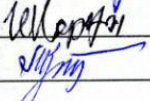
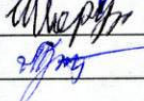
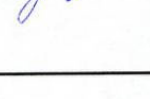
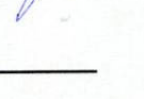
5.1. Теоретичне креслення.

5.2. Загальне розташування

5.3. Епюра ємності

5.4. Конструктивний мідель-шпангоут.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4.1.	Пащенко Ю.М.		
4.2.	Шарун Г.В.		
4.3.	Коростильов Л.І.		

7. Дата видачі завдання 5.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення головних розмірів судна	<u>10.03.2025р.</u>	<u>Виконано</u>
2	Набір елементів корпусу судна за Правилами Регістру судноплавства України	<u>07.04.2025р.</u>	<u>Виконано</u>
3	Перевірка міцності пластин зовнішньої обшивки	<u>12.05.2025р.</u>	<u>Виконано</u>

Студент


(підпис)

Носенко Н.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Клименков С.Ю.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ВИБІР ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТАНКЕРА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 36 150Т.....	5
РОЗДІЛ 2. НАБІР КОРПУСУ ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРА	22
РОЗДІЛ 3. ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ ЗОВНІШНЬОЇ ОБШИВИ ДНИЩА КОРПУСУ СУДНА ..	57
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ	65

					КННІ.КР.135.04.4111.18.ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анотація

Кваліфікаційна робота містить розрахунок основних елементів і характеристик танкера вантажепідйомністю 36 150 т. Розраховано водотоннажність, характеристики форми корпусу, головні розміри та потужність головного дщвигуна. За допомогою програми Maxsurf modeler отримано ординати для побудови теоретичного креслення та значення елементів плавучості та початкової остійності. Виконано розрахунок місткості вантажних танків та об'ємів цистерн для палива. Обчислено таблицю вагового навантаження та розраховані координати центру ваги для удиферентування танкеру на тихій воді. Побудовані теоретичне креслення, епюра ємності та креслення загального розташування. Розраховано набір корпусу за Правилами Регістру Судноплавства України. Також перевірено міцність зовнішньої обшивки днища корпусу судна.

Ключові слова: ТАНКЕР, ПРОЕКТУВАННЯ, КОНСТРУЮВАННЯ, КОРПУС СУДНА.

The qualification work contains calculation of the basic elements and characteristics of the tanker of 36 150 ton cargo capacity. The displacement, hull shape characteristics, main dimensions and main engine power were calculated. Using the Maxsurf modeler program, the ordinates for constructing a theoretical drawing and the values of buoyancy and initial stability elements were obtained. The capacity of cargo tanks and volumes of fuel tanks were calculated. The capacity of cargo tanks and volumes of fuel tanks were calculated. The weight load table and the coordinates of the center of gravity were calculated for the tanker's differentiation in calm water have been obtained. The theoretical drawing, the volume diagram and general arrangement drawings have been constructed. Sizes of hull elements was constructed according to the Rules of the Ukrainian Shipping Register. Also the strength of the outer plating of the bottom of the vessel's hull was checked.

Keywords: TANKER, DESIGN, CONSTRUCTION, SHIP HULL.

					24.ДР.6.051201.4112.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Танкер - торгівельне судно, яке призначене для перевезення наливом нафти або нафтопродуктів.

Набір корпусу судна являє собою жорсткий металевий каркас, до якого прикріплена металева обшивка. Корпус ділиться перегородками на ряд відсіків (танків), які заповнюються вантажем. Обсяг одного танка може становити від 600 до 10.000 м³ і більше для багатотоннажних танкерів.

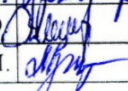
Існують два основних типи нафтових танкерів: танкер для перевезення сирої нафти і танкер для перевезення готових нафтопродуктів. Танкера сирої нафти мають величезні розміри і перевозять як правило великі обсяги нерафінованої сирої нафти з місця видобутку до нафтопереробних заводів. Танкера-продуктовози мають набагато менші розміри, та транспортують нафтохімічні продукти від нафтопереробних заводів (НПЗ) до точок поблизу ринків споживання.

Суда розміром «Handysize» зазвичай відносяться до суховантажних (і рідше до танкерів) з дедвейтом близько 15 000 – 35 000 тонн. Такі суда є дуже поширеними, оскільки дозволяють їм входити в невеликі порти, і в більшості випадків вони оснащені кранами, що також дозволяє їм самостійно робити навантаження і розвантаження вантажів у портах, в яких відсутні вантажно-розвантажувальні системи.

Судна з розмірами «Handysize» будують на багатьох суднобудівних верфях в Японії, Кореї, Китаї, В'єтнамі, Україні, на Філіппінах і в Індії.

Незважаючи на численні замовлення транспортних компаній на судна новітніх типів, випуск «Handysize» залишається досить поширеним.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.01			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проектування форми корпусу танкера вантажепідйомністю 36 150 т	Літ	Аркуш	Аркушів
Студент		Носенко Н.О.		24.06.25				
Консульт.		Пашенко Ю.М.		24.06.25				
Руковод.		Клименков С.Ю.		24.06.25		НУК		
Зав. Кафедр.		Коростильов Л.І.		24.06.25				

1. ВИБІР ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТАНКЕРА

ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 36 150Т.

1.1 Визначення елементів проекту в першому наближенні

1.1.1 Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності складається алгебраїчне рівняння мас виду:

$$D = P_{\kappa} + P_o + P_{ey} + P_{пвм} + P_{заб} + P_{зв} + P_{б} + P_{в}. \quad (1)$$

$$\bar{D} = 8685 + 2518 + 931 + 2410 + 319 + 20 + 36630 = 51512,$$

де $\bar{D}$ – водотонажність, P_{κ} , P_o , P_{ey} , $P_{пвм}$, $P_{заб}$, $P_{зв}$, $P_{б}$, $P_{в}$ – маса розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, води і масла, забезпечення, запасу водотоннажності, баласту і вантажу, що перевозиться відповідно.[1]

Таблиця 1.1 Розрахункові формули для вимірників мас розділів навантаження прототипу

Вимірник маси корпусу	$a_{\kappa} = \frac{\bar{P}_{\kappa}}{\bar{D}}$	0,1686
Вимірник маси обладнання	$q_{об} = \frac{\bar{P}_{об}}{\bar{D}^{2/3}}$	1,8186
Вимірник маси енергетичної установки	$q_{ey} = \frac{\bar{P}_{ey}}{\bar{N}_{ey}^e}$	0,0903
Вимірник маси запасу водотоннажності	$a_{зв} = \frac{\bar{P}_{зв}}{\bar{D}}$	0,0004
Вимірник маси палива	$q_{ТВ} = \frac{\bar{P}_{ТВ} \bar{V}_{\epsilon}}{\bar{N}_{ey}^e \bar{R}}$	0,0003
Вимірник маси забезпечення	$a_{заб} = \frac{\bar{P}_{заб}}{\bar{D}}$	0,0062

Для складання і розв'язання рівняння мас необхідно розрахувати адміралтейські коефіцієнти C_v и C_e для швидкості ходу на випробуваннях та експлуатаційної швидкості відповідно.

Таблиця 1.2 Розрахункові формули для адміралтейських коефіцієнтів

Адміралтейський коефіцієнт для експлуатаційної швидкості	$C_e = \frac{\bar{D}^{2/3} \bar{v}_e^3}{\bar{N}_{ey}^e}$	526,2
Адміралтейський коефіцієнт для швидкості на випробуваннях	$C_e = \frac{\bar{D}^{2/3} \bar{v}_e^3}{\bar{N}_{ey}^e}$	520,2

де $\bar{D}$ – водотоннажність прототипу;

$\bar{N}_{ey}^e, \bar{N}_{ey}^e$ – потужність енергетичної установки на випробуваннях та експлуатаційна відповідно. [1]

У якості вимірника маси запасу водотонажності приймаємо рекомендоване значення $a_{зв} = 0,01$

Після підстановки розрахункових формул для складових навантаження мас проектного судна вираз (1) буде мати вигляд:

$$D = a_{\kappa} D + a_{заб} D + a_{зв} D + q_0 D^{2/3} + q_{ey} D^{2/3} \frac{v_e^3}{C_e} + q_{пвм} D^{2/3} \frac{v_e^2}{C_e} R + P_e ;$$

Перетворимо рівняння в наступний вигляд:

$$D \cdot (1 - a_{\kappa} - a_{заб} - a_{зв}) - D^{2/3} \cdot (q_0 + q_{ey} \cdot \frac{v_e^3}{C_e} + q_{пвм} \cdot \frac{v_e^2}{C_e} \cdot R) - P_e = 0 ; \quad (2)$$

$$D \cdot (1 - 0,1686 - 0,0062 - 0,01) - D^{2/3} \cdot (1,8186 + 0,0903 \cdot \frac{15,9^3}{543} + 0,00022 \cdot \frac{15,4^2}{550} \cdot 15\,000) - 36\,150 = 0 ;$$

$$D \cdot 0,8152 - D^{2/3} \cdot 4,3036 - 36\,150 = 0 .$$

Використовуючи метод підбору в програмі Excel вирішимо рівняння (2) і отримаємо водотоннажність проекту в 1-му наближенні:

$$D_1 = 51\,668 \text{ т} ;$$

Відповідно до знайденої величини водотоннажності обчислюємо маси розділів навантаження судна-проекту.

Таблиця 1.3 Маса розділів навантаження судна-проекту

Маса корпусу (т)	$P_{\kappa} = a_{\kappa} D$	8711
Маса обладнання (т)	$P_o = q_o D^{2/3}$	2523
Маса енергетичної установки (т)	$P_{ey} = q_{ey} D^{2/3} \frac{v_e^3}{C_e}$	968
Маса забезпечення (т)	$P_{заб} = a_{заб} D$	320
Маса запасу водотоннажності (т)	$P_{зв} = a_{зв} D$	517
Маса палива (т)	$P_{пвм} = q_{пвм} D^{2/3} \frac{v_e^2}{C_e} R$	2479
Повна водотоннажність (т)	D	51668

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

Для визначення коефіцієнтів повноти необхідно спочатку розрахувати число Фруда:

для проекту –
$$Fr = \frac{0.514 \cdot v_e}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{0,514 \cdot 15,4}{\sqrt{9,81 \cdot 196,25}} = 0,1805;$$

для прототипу –
$$\bar{Fr} = \frac{0.514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g \cdot \bar{L}}} = \frac{0,514 \cdot 15,4}{\sqrt{9,81 \cdot 178,48}} = 0.1893.$$

Таблиця 1.4 Розрахунок коефіцієнтів повноти

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
загальної повноти	$C_b = 1.23 - 2.44 Fr$	0,793	0,787	0,793
поздовжньої повноти	$C_p = 1 - \frac{0.41}{1 + 100 \exp(-25 Fr)}$	0,805	0,793	0,805
повноти мідель-шпангоута	$C_m = \frac{C_b}{C_p}$	0,985	0,993	0,993
повноти ватерлінії	$C_w = 1.04 C_p^{2/3}$	0,874	0,915	0,915

У першому наближенні відношення головних розмірів можна визначити за прототипом:

- відношення ширини до осадки:

$$\left(\frac{B}{T}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{T}} = \frac{32,20}{11,1} = 2,901;$$

- відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{H}{T}\right)_1 = \frac{\bar{H}}{\bar{T}} = \frac{18,6}{11,1} = 1,676;$$

- відношення довжини до ширини:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \frac{\bar{L}}{\bar{B}} = \frac{178,48}{32,2} = 5,543.$$

1.1.3 Розрахунок головних розмірів у першому наближенні

Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

$$D_1 = k_{\text{вч}} \rho C_b L_1 B_1 T_1, \quad (3)$$

де $k_{\text{вч}} = 1,01$ – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи теоретичного креслення частини корпусу.

Запишемо це рівняння у функції відношень головних розмірів:

$$D_1 = k_{\text{вч}} \rho C_b (L/B)_1 B_1^3 (T/B)_1.$$

З цього рівняння спочатку визначаємо B_1 , потім інші головні розміри судна-проекту

Таблиця 1.5 Розміри проекту у першому наближенні

Ширина судна (м)	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/T)_1}{k_{\text{вч}} \rho C_b (L/B)_1}}$	32,06
Довжина судна (м)	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	178,63
Осадка судна (м)	$T_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{T}\right)_1}$	11,11
Висота борту (м)	$H_1 = T_1 \left(\frac{H}{T}\right)_1$	15,81

1.2 Визначення елементів проекту в другому наближенні

1.2.1 Розрахунок водотоннажності

Для визначення водотоннажності у другому наближенні використаємо рівняння мас, виражене у функції головних розмірів. Визначаємо складові навантаження:

– маса корпусу $P_k = q_k C_b^n LBH$;

– маса обладнання $P_o = q_o (LBH)^{2/3}$.

При визначенні маси енергетичної установки і маси палива значення потужності головного двигуна на відповідних режимах визначено за допомогою адміралтейських коефіцієнтів:

$$N_{ey}^e = \frac{D^{2/3} v_e^3}{C_e}; \quad N_{ey}^e = \frac{D^{2/3} v_e^3}{C_e}.$$

Вирази для маси забезпечення $P_{заб}$ і запасу водотоннажності $P_{зв}$, значення яких у навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінними [1]:

$$P_{заб} = a_{заб} D; \quad P_{зв} = a_{зв} D.$$

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

$$P_o = q_o (LBH)^{2/3} = D^{2/3} (q_o (\frac{H}{T} \frac{1}{\rho_e k_{вч} C_b})^{2/3}).$$

З врахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$D(1 - q_k \frac{C_b^n}{C_b} \frac{H}{T} \frac{1}{\rho_e k_{вч}} - a_{заб} - a_{зв}) = D^{2/3} (q_o (\frac{H}{T} \frac{1}{\rho_e k_{вч} C_b})^{2/3} + q_{ey} \frac{v_e^3}{C_e} + q_{нвм} k_{мз} k_{доп} \frac{v_e^2 R}{C_e}) + P_e. \quad (4)$$

Таблиця 1.6 Розрахунок коефіцієнтів рівняння мас

Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу	$C_b^n = C_b \left(\frac{T}{H} \right) + 1.05 C_w \left(1 - \left(\frac{T}{H} \right) \right)$	0,8604
Вимірник маси корпусу	$q_k = \frac{\bar{P}_k}{\bar{C}_b \bar{LBH}}$	0,1032
Вимірник маси обладнання	$q_o = \frac{\bar{P}_o}{(\bar{LBH})^{2/3}}$	1,118
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1,10
Коефіцієнт збільшення запасів палива	$k_{доп}$	1,20

$n = 1 - q_k \frac{C_b^n}{C_b} \frac{H}{T} \frac{1}{\rho_{\epsilon} k_{\epsilon}} - a_{заб} - a_{зв}$	0,8024
$m = q_0 \left(\frac{H}{T} \frac{1}{\rho_{\epsilon} k_{\epsilon} C_b} \right)^{2/3} + q_{ey} \frac{v_{\epsilon}^3}{C_{\epsilon}} + q_{пвм} k_{мз} k_{дон} \frac{v_e^2 R}{C_e}$	4,856
$t = P_{\epsilon}$	36150
Розв'язок рівняння $D_2 =$	53662
Перевірка: (5) $nD - mD^{2/3} - t = 0 =$	-0,000002

Значення H/T приймається за результатами першого наближення $\left(\frac{H}{T} \right)_1 = 1,676$.

Використовуючи метод підбору параметрів у програмі Ехсел вирішимо рівняння (5) отримаємо водотоннажність проекту в 2-му наближенні

$$D_2 = 53\,662 \text{ т.}$$

Знаходимо маси розділів навантаження судна-проекту:

Таблиця 1.7 Розрахунок маси статей навантаження

Маса корпусу	$P_k = q_k \frac{C_b^n}{C_b} \frac{H}{T} \frac{1}{\rho_{\epsilon} k_{\epsilon}} D$	9734
Маса постачання	$P_{заб} = a_{заб} D$	332
Маса запасу водотоннажності	$P_{зв} = a_{зв} D$	537
Маса обладнання	$P_o = q_o \left(\frac{H}{T} \frac{1}{\rho_{\epsilon} k_{\epsilon} C_b} \right)^{2/3} D^{2/3}$	2560
Маса енергетичної установки	$P_{ey} = q_{ey} N_{ey}^{\epsilon}$	993
Маса палива	$P_{пвм} = q_{пвм} k_{мз} k_{дон} N_{ey}^e \frac{R}{v_e}$	3356
Маса вантажу	P_{ϵ}	36150
Повна водотонажність	$D = P_k + P_o + P_{ey} + P_{пвм} + P_{заб} + P_{зв} + P_{\epsilon}$	53662

Перевірка : $D=53662=D_2$.

1.2.2 Уточнення головних розмірів з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності і плавності хитавиці

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

Визначення відношення висоти борту до осадки з умови вантажомісткості.

Відношення H/T суховантажних суден може бути виражене залежністю

$$\left(\frac{H}{T}\right)_{\text{вмс}} \geq \frac{k_{\text{вч}}}{1-\nu} \frac{\gamma}{\eta_{\text{вд}}} \left[\frac{\eta_{\text{в}}}{\gamma_{\text{с}}} (1+C) + \frac{\eta_{\text{бал}}}{\gamma_{\text{бал}}} \right] + \frac{H_{\text{дд}}}{T}, \quad (6)$$

де $\gamma_{\text{в}} = 0,735 \text{ т/м}^3$ – питома вага вантажу;

$k_{\text{вч}} = 1,01$ – коефіцієнт частин, що виходять за межі корпусу;

$\nu = 0,05$ – коефіцієнт, що враховує недолив і об'єм набору танку;

$C = 0,02$ – коефіцієнт, що враховує наявність відстійного танку;

$\eta_{\text{в}} = \frac{P_{\text{с}}}{D} = \frac{36150}{53662} = 0,6737$ – коефіцієнт утилізації водозміщення під вантаж;

$\eta_{\text{бал}} = 0$ – коефіцієнт утилізації водозміщення під баласт;

$\eta_{\text{вд}} = \frac{\bar{L}_{\text{т}}}{L} = \frac{132,52}{178,48} = 0,7425$ – коефіцієнт використання довжини судна під вантаж,

відношення довжини судна до сумарної довжини танків (за прототипом);

$\gamma = \gamma_{\text{бал}} = 1,025 \text{ т/м}^3$ – питома вага води і баласту;

$\frac{H_{\text{дд}}}{T}$ – відношення висоти другого дна до осадки, приймаємо в проекті 0,16.

$$\left(\frac{H}{T}\right)_{\text{вмс}} \geq \frac{1,01}{1-0,05} \frac{1,025}{0,7425} \left[\frac{0,6737}{0,735} (1+0,02) + 0 \right] + 0,16 = 1,532$$

Визначення відношення ширини до осадки

Для уточнення відношення B/T , прийнятого в першому наближенні по прототипу, використовується умова початкової остійності

$$\left(\frac{B}{T}\right) = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_{\text{р}} \alpha^2}{3\delta} \left(\zeta_{\text{с}} \frac{H}{T} - 0,5 \left(\frac{\alpha}{\delta} \right)^{0,5} \right)}}{\frac{k_{\text{р}} \alpha^2}{6 \delta}}, \quad (7)$$

де $\zeta_{\text{с}}$ – відносна висота центра мас, визначається за прототипом;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.01	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$k_p = 0,6 + 1,2\alpha - 0,8\alpha^2 = 0,6 + 1,2 \cdot 0,915 - 0,8 \cdot 0,915^2 = 1,03$ – для S -подібної форми вантажної ватерлінії носової кінцівки

Визначаємо (h/B) за прототипом:

$$\frac{h}{B} = \frac{3,66}{32,2} = 0,114.$$

За статистичними даними для танкерів

$$\frac{h}{B} = 0,08 \div 0,15.$$

Визначим $(h/B)_{\max}$ за формулою Хогварда:

$$\frac{h}{B} \leq \frac{C_\tau^2 B}{[\tau]^2} = \frac{0,826^2 \cdot 32,06}{13^2} = 0,130,$$

де $[\tau]$ – допустимий період бортової хитавиці, який відповідно до Правил Регістру повинен бути не менше 12 с;

$$C_\tau = \frac{2}{3} \sqrt{1,05 \frac{\alpha^2}{\delta} + 4\zeta_g^2 \left(\frac{H}{B}\right)^2} = \frac{2}{3} \sqrt{1,05 \frac{0,915^2}{0,793} + 4 \cdot 0,566^2 \left(\frac{18,6}{32,2}\right)^2} = 0,826;$$

З рівняння (7)

$$\left(\frac{B}{T}\right) = \frac{0,114 + \sqrt{0,114^2 + \frac{1,03 \cdot 0,915^2}{3 \cdot 0,793} \left(0,566 \cdot 1,532 - 0,5 \left(\frac{0,915}{0,793}\right)^{0,5}\right)}}{\frac{1,03 \cdot 0,915^2}{6 \cdot 0,793}} = 2,96$$

За прототипом $\left(\frac{B}{T}\right) = \frac{32,2}{11,1} = 2,9$. **Приймаємо** $\left(\frac{B}{T}\right) = 2,9$.

Визначення відношення довжини до ширини

– у другому наближенні

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \left(\frac{T}{B}\right)_2 \cdot k_{\text{вч}} \cdot \rho} = \sqrt{4,84^3 \cdot 0,793 \cdot \left(\frac{1}{2,90}\right) \cdot 1,01 \cdot 1,025} = 5,66;$$

– за прототипом

$$\frac{\bar{L}}{B} = 5,54.$$

Приймаємо $\frac{L}{B} = 5,54$.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.01	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.3 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних вимірювань використовуємо рівняння плавучості:

$$D_2 = k_6 \rho_6 C_b L_2 B_2 T_2, \quad (8)$$

де $k_6 = 1,01$ – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи ТЧ частини корпусу. [2] Використовуючи відношення головних розмірів запишемо рівняння у вигляді:

$$D_2 = k_6 \rho_6 C_b (L/B)_2 B_2^3 (T/B)_2 = 1,01 \cdot 1,025 \cdot 0,793 \cdot 5,54 \cdot 32,5^3 \cdot (1/2,9) = 53\,662 ;$$

Таблиця 1.8

Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	179,9
Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{D_2 (B/T)_2}{k_6 \rho_6 C_b (L/B)_2}}$	32,5
Осадка судна (м)	$T_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{T}\right)_2}$	11,2
Висота борту (м)	$H_2 = T_2 \left(\frac{H}{T}\right)_2$	17,2

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

1.3 Побудова теоретичного креслення і розрахунок елементів плавучості і початкової остійності

Для побудови теоретичного креслення використовується програма Maxsurf Modeler Advanced. Отримані ординати експортуємо в AutoCAD, у якому будуємо теоретичне креслення судна- проекту (КННІ.КР.135.04.4111.18.01).

Для розрахунку елементів плавучості і початкової остійності використовуємо програму Maxsurf Stability Enterprise. За отриманими даними побудовані гідростатичні криві (КННІ.КР.135.04.4111.18.02).

Зменшені копії теоретичного креслення і побудовані гідростатичні криві знаходяться в додатках А і Б.

1.4 Розрахунок потужності на ЕОМ, вибір головного двигуна і рушія судна

Для прийнятих головних розмірів і коефіцієнтів повноти виконуємо розрахунок упору гвинта і необхідної буксирувальної потужності в Maxsurf Resistance.

Будуємо графіки залежності необхідної потужності від швидкості у діапазоні $v_e \pm 0,5$ вуз. При максимальній швидкості 15,7 вуз розраховані:

Опір руху судна $R_T = 776,3$ кН;

Потужність опору $P_R = 6350$ кВт.

Упор гвинта

$$T = \frac{R_T}{1-t} = \frac{776,3}{1-0,1} = 863 \text{ кН.}$$

Діаметр гвинта

$$D = 0,7d = 0,7 \cdot 11,2 = 7,8 \text{ м.}$$

$$K_{DT \text{ опт}} = 0,514vD(1-0,32C_b-0,1)\sqrt{\frac{\rho}{T}} = \frac{0,514 \cdot 14,2 \cdot 7,8(1-0,32 \cdot 0,793-0,1)}{\sqrt{\frac{1,025}{863}}} = 2,5$$

Обираємо стандартний рушій z4-100. За діаграмою $K_{DT} - J$ обираємо оптимальні параметри гвинта:

Коефіцієнт упора гвинта $K_T = 0,18$

Відносний крок гвинта $J = 1,09$

Відносний крок перерізу лопаті (гвинтової координати) $P/D = 1,37$

Оптимальна частота обертів $n_{об} = 1,1 \text{ с}^{-1} = 66 \text{ мин}^{-1}$

ККД гвинта у вільній воді $\eta_0 = 0,715$

Розраховуємо пропульсивний коефіцієнт $\eta_D = \eta_0 \eta_H \eta_S \eta_R \eta_G = 0,708$

Необхідна потужність ЕУ

$$P_e = \frac{P_R}{\eta_D} = \frac{6350}{0,708} = 8965 \text{ кВт.}$$

З каталогу двигунів обираємо 7S46МС:

Потужність 9170 кВт

Частота обертання 129 об⁻¹

Витрата палива 174 г/кВтч

Габарити (ДхШхВ) 7005х2924х8575 мм

Маса 199 т

Криві розрахунку потужності і характери стик гвинта знаходяться в додатку В.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.01	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Розрахунок місткості трюмів, об'ємів цистерн для палива

1.5.1 Початкова розстановка поперечних водонепроникних перегородок

Відповідно до вимог РСУ [1] кількість водонепроникних перегородок для суден довжиною 165...185 м з кормовим розташуванням машинного відділення становить 9 штук. Отже судно має 10 відсіків (форпик, ахтерпик, МО, та 7 вантажних трюмів). Довжина форпіку $5...8\% L > 10$ м. Довжина вантажних відсіків $10\text{ м} \leq l_{\text{танк}} \leq 0,2L = 36$ м.

Фактична шпация: $a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 180,3 + 0,48 = 0,840$ м;

Приймаємо $a_0 = 800$ мм.

Згідно з вимогами РСУ, шпация не повинна перевищувати 600 мм для форпіку та 750 мм для ахтерпіку;

Приймаємо $a_{\text{фор}} = 600$, $a_{\text{ахт}} = 700$ мм.

Висота другого дна визначається висотою вертикального кіля:

$$h_{\text{дд}} = 0,16d = 0,16 \cdot 11,2 = 1,79 \text{ м}; \quad 1\text{ м} \leq h_{\text{дд}} \leq 2\text{ м}.$$

Приймаємо $h_{\text{дд}} = 1,8$ м.

Таблиця 1.9 Поділ судна на відсіки

Шпация	Відсік	Довжина
0 – 18	Форпик	$L_{\text{фор}} = 18 \times 0,6 = 10,8$ м
18 – 41	Танк №1	$L_{\text{Т1}} = 23 \times 0,8 = 18,4$ м
41 – 65	Танк №2	$L_{\text{Т2}} = 24 \times 0,8 = 19,2$ м
65 – 89	Танк №3	$L_{\text{Т3}} = 24 \times 0,8 = 19,2$ м
89 – 113	Танк №4	$L_{\text{Т4}} = 24 \times 0,8 = 19,2$ м
113 – 137	Танк №5	$L_{\text{Т5}} = 24 \times 0,8 = 19,2$ м
137 – 161	Танк №6	$L_{\text{Т6}} = 24 \times 0,8 = 19,2$ м
161 – 185	Танк №7	$L_{\text{Т7}} = 24 \times 0,8 = 19,2$ м
185 – 218	МВ	$L_{\text{МВ}} = 33 \times 0,8 = 26,4$ м
218 – 231	Ахтерпик	$L_{\text{ахт}} = 13 \times 0,7 = 9,1$ м
Сума		179,90 м

1.5.2 Побудова епюри ємності і розрахунок місткості

Після визначення головних розмірів і коефіцієнтів повноти судна треба перевірити його вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується з достатньою для цього точністю за допомогою епюри ємності необхідні розрахунки представлені в табличній формі (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

№ з/п	Назва приміщення	Теоретичний об'єм м ³	Перехідн. коефіцієнт k	Обсяг під вантаж м ³	Плечі, м	
					x	z
1	2	3	4	5	6	7
1	Танк №7	6800	0,98	6664	-45,98	8,11
2	Танк №6	7600	0,98	7448	-25,41	8,11
3	Танк №5	7600	0,98	7448	-6,86	8,11
4	Танк №4	7600	0,98	7448	12,5	8,11
5	Танк №3	7600	0,98	7448	31,86	8,11
6	Танк №2	7600	0,98	7448	51,63	8,11
7	Танк №1	5100	0,98	4998	71,39	8,11
8	Відст. цист.	1050	0,98	1029	-56,87	8,11
Σ		50950		49931		
1	ЛБ Бал. цист. №7	1360	0,95	1292	-45,98	9,6
2	ЛБ Бал. цист. №6	1120	0,95	1064	-25,41	9,6
3	ЛБ Бал. цист. №5	1120	0,95	1064	-6,86	9,6
4	ЛБ Бал. цист. №4	1120	0,95	1064	12,5	9,6
5	ЛБ Бал. цист. №3	1120	0,95	1064	31,86	9,6
6	ЛБ Бал. цист. №2	1120	0,95	1064	51,63	9,6
7	ЛБ Бал. цист. №1	1040	0,95	988	71,39	9,6

Продовження таблиці 1.10						
1	2	3	4	5	6	7
8	ПрБ Бал. цист. №7	1360	0,95	1292	-45,98	9,6
9	ПрБ Бал. цист. №6	1120	0,95	1064	-25,41	9,6
10	ПрБ Бал. цист. №5	1120	0,95	1064	-6,86	9,6
11	ПрБ Бал. цист. №4	1120	0,95	1064	12,5	9,6
12	ПрБ Бал. цист. №3	1120	0,95	1064	31,86	9,6
13	ПрБ Бал. цист. №2	1120	0,95	1064	51,63	9,6
14	ПрБ Бал. цист. №1	1040	0,95	988	71,39	9,6
Σ		16000		15200		
1	Цистерна МВ	350	0,95	333	-65,65	0,9
2	Цистерна відст. цист.	85	0,95	81	-56,87	0,9
3	Цистерна №7	880	0,95	836	-45,98	0,9
4	Цистерна №6	1050	0,95	998	-25,41	0,9
5	Цистерна №5	1050	0,95	998	-6,86	0,9
6	Цистерна №4	1050	0,95	998	12,5	0,9
7	Цистерна №3	1000	0,95	950	31,86	0,9
8	Цистерна №2	900	0,95	855	51,63	0,9
9	Цистерна №1	680	0,95	646	71,39	0,9
Σ		7045		6695		
1	Форпик	2140	0,97	2076	86,31	10,5
2	Ахтерпик	580	0,97	563	-85,91	14,5

Перевірка.

$$W'_{ep} = 49931 \text{ м}^3 > W_{ep} = \frac{P_{ep}}{\mu_{ep}} = \frac{36150}{0,735} = 49184 \text{ м}^3;$$

$$\text{Похибка } \varepsilon = \frac{49931 - 49184}{49931} \cdot 100\% = 1,5\% \leq 5\% .$$

Таблиця 1.11 Розрахунок маси і координат центра ваги вантажу (Ргр=35000 т)

№ з/п	Приміщення	Р _{гр} , т	Координати, м		Момент, т.м	
			x	z	M _x	M _z
1	Танк №7	4824,73	-45,98	8,11	-221841	39129
1	Танк №6	5392,35	-25,41	8,11	-137020	43732
2	Танк №5	5392,35	-6,86	8,11	-36992	43732
3	Танк №4	5392,35	12,5	8,11	67404	43732
4	Танк №3	5392,35	31,86	8,11	171800	43732
5	Танк №2	5392,35	51,63	8,11	278407	43732
6	Танк №1	3618,55	71,39	8,11	258328	29346
7	В. Цист.	745	-56,87	8,11	-42368	6042
Сума		Σ	$x_g = \frac{\Sigma_1}{\Sigma} = 9,34$	$z_g = \frac{\Sigma_2}{\Sigma} = 8,11$	Σ1	Σ2
		36150			337718	293177

Таблиця 1.12 Розрахунок маси і координат центра ваги палива (Рп=1861 т)

№ п/п	Назва приміщення	Р _т	Координати, м		Момент, т.м	
			x	z	M _x	M _z
1	Цистерна МВ	247	-65,65	0,9	-16216	222
2	Від. цистерн.	60	-56,87	0,9	-3412	54
3	Цистерна №6	621	-45,98	0,9	-28554	559
3	Цистерна №6	741	-25,41	0,9	-18829	667
4	Цистерна №5	741	-6,86	0,9	-5083	667
5	Цистерна №4	0	12,5	0,9	0	0
6	Цистерна №3	0	31,86	0,9	0	0
7	Цистерна №2	0	51,63	0,9	0	0
8	Цистерна №1	0	71,39	0,9	0	0
Сума		Σ	$x_g = \frac{\Sigma_1}{\Sigma} = -29,91$	$z_g = \frac{\Sigma_2}{\Sigma} = 0,9$	Σ1	Σ2
		2410			-72094	2169

1.6 Визначення координат ЦТ і удиферентування проекту

Положення ЦМ визначається спочатку розрахунком з використанням епюри ємності і навантаження мас. [2] При цьому абсциси і аплікати розділів: корпус, обладнання, запас водотоннажності, енергетична установка і постачання визначаються перерахунком з судна прототипу, пропорційно до довжині і висоті борту, за залежностями:

$$X_{gi} = \frac{\overline{X_{gi}}}{L} L ; Z_{gi} = \frac{\overline{Z_{gi}}}{H} H$$

Координати центрів мас вантажу і палива приймаються за епюрою ємності.

У розрахунках будемо вважати, що вантаж, паливо розміщуються симетрично щодо ДП і тому крен судна відсутній. Спочатку розраховується водотоннажність і координати центру маси судна порожнем. Для цього і подальших розрахунків використовуються значення мас розділів, отримані при вирішенні рівнянні мас у функції головних розмірів проекту судна.

Таблиця 1.13 Розрахунок водотоннажності і координат ЦМ проекту судна порожнем

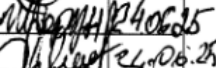
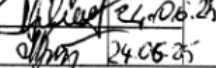
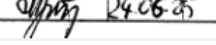
№	Назва	Маса $P_i, \text{ т}$	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\overline{x_i}}{L} \cdot L$	$z_i = \frac{\overline{z_i}}{H} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Корпус	8711	-3,55	10,12	-30954,60	88153,71
2	Обладнання	2523	-32,36	15,90	-81644,25	40117,08
3	Енергетична установка	968	-66,24	8,91	-64150,28	8630,42
4	Запас водотонажності	517	0,00	0,00	0,00	0,00
Водотонажність порожнем		(Σ пор)	$x_g = \frac{(\Sigma 1)}{(\Sigma)}$	$z_g = \frac{(\Sigma 2)}{(\Sigma)}$	($\Sigma 1$)	($\Sigma 2$)
		12719	-13,90	10,76	-176749	136901

1.6.1 Перший стан : 100% вантажу, 100% запасів

Таблиця 1.14

№	Назва	Маса Р, 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	Водотонажність порожнем (Σпор.)	12719	-13,90	10,76	-176749	136901
2	Забезпечення	320	-75,07	15,79	-24021	5051
3	Паливо	2410	-54,43	9,56	-131165	23049
4	Вантаж	36150	17,03	9,17	615747	331402
5	Баласт	0	0,00	0,00	0	0
Дедвейт (Σдед.)		38880	11,85	9,25	460561	350502
Повна водотонажність (Σ = (Σпор.)+ (Σдед.))		51599	5,50	9,62	283812	496404

Використовуючи Maxsurf визначаються максимальна осадка $T_{\max}$ та значення величин x_c, z_c, R, r .

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Конструктивний МШ танкера вантажепідйомністю 36 150 т	Літ	Аркуш	Аркушів
Студент		Носенко Н.О.		24.08.25				
Консульт.		Шарун Г.В.		24.06.25				
Руковод.		Клименков С.Ю.		24.06.25				
Зав. Кафедр.		Коростильов Л.І.		24.06.25				
					НУК			

2. НАБІР КОРПУСУ ЗА ПРАВИЛАМИ РЕГІСТРА

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу нафтоналивного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден» Регістра на клас КМ [★]A1, нафтоналивне судно.

2.1. Головні розміри судна

№	Назва величини	Позначення величини	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	179,9
2	Ширина судна на міделі	B	м	32,5
3	Висота борту	D	м	17,2
4	Осадка судна по літню ГВЛ	d	м	11,2
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_b	-	0,793
6	Швидкість судна	V_s	вузл.	15,4

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

- відношення довжини судна до висоти борту: $\frac{L}{D} \leq 18, \frac{179,9}{17,2} = 10,4 \leq 18;$
- відношення ширини судна до висоти борту: $\frac{B}{D} \leq 2,5, \frac{32,5}{17,2} = 1,89 \leq 2,5;$
- відношення осадки судна до висоти борту: $0,55 \leq \frac{d}{D} \leq 0,8,$
 $0,55 \leq \frac{11,2}{17,2} = 0,65 \leq 0,8;$
- коефіцієнт загальної повноти $C_b \geq 0,6; 0,793 > 0,6.$

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

2.2. 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.

2.3. Вибір системи набору перекрить корпусу судна

Система набору корпусу судна поздовжня. Днищеві і палубні перекриття набираються за поздовжньою системою набору, як і бортові перекриття. Кінцеві частини корпусу судна та машинне відділення набираються за поперечною системою набору, яка дозволяє краще сприймати поперечні навантаження з боку моря.

2.4. Вибір марки сталі для корпусу судна

Для виготовлення елементів корпусу використовуються суднобудівні сталі категорії А, В, D, Е, F з межею плинності $R_{eH}=235$ МПа, а також сталі підвищеної міцності категорії А, D, Е, F з межею плинності $R_{eH}\geq 235$ МПа.

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

Характеристика обраної сталі наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Характеристики сталі

№	Марка сталі	R_{eH} , МПа	Коефіцієнт використання механічних властивостей, η	Нижня межа температури, °С.	Відносне подовження, %.
1	09Г2С	315	0,78	-60	18

За розрахункові характеристики міцності матеріалу в Правилах взяті нормативні межі плинності за нормальними σ_n і дотичними τ_n напруженнями:

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = 301 \text{ МПа}, \quad \tau_n = 0,57 \cdot \sigma_n = 172 \text{ МПа}.$$

2.5.Вибір шпациї

Нормальна шпация a , м, в середній частині судна визначається за формулою:

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

де $L=179,9$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

Маємо:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 179,9 + 0,48 = 0,838, \text{ м.}$$

Приймаємо: $a_0=800$ мм – повздовжня шпация;

$a=800$ мм – поперечна шпация.

2.6.Викреслювання обводів мідель-шпангоута

Підйом t лінії днища і радіус округлення скули визначаються за формулами:

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

де $d=11,2$ – осадка судна; $B=32,5$ – ширина судна, м; $C_m=0,993$ – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута.

Маємо:

$$t = d \cdot (1 - C_m) = 11,2 \cdot (1 - 0,993) = 0,07, \text{ м.}$$

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0,86}} = \sqrt{\frac{32,5 \cdot 0,07}{0,86}} = 1,63, \text{ м.}$$

Висота подвійного дна розраховується за формулою:

$$h_{II} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{179,9 - 40}{570} + 0,04 \cdot 32,5 + 3,5 \cdot \frac{11,2}{179,9} = 1,763, \text{ м.}$$

Прийmemo $h_{II}=1,8$ м.

Відстань між подвійними бортами приймаю рівною 2 м.

Ширина горизонтального кіля визначається за формулою:

$$b_k = 800 + 5 \cdot L, \text{ мм, та не може бути більше 2000 мм.}$$

Маємо:

$$b_k = 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 179,9 = 1699,5, \text{ мм.}$$

Прийmemo: $b_k = 1,8$ м.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7. Мінімальні товщини

Товщини елементів корпусу, які визначаються з умов міцності, мають бути не менше мінімальних. Мінімальні товщини мають бути:

- для зовнішньої обшивки днища та бортів:

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5,5 + 0,04 \cdot 179,9) \cdot \sqrt{0,78} = 11,21 \text{ , мм.}$$

- для настилу верхньої палуби судна:

$$S_{\min} = (7 + 0,02 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (7 + 0,02 \cdot 1179,9) \cdot \sqrt{0,78} = 9,36 \text{ , мм.}$$

- для настилу другого дна:

$$S_{\min} = (5 + 0,035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5 + 0,035 \cdot 179,9) \cdot \sqrt{0,78} = 9,98 \text{ , мм.}$$

- для стінки вертикального кіля та днищевих стрингерів:

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 7 = 0,025 \cdot 179,9 + 7 = 11,50 \text{ , мм}$$

- для стінки суцільного флору при поздовжній системі набору:

$$S_{\min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 179,9 + 6 = 12,30 \text{ , мм}$$

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

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 179,9 + 5,5 = 10,0 \text{ , мм}$$

- для діафрагм і платформ подвійного борта наливного судна:

$$S_{\min} = 0,018 \cdot L + 6,2 = 0,018 \cdot 179,9 + 6,2 = 9,44 \text{ , мм}$$

- для обшивки водонепроникних перегородок:

$$S_{\min} = 0,02 \cdot L + 4 = 0,02 \cdot 179,9 + 4 = 7,60 \text{ , мм}$$

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

$$S_{\min} = 0,02 \cdot L + 6,7 = 0,02 \cdot 179,9 + 6,7 = 10,30 \text{ , мм}$$

2.8. Врахування зносу та корозії

Врахування зносу та корозії на розміри в'язей корпусу побудоване на нормуванні міцності до середини строку служби конструкції. Потрібна товщина S , мм, для листових конструкцій визначається за формулою:

$$S = S' + \Delta S, \Delta S = u \cdot (T - 12), \text{ мм,}$$

де S' – товщина листа, яка відповідає середині строку служби конструкції, мм;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ΔS – запас на знос та корозію, мм;

u – середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу та корозії (визначене за табл. № 1.1.5.2-1 [1], відповідно до типу II);

$T=24$ – період служби конструкції, роки.

Таблиця 2.2 Розрахунок запасу на знос та корозію

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік	ΔS , мм
1.1	Настил верхньої палуби	0,20	2,40
2.3.1.1	Зовнішня обшивка борту в районі ВЛ	0,18	2,16
2.3.3.1	Зовнішня обшивка борту нижче ВЛ	0,17	2,04
3.1.4	Зовнішня обшивка днища	0,20	2,40
4.1.2	Настил другого дна у вантажних танках	0,20	2,40
4.1.4	Настил другого дна в машинному відділенні	0,20	2,40
4.2.2	Між донний лист	0,22	2,64
5.4.3	Обшивка поперечних перегородок і внутрішнього борту	0,18	2,16
6.1.4	Поздовжні балки палуби	0,20	2,40
7.1.4	Шпангоути, поздовжні балки борту	0,20	2,40
8.1.2	ВК, флори, балки днищового набору і НДД	0,20	2,40

2.9. Визначення згинальних моментів

Розрахункова висота хвилі визначається за формулою:

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

де $L=179,9$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

Маємо:

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} = 10,75 - \left(\frac{300 - 179,9}{100} \right)^{3/2} = 9,43 \text{ м},$$

Згинальний момент на тихій воді визначається за формулою:

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

де C_w – розрахункова висота хвилі, м; $B=32,5$ – ширина судна, м; $L=179,9$ – довжина судна між перпендикулярами, м; $C_b=0,793$ – коефіцієнт загальної повноти судна.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маємо:

$$M_{SW} = \pm 76 \cdot 9,42 \cdot 32,5 \cdot 179,9^2 \cdot (0,793 + 0,7) 10^{-3} = 1,126 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

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

$$M_W = 190 C_W B L^2 C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 9,43 \cdot 32,5 \cdot 179,9^2 \cdot 0,793 \cdot 10^{-3} = 1,495 \cdot 10^6 \text{ ,кН}\cdot\text{м}.$$

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

$$M_W = -110 C_W B L^2 (C_b + 0,7) 10^{-3} = -110 \cdot 9,43 \cdot 32,5 \cdot 179,9^2 \cdot (0,793 + 0,7) 10^{-3} = -1,630 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Сумарний згинальний момент:

- при прогині

$$M_{\Sigma 1} = M_W - M_{SW} = -1,630 - 1,126 = -2,756 \cdot 10^6 \text{ , кН}\cdot\text{м};$$

- при перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_W + M_{SW}| = |1,495 + 1,126| = 2,621 \cdot 10^6 \text{ , кН}\cdot\text{м};$$

Момент опору поперечного перерізу корпусу судна (для палуби і днища) в середній частині повинен бути не менший за

$$W_d = W_b = \frac{M_{\Sigma \max}}{[\sigma]_{\text{доп}}} \cdot 10^3 \text{ , м}^3,$$

$$\text{де } [\sigma]_{\text{доп}} = \frac{175}{\eta} = \frac{175}{0,78} = 224,4 \text{ МПа} - \text{допустимі напруження};$$

η – коефіцієнт використання механічних властивостей.

Маємо:

$$W_d = W_b = \frac{M_{\Sigma 1}}{[\sigma]_{\text{доп}}} \cdot 10^3 = \frac{2,756 \cdot 10^6}{224,4} \cdot 10^3 = 12,28 \text{ м}^3,$$

Момент опору корпусу судна, який вимагається за Правилами, визначається за формулою:

$$W_{\min} = C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta \cdot 10^{-6} = 9,43 \cdot 32,5 \cdot 179,9^2 \cdot (0,793 + 0,7) \cdot 0,78 \cdot 10^{-6} = 11,56 \text{ м}^3.$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

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

$$I_{\text{нотр}} = 3 \cdot C_W \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0,7) \cdot 10^{-8} = 3 \cdot 9,43 \cdot 32,5 \cdot 179,9^3 \cdot (0,793 + 0,7) \cdot 10^{-8} = 79,95 \text{ м}^4.$$

Відстань нейтральної вісі (н. в.) від основної площини (ОП), м, у першому наближенні, визначимо за формулою:

$$e = (0,34 + 0,06 \cdot L \cdot 10^{-2}) \cdot D,$$

$$e = (0,34 + 0,06 \cdot 179,9 \cdot 10^{-2}) \cdot 17,2 = 7,705 \text{ м.}$$

Момент інерції поперечного перерізу корпусу і максимальні діючі напруження у днищі і у палубі визначаються за формулами:

$$I_0 = W_d \cdot (D - e) = 12,28 \cdot (17,2 - 7,705) = 116,6 \text{ м}^4,$$

– для днища:

$$\text{прогин } \sigma_{\text{розт}} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot e}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2,756 \cdot 10^6 \cdot 7,705}{116,6} \cdot 10^{-3} = 182,1 \text{ МПа},$$

$$\text{перегин } \sigma_{\text{стиск}} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot e}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2,553 \cdot 10^6 \cdot 8,295}{122,63} \cdot 10^{-3} = 173,2 \text{ МПа},$$

– для верхньої палуби:

$$\text{прогин } \sigma_{\text{стиск}} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - e)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2,756 \cdot 10^6 \cdot (17,2 - 7,705)}{116,6} \cdot 10^{-3} = 224,4 \text{ МПа},$$

$$\text{перегин } \sigma_{\text{розт}} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot (D - e)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2,621 \cdot 10^6 \cdot (17,2 - 7,705)}{116,6} \cdot 10^{-3} = 213,4 \text{ МПа},$$

2.10. Визначення розрахункових навантажень

2.10.1. Навантаження на зовнішню обшивку судна від моря

Зовнішні навантаження, з боку моря на корпус судна, визначаються величиною статичного тиску P_{st} , кПа, та змінною складовою, яка виникає від переміщення судна відносно профілю хвилі P_w , кПа.

6.10.1.1. Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i, \text{ кПа},$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\rho=1,025 \text{ т/м}^3$ – щільність морської води; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; Z_i – відстань точки прикладання навантаження від літньої ватерлінії, м. при $Z_i=d=11,2 \text{ м}$.

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 11,2 = 112,6 \text{ кПа.}$$

2.10.1.2. Хвильовий тиск.

Епюра розподілення хвильового навантаження наведена на рис. 2.1.

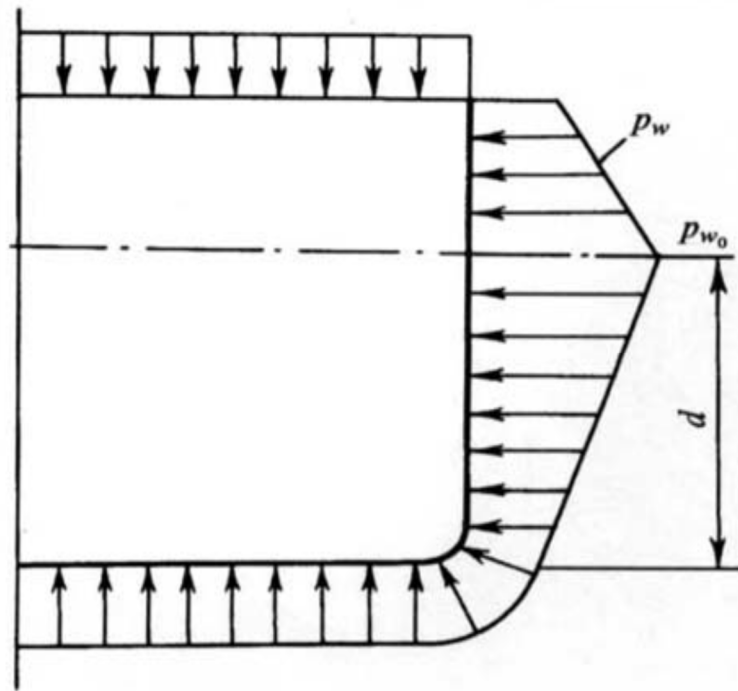


Рисунок 2.1. Розподілення хвильового тиску P_w

Для точок прикладання навантаження на рівні ГВЛ

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

$$\text{де } a_v = \frac{0,8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{L}} + 1,5, \quad a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0,267,$$

де $V_0=15,4$ – специфікаційна швидкість судна, вузли;

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

$x_1=L/2$ – відстань розглядуваного поперечного перерізу (мідель-шпангоут), від найближчого (носового або кормового) перпендикуляра.

$$a_v = \frac{0,8 \cdot 15,4 \left(\frac{179,9}{10^3} + 0,4 \right)}{\sqrt{179,9}} + 1,5 = 2,033,$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{L}{2L} \right) = 0,8(1 - 1) = 0 \neq 0,267.$$

В будь-якому випадку $a_v \cdot a_x \geq 0,6$, тому приймаємо

$$a_x = 0,267;$$

$$a_v \cdot a_x = 0,6.$$

Отримаємо:

$$P_{W0} = 5 \cdot C_W \cdot a_v \cdot a_x = 5 \cdot 9,43 \cdot 0,6 = 28,30 \text{ кПа.}$$

Для точок прикладання навантаження нижче ватерлінії

$$P_W = P_{W0} - 1,5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d}, \text{ кПа,}$$

$$\text{на рівні днища } Z_i = d \quad P_W = P_{W0} - 1,5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d} = 28,30 - 1,5 \cdot 9,43 \cdot 1 = 14,15, \text{ кПа.}$$

Для точок прикладання навантаження вище ватерлінії

$$P_W = P_{W0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i, \text{ кПа,}$$

на рівні верхньої палуби $Z_i = D - d = 17,2 - 11,2 = 6,0 \text{ м}$

$$P_W = 28,30 - 7,5 \cdot 0,267 \cdot 6,0 = 16,29, \text{ кПа.}$$

$$P_{\min} = 0,03 \cdot L + 5 = 0,03 \cdot 179,9 + 5 = 10,4, \text{ кПа.}$$

$$P_W \geq P_{\min}$$

2.10.1.3 Сумарний тиск на днищеву обшивку судна:

$$P = P_{st} + P_W = 112,6 + 14,15 = 126,75, \text{ кПа.}$$

2.10.2. Розрахунковий тиск на настил другого дна від вантажу

Розрахункове прискорення у вертикальному напрямі визначимо за формулою:

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

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

Проекції прискорень визначаються за формулами:

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g, \text{ м/с}^2; \quad a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_\kappa} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0, \text{ м/с}^2; \quad a_{\sigma z} = \left(\frac{2\pi}{T_\sigma} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0, \text{ м/с}^2,$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\text{де } T_{\kappa} = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{V_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)}; \quad T_{\sigma} = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}}; \quad \psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}}; \quad \theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}};$$

T_{κ}, T_{σ} – періоди кильової і бортової хитавиці, с, відповідно;

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

$x_0=4,5$ – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна, м;

y_0 – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини, м;

V_0 – специфікаційна швидкість судна, вузли;

$c=0,8$ – числовий коефіцієнт;

$h=0,07B$ – метацентрична висота в найбільш несприятливих умовах експлуатації судна, м.

Отримаємо:

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \left(\frac{100}{179,9} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,613, \text{ м/с}^2,$$

$$T_{\kappa} = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4 \frac{V_0}{L} \left(\frac{L}{10^3} + 0,4 \right)} = \frac{0,8\sqrt{179,9}}{1 + 0,4 \frac{15,4}{179,9} \left(\frac{179,9}{10^3} + 0,4 \right)} = 10,52, \text{ с.}$$

$$\psi = \frac{0,23}{1 + L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1 + 179,9 \cdot 10^{-2}} = 0,0822, \text{ рад.}$$

$$a_{\kappa z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\kappa}} \right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{10,52} \right)^2 \cdot 0,0822 \cdot 0 = 0, \text{ м/с}^2,$$

$$h = 0,07 \cdot B = 0,07 \cdot 32,5 = 2,275, \text{ м.}$$

$$T_{\sigma} = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0,8 \cdot 32,5}{\sqrt{2,275}} = 17,2, \text{ с;}$$

$$\theta = \frac{0,6}{1 + 0,5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,6}{1 + 0,5 \cdot 179,9 \cdot 10^{-2}} = 0,316, \text{ рад.}$$

$$a_{\sigma z} = \left(\frac{2\pi}{T_{\sigma}} \right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3,14}{17,2} \right)^2 \cdot 0,316 \cdot 16,25 = 0,685, \text{ м/с}^2.$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{\kappa z}^2 + 0,4 \cdot a_{\sigma z}^2} = \sqrt{1,613^2 + 0^2 + 0,4 \cdot 0,685^2} = 1,752, \text{ м/с}^2.$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

$$P_{\text{вип}} = \rho \cdot g \cdot Z_i + P_{\text{к}}, \text{ кПа.}$$

де $Z_i = D - h_k = 17,2 - 1,8 = 15,4$ м – глибина танків;

$P_{\text{к}} = 25$ кПа – тиск, на який відрегульовано запобіжний клапан у вантажних танках;

$\rho = 1,025$ – густина напірної рідини;

Маємо: $P_{\text{вип}} = 0,735 \cdot 9,81 \cdot 15,4 + 25 = 136$ кПа.

Розрахунковий тиск від вантажу на конструкції повністю заповнених танків на рівні другого дна визначається за формулами:

$$P_{\text{в}} = \rho \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) Z_i = 0,735 \cdot 9,81 \cdot \left(1 + \frac{1,752}{9,81}\right) \cdot 15,4 = 130,9 \text{ кПа;}$$

$$P_{\text{в}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0,735 \cdot 9,81 \cdot (15,4 + 28,5 \cdot 0,316) = 176,0 \text{ кПа;}$$

$$P_{\text{в}} = \rho \cdot g \cdot (Z_i + l \cdot \psi) = 0,735 \cdot 9,81 \cdot (15,4 + 19,2 \cdot 0,0822) = 122,4 \text{ кПа;}$$

$$P_{\text{в}} = 0,75 \cdot \rho \cdot g \cdot (Z_i + \Delta z) = 0,75 \cdot 0,735 \cdot 9,81 \cdot (15,4 + 2,5) = 96,8 \text{ кПа}$$

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

$l = 19,2$ та $b = 28,5$ – довжина та ширина танку, м

2.11. Визначення товщин листових конструкцій

2.11.1. Зовнішня обшивка днища

Ширина горизонтального кіля не більше 2000 мм. Товщина його повинна бути на 2 мм більшою від товщини зовнішньої обшивки днища. Ширина скулового поясу визначається положенням верхньої і нижньої кромки. Нижня кромка відповідає точці поєднання плоскої частини обшивки днища з криволінійною. Верхню кромку в розрахунках беремо вище лінії другого днища на 200 мм. Товщину скулового поясу беремо рівною товщині обшивки днища або товщині надскулового поясу, в залежності від того, що більше.

Товщину ширстрека беруть рівною товщині палубного стрингера або підширстрекового поясу борту, в залежності від того, що більше.

Ширину інших поясів беруть якомога більшою, щоб зменшити обсяг зварювальних робіт, але за стандартами.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

де $m=15,8$, $k_{\sigma}=0,6$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

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

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

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

$b=3,2$ – довжина більшої з сторін опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

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

$$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,8}{3,2} = 1,075, \text{ Приймаємо } k = 1,0.$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{126,75}{0,6 \cdot 301}} + 2,4 = 12,98 \text{ мм}.$$

Приймаємо $S=13$ мм.

Стискаючі напруження

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{2,621 \cdot 10^3}{116,6} 7,705 = 173,2 \text{ МПа},$$

де $M_{sw} + M_w = M_{\Sigma 2}$ – найбільший момент, що викликає перегин судна;

$I = 116,6 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м^4 ;

z_i - відстань розрахункової точки від нейтральної осі, м.

Ейлерові напруження для пластинчастих елементів визначаються як

$$\sigma_e = 0,1854 n (s' / b)^2 \text{ МПа},$$

де $n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{1 + 1,1} = 4$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження;

$\psi = 1$ – для рівномірного навантаження;

$s' = 10,6 \text{ мм}$ – фактична товщина пластини без поправки на знос;

$b = 0,8 \text{ м}$ – довжина сторони пластини яка сприймає стискує навантаження;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot 4(10,6 / 0,8)^2 = 130,2 \text{ МПа.}$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 130,2} \right) = 124,5 \text{ МПа, якщо } \sigma_e > 0,5R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 173,2 \not\leq 124,5$$

де $k=1$ – для пластинчастих елементів.

Умова стійкості не виконується.

З умови стійкості

$$S \geq b \sqrt{\frac{\sigma_c}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,8 \sqrt{\frac{173,2}{0,1854 \cdot 4}} + 2,4 = 14,63 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_d = 15 \text{ мм.}$

Ейлерові напруження

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot 4(12,6 / 0,8)^2 = 184 \text{ МПа,}$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 184} \right) = 180,2 \text{ МПа, якщо } \sigma_e > 0,5R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 173,2 \leq 180,2$$

Умова стійкості виконується.

Прийнята товщина більша за мінімальну $S = 15 > S_{\min} = 11,21 \text{ мм.}$

Товщина горизонтального кіля повинна бути на 2 мм більше товщини зовнішньої обшивки днища: $S_{ГК} = 17 \text{ мм.}$

2.11.2. Надскуловий пояс обшивки борту

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

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

де $m=15,8$, $k_\sigma=0,6$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

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

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

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

$b=3,2$ – довжина більшої з сторін опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

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

$$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,8}{3,2} = 1,075, \text{ Приймаємо } k = 1,0.$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{126,75}{0,6 \cdot 301}} + 2,04 = 12,62 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S=13$ мм.

Стискаючі напруження

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{2,621 \cdot 10^3}{116,6} 5,705 = 128,2 \text{ МПа,}$$

де $M_{sw} + M_w = M_{\Sigma 2}$ – найбільший момент, що викликає перегин судна;

$I = 116,6 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м⁴;

z_i - відстань розрахункової точки від нейтральної осі, м.

Ейлерові напруження для пластинчастих елементів визначаються як

$$\sigma_e = 0,1854 n (s' / b)^2 \text{ МПа,}$$

де $n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{1 + 1,1} = 4$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження;

$\psi = 1 - b / e = 1 - 0,8 / 7,705 = 0,896$ – для трапецеїдального навантаження;

$s' = 10,96$ мм – фактична товщина пластини без поправки на знос;

$b = 0,8$ м – довжина сторони пластини яка сприймає стискує навантаження;

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot 4 (10,96 / 0,8)^2 = 146,5 \text{ МПа,}$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 146,5} \right) = 145,7 \text{ МПа, якщо } \sigma_e > 0,5 R_{eH}.$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 128,2 < 145,7$$

де $k = 1$ – для пластинчастих елементів.

Умова стійкості виконується.

Приймаємо товщину надскулового поясу обшивки борту

$$S_{\text{НСП}} = 13 > S_{\text{min}} = 11,21 \text{ мм.}$$

Товщину борту приймаю $S_B = 13$ мм, а товщину скули, як найбільшу із товщин днища або борту, тобто $S_{\text{СК}} = 15$ мм.

2.11.3. Настил верхньої палуби

Товщина настилу верхньої палуби відповідно до умов міцності визначається за

формулою $S = \max \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \sigma_n}} + \Delta S \text{ мм,}$

де $P = 0,7P_w \geq P_{\text{min}}; P_{\text{min}} = 0,015L + 7$ в середній частині корпусу судна;

P_w - хвильовий тиск, кПа; $k_\sigma = 0,6$ для поздовжньої системи набору;

ΔS - доданок на знос і корозію.

$$P = 0,7P_w = 0,7 \cdot 16,29 = 11,4 \text{ (кПа)}$$

$$P_{\text{min}} = 0,015L + 7 = 0,015 \cdot 179,9 + 7 = 9,7 \text{ (кПа)}$$

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{11,4}{0,6 \cdot 301}} + 1,2 = 4,37 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $S_{\text{ВП}} = 11 > S_{\text{min}} + \Delta S = 9,36 + 1,2 = 10,56$ мм.

Стискаючі напруження

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{2,756 \cdot 10^3}{116,6} 9,495 = 224,4 \text{ МПа,}$$

де $M_{sw} + M_w = M_{\Sigma 1}$ – найбільший момент, що викликає перегин судна;

$I = 116,6 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м^4 ;

z_i - відстань розрахункової точки від нейтральної осі, м.

Ейлерові напруження для пластинчастих елементів визначаються як

$$\sigma_e = 0,1854n(s'/b)^2 \text{ МПа,}$$

де $n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{1 + 1,1} = 4$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$\psi = 1$ – для рівномірного навантаження;

$s' = 9,8$ мм – фактична товщина пластини без поправки на знос;

$b = 0,8$ м – довжина сторони пластини яка сприймає стискуjące навантаження;

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot 4(9,8 / 0,8)^2 = 111,3 \text{ МПа},$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = \sigma_e = 111,3 \text{ МПа}, \quad \text{якщо } \sigma_e < 0,5R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 224,4 \not\leq 111,3$$

де $k = 1$ – для пластинчастих елементів.

Умова стійкості не виконується.

З умови стійкості

$$S \geq b \sqrt{\frac{\sigma_c}{0,1854 \cdot n}} + \Delta S = 0,8 \sqrt{\frac{224,4}{0,1854 \cdot 4}} + 1,2 = 15,12 \text{ мм}.$$

Приймаємо $S_{\text{ВП}} = 16$ мм.

Ейлерові напруження

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot 4(14,8 / 0,8)^2 = 253,8 \text{ МПа},$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 253,8} \right) = 217,3 \text{ МПа}, \quad \text{якщо } \sigma_e > 0,5R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 224,4 \not\leq 217,3 - \text{НЕ ВИКОНУЄТЬСЯ}$$

Приймаємо $S_{\text{ВП}} = 18$ мм.

Ейлерові напруження

$$\sigma_e = 0,1854 \cdot 4(16,8 / 0,8)^2 = 327,0 \text{ МПа},$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 327,0} \right) = 239,1 \text{ МПа}, \quad \text{якщо } \sigma_e > 0,5R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 224,4 < 239,1$$

Умова стійкості виконується.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Прийнята товщина більша за мінімальну $S_{\text{ВП}} = 18 > S_{\text{min}} = 9,36$ мм.

Товщина палубного стрингера $S_{\text{ПС}} = S_{\text{ВП}} = 18$ мм.

2.11.4. Проектування бортового перекриття

Так як напруження у ширстречному поясі не більше напружень на верхній палубі, то товщину листів ширстречного поясу можна прийняти $S_{\text{шир}} = 18$ мм.

У зв'язку з цим, немає потреби перевіряти на стійкість листи ширстречного поясу, так як при даній товщині стійкість забезпечується.

Товщина внутрішнього борту судна з умови міцності:

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

де: $a = 0,8$ – менший розмір опорного контуру листового елемента, м;

$$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,8}{3,2} = 1,075 \times 1, \text{ Приймаємо } k = 1,0;$$

$k_{\sigma} = 0,6$ – для бортової обшивки в середній частині судна;

$\sigma_n = 301$ МПа – нормативна границя міцності;

$P = P_B = 179,9$ (кПа) – тиск зсередини від дії вантажу.

$$S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{176,0}{0,6 \cdot 301}} + 2,16 = 14,63 \text{ мм};$$

Приймаємо $S_B = 15$ мм.

Прийнята товщина більша за мінімальну $S_{\text{ВП}} = 15 > S_{\text{min}} = 9,36$ мм.

2.11.5. Настил другого дна

Для настилу другого дна обирають розрахунковий тиск від вантажу

$$P = P_B = 179,9 \text{ (кПа)}.$$

Товщина настилу другого дна за умовою міцності визначається за формулою:

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

де $m=22,4$, $k_{\sigma}=0,8$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

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

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$P=179,9$ кПа – розрахунковий тиск на обшивку (настил) від вантажу;

$$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0; \quad k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,8}{3,2} = 1,075, \text{ приймаємо } k = 1,0.$$

$a=0,8$, $b=3,2$ – менший і більший розміри сторін опорного контуру пластини м;

$\sigma_n=301$ МПа – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями;

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

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 22,4 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{176,0}{0,8 \cdot 301}} + 2,4 = 17,71, \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_{\text{НДД}}=18$ мм.

Прийнята товщина більша за мінімальну $S_{\text{НДД}} = 18 > S_{\text{min}} = 9,98$ мм.

Перевірка стійкості пластини настилу другого дна.

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр},$$

де σ_c – стискуючі напруження, МПа;

$\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1,0$

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою:

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 5,905 \cdot 10^3 = 132,7 \text{ МПа,}$$

Ейлерові напруження

$$\sigma_e = 0,1854 n (s' / b)^2 = 0,1854 \cdot 4 (15,6 / 0,8)^2 = 282 \text{ МПа,}$$

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 282} \right) = 237,3 \text{ МПа, якщо } \sigma_e > 0,5 R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 132,7 < 237,3.$$

Умова стійкості виконується.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.12. Набір в'язей корпусу судна за Правилами Регістру

2.12.1. Днищеве перекриття

Визначити товщину суцільних флорів можна за формулою:

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

де $\alpha=0,023L+5,8>6,5$ – при поздовжній системі набору;

$k=k_1 k_2$; – коефіцієнти, які визначаються з таблиць 2.4.4.3 [1];

$a=0,8$ мм – шпация, відстань між поздовжніми ребрами жорсткості;

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

Маємо:

$$\alpha = 0,023 \cdot L + 5,8 = 0,023 \cdot 179,9 + 5,8 = 9,94$$

$$k = k_1 \cdot k_2 = 1,65 \cdot 0,8 = 1,32$$

$$S = \alpha \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S = 9,94 \cdot 0,8 \cdot 1,32 \cdot \sqrt{0,78} + 2,4 = 11,67, \text{ мм}.$$

Приймаємо товщину суцільних флорів: $S_{фл}=13>S_{min}=12,3$ мм.

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

Товщина їх повинна бути не менше $0,8 \cdot S_{фл}$.

Ребра жорсткості суцільного флора виконуються з полосового матеріалу:

$$S_{р.жс} = 0,8 \cdot S_{фл} = 0,8 \cdot 13 = 10,4 \text{ мм. Приймаю: } S_{р.жс} = 11 \text{ мм}.$$

Товщина водонепроникних флорів визначається за формулою:

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

де $m=15,8$, $k_{\sigma}=0,85$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

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

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

$$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0; \quad k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} = 1,2 - 0,5 \frac{0,8}{1,8} = 0,978,$$

$a=0,8$, $b=1,8$ – менша і більша сторона опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

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

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий мінімальний тиск на рівні середини флора:

$$P_{\min} = \rho \cdot g \cdot Z_i + P_k, \text{ кПа},$$

де $\rho=0,735 \text{ т/м}^3$; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; Z_i – відстань від верхньої палуби до середини висоти флора, м.

при $Z_i = D-h/2 = 17,2-0,9=16,3 \text{ м}$.

$$P_{\min} = \rho \cdot g \cdot Z_i + P_k = 0,735 \cdot 9,81 \cdot 16,3 + 25 = 142,5, \text{ кПа}.$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{142,5}{0,85 \cdot 301}} + 2,4 = 11,62, \text{ мм}.$$

Товщина водонепроникного флора повинна бути не менша, ніж товщина суцільного флора.

Приймаю товщину водонепроникного флору: $S_{\text{фл}}=13 \text{ мм}$.

2.12.2. Проектування балок основного набору другого дна та днища.

$W = W' \cdot \omega_k$ – момент опору поздовжніх балок катаного профілю, см^3 :

$$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} - \text{момент опору балки без врахування зносу, см}^3;$$

$Q = P \cdot a \cdot l$ – розрахункове навантаження для балки, кН.

$a = 0,8 \text{ м}$ – шпация,

$P = 170,6$ – максимальна можлива величина тиску на НДД, кПа;

$P = 126,75$ – максимальна можлива величина тиску на днище, кПа;

$l = 3,2 \text{ м}$ – прогон ребра жорсткості між флорами,

$m = 12$;

$k_{\sigma} = 0.6$ – коефіцієнт напружень для обшивки другого дна, що допускається;

$k_{\sigma} = 0.45$ – коефіцієнт допустимих напружень для зовнішньої обшивки днища;

– для зовнішньої обшивки днища:

$$Q = 126,75 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 324,5 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{324,5 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,45 \cdot 301} = 638 \text{ см}^3,$$

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 0,1 \Delta S + 0,96 - \text{для катаних балок таврового, кутового,}$$

симетричного штабобульбового профілю;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\omega_k = \frac{0,85}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 1,05$ – для катаних балок штабового і несиметричного штабобульбового профілю.

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{638}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,313 > 0,1 \cdot 2,4 + 0,96 = 1,2, \quad W = 638 \cdot 1,313 = 838 \text{ см}^3$$

Приймаємо симетричний штабобульб 30812:

$$h_{\text{ст}} = 300 \text{ мм}; \quad F = 126,3 \text{ см}^2; \quad W = 868 \text{ см}^3 \quad . \quad I = 18514 \text{ см}^4;$$

– для настилу другого дна:

$$Q = 176,0 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 450,6 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{450,6 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301} = 665 \text{ см}^3.$$

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{665}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,309, \quad W = 665 \cdot 1,309 = 871 \text{ см}^3.$$

Приймаємо симетричний штабобульб 30812:

$$h_{\text{ст}} = 300 \text{ мм}; \quad F = 153 \text{ см}^2; \quad W = 900 \text{ см}^3 \quad . \quad I = 20813 \text{ см}^4;$$

Перевірка стійкості балок обшивки днища та другого дна:

$$\text{Умова стійкості} \quad \sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c.$$

$k = 1.1$ – для поздовжніх балок основного набору.

Поздовжні балки днища:

$$- \text{ейлерові напруження } \sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 18514}{126,3 \cdot 3,2^2} = 2949 \text{ Мпа},$$

де $f = 126,3 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки з урахуванням приєднаного пояса;

$i = 18514 \text{ см}^4$ - момент інерції днищового ребра;

$l = 3,2 \text{ м}$ – відстань між флорами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 2949}\right) = 306,6 \text{ МПа} \quad \text{для} \quad \sigma_e > R_{eH};$$

– стикуючі напруження на рівні днища

$$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma 2}}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 7,705 \cdot 10^3 = 173,2 \text{ МПа},$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 306,6 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 173,2 = 190,5$ МПа виконується.

Поздовжні балки другого дна:

– ейлерові напруження $\sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 20813}{153 \cdot 3,2^2} = 2737$ МПа,

де $f = 153$ см² – площа поперечного перерізу балки з урахуванням приєднаного пояса;

$i = 20813$ см⁴ - момент інерції ребра НДД з приєднаним пояском;

$l = 3,2$ м – відстань між флорами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 2737}\right) = 305,9 \text{ МПа для } \sigma_e > R_{eH};$$

– стікуючі напруження на рівні НДД

$$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma 2}}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 5,905 \cdot 10^3 = 132,7 \text{ МПа,}$$

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 305,9 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 132,7 = 146,0$ МПа виконується.

2.12.3. Товщина вертикального кіля та стрингерів:

Висота вертикального кіля: $h_{вк} = 1,8$ м.

Товщина стінки вертикального кіля визначається за формулою:

$$S = \alpha_k \cdot \sqrt{\eta} \cdot \frac{h^2}{h_\phi} + \Delta S = 11,2 \cdot \sqrt{0,78} \cdot \frac{1,763^2}{1,8} + 2,4 = 13,7,$$

де $\alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 \leq 11,2$,

$\alpha_k = 0,03 \cdot L + 8,3 = 0,03 \cdot 179,9 + 8,3 = 13,7$, приймаємо: $\alpha_k = 11,2$;

$h = 1,763$ м – розрахована за Правилами [1] висота вертикального кіля;

$h_\phi = 1,8$ м – фактична (прийнята) висота вертикального кіля;

$\Delta S = 2,4$ - запас, мм, на знос і корозію;

Товщина стінки вертикального кіля повинна бути не менше:

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

де $k = 1,2 - 0,5 a / b \leq 1,0$; $k = 1,2 - 0,5 \cdot 0,6 / 3,2 = 1,1$, приймаємо $k = 1,0$.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$a = 0,6$ – відстань між горизонтальними ребрами жорсткості кіля;

$b = 3,2$ – відстань між флорами;

$k_{\sigma} = 0.75$ - для кіля, підкріпленого горизонтальними ребрами жорсткості;

Розрахункове поперечне навантаження для середини висоти стінки від заповнення водою до верхнього рівня повітряної трубки

$$P = \rho \cdot g \cdot (z_i + 2,5) = 1,025 \cdot 9.81 \cdot (16,3 + 2,5) = 189,0 \text{ кПа.}$$

$z_1 = 16,3$ - відстань від верхньої палуби в діаметральній площині до середини висоти вертикального кіля;

$$S' = 15,8 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{189}{0,75 \cdot 301}} + 2,4 = 11,07 \text{ мм.}$$

Мінімальна товщина вертикального кіля:

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 7 = 0,025 \cdot 179,9 + 7 = 11,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину вертикального кіля $S_{\text{БК}} = 20 > S_{\min} = 11,5 \text{ мм.}$

2.12.4. Перевірка вертикального кіля на стійкість:

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{кр},$$

де σ_c – стискуючі напруження, МПа;

$\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа;

$k=1,0$ – як для листових елементів.

Розрахункові стискальні напруження від моментів, що викликають перегин:

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 7,705 \cdot 10^3 = 173,2 \text{ МПа,}$$

Товщина кіля, яка забезпечує стійкість

$$S = b \sqrt{\frac{\sigma_c}{0.1854 \cdot n}} + \Delta S = 1 \cdot \sqrt{\frac{173,2}{0.1854 \cdot 4}} + 2,4 = 19,49$$

Приймаємо товщину вертикального кіля $S_{\text{БК}} = 20 > S_{\min} = 11,5 \text{ мм.}$

Ейлерові напруження

$$\sigma_e = 0,1854 n (s' / b)^2 = 0,1854 \cdot 4 (17,6 / 0,6)^2 = 638,1 \text{ МПа,}$$

де $n = \frac{8,4}{\psi + 1,1} = \frac{8,4}{1 + 1,1} = 4$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\psi = 1$ – для рівномірного навантаження;

$b = 0,6$ м – відстань між горизонтальними ребрами жорсткості кіля;

$s' = 17,6$ мм – товщина стінки кіля, зменшена на величину корозійної поправки;

Критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_e} \right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 638,1} \right) = 276,1 \text{ МПа, якщо } \sigma_e > 0,5R_{eH}.$$

Умова стійкості

$$k \cdot \sigma_c \leq \sigma_{cr}, \quad 1 \cdot 173,2 < 276,1.$$

Умова стійкості виконується.

Приймаємо товщини стінок кіля і стрингерів $S_{BK} = S_{ДС} = 20$ мм.

2.12.5. Проектування ребер жорсткості кіля та днищевих стрингерів.

$W = W' \cdot \omega_k$ – момент опору поздовжніх балок W , см³,

де $W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n}$ – момент опору балки до середини строку служби, см³;

$Q = P \cdot a \cdot l = 189,0 \cdot 0,6 \cdot 3,2 = 362,9$ кН – розрахункове навантаження для РЖ.

$P = 189,0$ кПа – випробувальний тиск в районі днища;

$a = 0,6$ м. – відстань між ребрами жорсткості,

$l = 3,2$ м. – прогон ребра жорсткості;

$m = 12$;

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

$\sigma_n = 301$ МПа;

$$W' = \frac{362,9 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,75 \cdot 301} = 428,3 \text{ см}^3$$

Поправка на знос і корозію

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 0,1\Delta S + 0,96 \text{ – для катаних балок таврового, кутового,}$$

симетричного штабобульбового профілю;

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{428,3}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,348 > 0,1 \cdot 2,4 + 0,96 = 1,2, \quad W = 428,3 \cdot 1,348 = 577,3 \text{ см}^3$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Приймаємо несиметричний штабобульб 276:

$$h_{cm} = 270 \text{ мм}; F = 155,9 \text{ см}^2; W = 735 \text{ см}^3 \quad . I = 16096 \text{ см}^4;$$

Перевірка на стійкість:

$$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c .$$

$k = 1.1$ – для поздовжніх балок основного набору.

$$- \text{ейлерові напруження } \sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 16096}{155,9 \cdot 3,2^2} = 2077 \text{ МПа},$$

де $f = 155,9 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки з урахуванням приєднаного пояса;

$i = 16096 \text{ см}^4$ - момент інерції ребра ВК з приєднаним пояском;

$l = 3,2 \text{ м}$ – відстань між флорами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 2077}\right) = 303,1 \text{ МПа} \quad \text{для} \quad \sigma_e > R_{eH};$$

– стиючі напруження на рівні днища

$$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma 2}}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 7,705 \cdot 10^3 = 173,2 \text{ МПа},$$

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 303,1 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 173,2 = 190,5 \text{ МПа}$ виконується.

2.12.6. Проектування балок верхньої палуби.

$W = W' \cdot \omega_k$ - момент опору поздовжніх балок $W, \text{см}^3$,

де $W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_n}$ - момент опору балки до середини строку служби, см^3 ;

$Q = P \cdot a \cdot l = 11,4 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 29,2 \text{ кН}$ – розрахункове навантаження для РЖ.

$P = 11,4 \text{ кПа}$ – хвильовий тиск на ВП;

$a = 0,8 \text{ м}$. – шпация,

$l = 3,2 \text{ м}$. - прогон ребра жорсткості;

$m = 12$;

$k_\sigma = 0,6$ – для палуб при поздовжній системі набору;

$\sigma_n = 301 \text{ МПа}$;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W' = \frac{29,2 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301} = 43,1 \text{ см}^3$$

Поправка на знос і корозію

$\omega_k = \frac{0,85}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 1,05$ – для балок штабового і несиметричного штабобульбового профілю;

$$\omega_k = \frac{0,85}{\sqrt[3]{43,1}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,305 > 1,05, \quad W = 43,1 \cdot 1,676 = 56,2 \text{ см}^3$$

Приймаємо несиметричний штабобульб 12:

$$h_{cm} = 120 \text{ мм}; \quad F = 107,13 \text{ см}^2; \quad W = 74,5 \text{ см}^3 \quad . \quad I = 895 \text{ см}^4;$$

Перевірка на стійкість:

$$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c .$$

$k = 1.1$ – для поздовжніх балок основного набору.

$$- \text{ейлерові напруження } \sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 895}{107,13 \cdot 3,2^2} = 168 \text{ МПа},$$

де $f = 107,13 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки з урахуванням приєднаного пояса;

$i = 895 \text{ см}^4$ - момент інерції ребра палуби з приєднанням пояском;

$l = 3,2 \text{ м}$ – відстань між бімсами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 168}\right) = 167,3 \text{ МПа} \quad \text{для} \quad \sigma_e > R_{eH};$$

– стиючі напруження на рівні палуби

$$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma l}}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,756 \cdot 10^6}{116,6} 9,495 \cdot 10^3 = 224,4 \text{ МПа},$$

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 167,3 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 224,4 = 246,8 \text{ МПа}$ НЕ виконується.

З умови стійкості

$$\frac{f}{I} \leq \frac{206k}{1,2k \cdot \sigma_c l^2} = \frac{206}{1,2 \cdot 1,1 \cdot 224,4 \cdot 3,2^2} = 0,068$$

Приймаємо несиметричний штабобульб 16а:

$$h_{cm} = 160 \text{ мм}; \quad F = 113,9 \text{ см}^2; \quad W = 149,5 \text{ см}^3 \quad . \quad I = 2271 \text{ см}^4;$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$- \text{ейлерові напруження } \sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 2271}{113,9 \cdot 3,2^2} = 401 \text{ МПа,}$$

де $f = 113,9 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки з приєднаним пояском;

$i = 2271 \text{ см}^4$ - момент інерції ребра палуби з приєднаним пояском;

$l = 3,2 \text{ м}$ – відстань між бімсами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 401}\right) = 253,1 \text{ МПа для } \sigma_e > R_{eH};$$

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 253,1 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 224,4 = 246,8 \text{ МПа}$ виконується.

2.12.7. Проектування балок зовнішнього та внутрішнього борту.

Момент опору балок основного набору визначається за формулою:

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

де W' – момент опору балки без урахування запасу на знос та корозію, см^3 ; P – розрахунковий тиск на рівні середини вертикального кіля і стрингера, кПа ; $a=0,8$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м ; $l=3,2$ – 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:

$Q = P \cdot a \cdot l = 126,75 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 324,5 \text{ кН}$ – розрахункове навантаження для РЖ.

$P = 126,75 \text{ кПа}$ – сумарний тиск з боку моря;

$a = 0,8 \text{ м.}$ – шпація,

$l = 3,2 \text{ м.}$ - прогон ребра жорсткості;

$m = 12$;

$k_\sigma = 0,65$ – для поздовжніх бортових балок;

$$W' = \frac{324,5 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 301} = 441,9 \text{ см}^3$$

Поправка на знос і корозію

$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 0,1 \Delta S + 0,96$ – для катаних балок таврового, кутового, симетричного штабобульбового профілю;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{441,9}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,437 > 0,1 \cdot 2,4 + 0,96 = 1,2, \quad W = 441,9 \cdot 1,437 = 635,0 \text{ см}^3$$

Приймаємо симетричний штабобульб 27812:

$$h_{cm} = 270 \text{ мм}; \quad F = 128,3 \text{ см}^2; \quad W = 655,7 \text{ см}^3 \quad . \quad I = 13679 \text{ см}^4;$$

Перевірка стійкості:

$$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c .$$

$k = 1.1$ – для поздовжніх балок основного набору.

$$- \text{ейлерові напруження } \sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 13679}{128,3 \cdot 3,2^2} = 2145 \text{ МПа},$$

де $f = 128,3 \text{ см}^2$ – площа перерізу балки з урахуванням приєднаного пояса;

$i = 13679 \text{ см}^4$ - момент інерції ребра палуби з приєднаним пояском;

$l = 3,2 \text{ м}$ – відстань між бімсами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 2145}\right) = 303,4 \text{ МПа} \quad \text{для} \quad \sigma_e > R_{eH} ;$$

– стиючі напруження на рівні другого дна

$$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma 2}}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 5,905 \cdot 10^3 = 139,5 \text{ МПа},$$

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 303,4 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 139,5 = 153,3 \text{ МПа}$ виконується.

Внутрішній борт:

$$Q = P \cdot a \cdot l = 176,0 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 450,6 \text{ кН} - \text{розрахункове навантаження для РЖ.}$$

$P = 176 \text{ кПа}$ – випробувальний тиск;

$a = 0,8 \text{ м.}$ – шпация,

$l = 3,2 \text{ м.}$ - прогон ребра жорсткості;

$m = 12$;

$k_\sigma = 0,65$ – для поздовжніх бортових балок;

$$W' = \frac{450,6 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,65 \cdot 301} = 613,6 \text{ см}^3$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поправка на знос і корозію

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 0,1\Delta S + 0,96 \text{ – для катаних балок таврового, кутового,}$$

симетричного штабобульбового профілю;

$$\omega_k = \frac{2,15}{\sqrt[3]{613,6}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,398 > 0,1 \cdot 2,4 + 0,96 = 1,2, \quad W = 613,6 \cdot 1,398 = 857,8 \text{ см}^3$$

Приймаємо симетричний штабобульб 30812:

$$h_{cm} = 300 \text{ мм}; \quad F = 137 \text{ см}^2; \quad W = 882 \text{ см}^3 \quad . \quad I = 19511 \text{ см}^4;$$

Перевірка стійкості:

$$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c .$$

$k=1.1$ – для поздовжніх балок основного набору.

$$\text{– ейлерові напруження } \sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2} = \frac{206 \cdot 19511}{137 \cdot 3,2^2} = 2865 \text{ МПа},$$

де $f=137 \text{ см}^2$ – площа перерізу балки з урахуванням приєднаного пояса;

$i=19511 \text{ см}^4$ - момент інерції ребра палуби з приєднаним пояском;

$l=3,2 \text{ м}$ – відстань між бімсами;

– критичні напруження

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 2865}\right) = 306,3 \text{ МПа} \quad \text{для} \quad \sigma_e > R_{eH} ;$$

– стікуючі напруження на рівні другого дна

$$\sigma_c = \frac{M_{\Sigma 2}}{I} z_i \cdot 10^3 = \frac{2,621 \cdot 10^6}{116,6} 5,905 \cdot 10^3 = 139,5 \text{ МПа},$$

Умова стійкості $\sigma_{cr} = 306,3 > k \cdot \sigma_c = 1,1 \cdot 139,5 = 153,3 \text{ МПа}$ виконується.

2.12.8. Проектування балок розташованих у районі підпалубної коробки.

Момент опору балок основного набору визначається за формулою:

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

де W' – момент опору балки без урахування запасу на знос та корозію, см³;

P – розрахунковий тиск на рівні середини вертикального кіля і стрингера, кПа;

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

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$l=3,2$ – прогон балки, м;

$m=12$, k_{σ} – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних Правилах; ω_k – поправка на знос та корозію.

$Q = P \cdot a \cdot l = 69,9 \cdot 0,8 \cdot 3,2 = 166,1$ кН – розрахункове навантаження для РЖ.

$P=64,9$ кПа – тиск від рідини при хитавиці на рівні ВП;

$a=0,8$ м. – шпация,

$l=3,2$ м. - прогон ребра жорсткості;

$m=12$;

$k_{\sigma} = 0,6$ – для палуб при поздовжній системі набору;

$\sigma_n = 301$ МПа;

$$W' = \frac{166,1 \cdot 3,2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301} = 226,2 \text{ см}^3$$

Поправка на знос і корозію

$\omega_k = \frac{0,85}{\sqrt[3]{W'}} + \sqrt[3]{\frac{\Delta S}{2}} \geq 1,05$ – для балок штабового і несиметричного штабобульбового

профілю;

$$\omega_k = \frac{0,85}{\sqrt[3]{226,2}} + \sqrt[3]{\frac{2,4}{2}} = 1,202 > 0,1 \cdot 2,4 + 0,96 = 1,2, \quad W = 226,2 \cdot 1,202 = 271,9 \text{ см}^3$$

Приймаємо несиметричний штабобульб 20б:

$h_{cm} = 200$ мм; $F= 111,36$ см²; $W = 288,7$ см³ . $I = 6736$ см⁴;

2.12.9. Розрахунок рамного бімсу:

Момент опору поперечного перерізу, який вимагається Правилами для складених зварних балок, повинен визначатися за формулою:

$$W = W' + \Delta W ,$$

$$\text{де } W' = \frac{P \cdot a \cdot l^2 \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{64,9 \cdot 3,2 \cdot 16,5^2 \cdot 10^3}{12 \cdot 0,6 \cdot 301} = 24060 \text{ см}^3$$

$P=64,9$ кПа – тиск від рідини при хитавиці на рівні ВП;

$a=3,2$ м. – відстань між рамними бімсами,

$l=16,5$ м. - прогон бімса;

$m=12$;

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$k_{\sigma} = 0,6$ – для палуби;

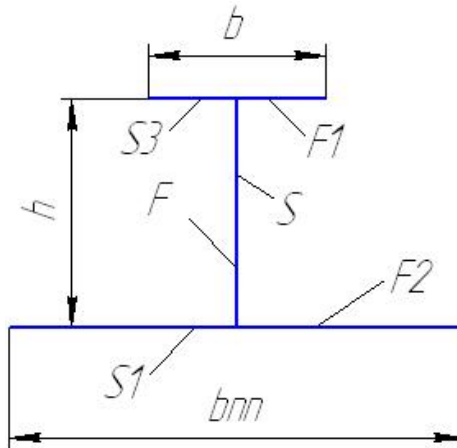
$\sigma_n = 301$ МПа;

ΔW - додаток моменту опору.

$$\Delta W = 0,1 \cdot W' = 0,1 \cdot 24060 = 2406 \text{ см}^3$$

$$W = W' + \Delta W = 24060 + 2406 = 26466 \text{ см}^3$$

Значення необхідного моменту опору поперечного перерізу перебільшує наведені в сортаменті, тому проектуємо складений зварний профіль балки.



Висота стінки визначається за формулою:

$$h = 1,16 \sqrt{\frac{W}{0,1S}} = 1,16 \sqrt{\frac{26466}{0,1 \cdot 18}} = 140,6 \text{ см.}$$

Приймаємо $h = 1450$ мм;

Площу вільного пояса балки в першому наближенні розраховують за формулою:

$$F1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} = \frac{26466}{145} - \frac{145 \cdot 1,8}{4,5} = 124,5 \text{ см}^2.$$

Коефіцієнт k уточнюється за формулою:

$$k = 6 \cdot \frac{2 \cdot F2 + F}{4 \cdot F2 - 2 \cdot F1 + F} = 6 \cdot \frac{2 \cdot 320 \cdot 1,8 + 145 \cdot 1,8}{4 \cdot 320 \cdot 1,8 - 2 \cdot 124,5 + 145 \cdot 1,8} = 3,7.$$

У другому наближенні площа вільного пояса дорівнює:

$$F1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} = \frac{26466}{145} - \frac{145 \cdot 1,8}{3,7} = 112 \text{ см}^2$$

За площиною $F1$ приймається ширина вільного пояса b , см.

$$b = \frac{F1}{0,1S3} = \frac{112}{0,1 \cdot 20} = 50,9 \text{ см;}$$

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де S_3 – товщина вільного пояса, який збільшений на 4 мм від товщини стінки.

Приймаємо $b=510$ мм. $F_1=b \cdot S=51 \cdot 2.2=112,2$ мм²

Перевіримо момент опору спроектованої балки:

$$W = h \cdot \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot F_1 + F}{2 \cdot F_2 + F} \right) \right] =$$

$$145 \cdot \left[112,2 + \frac{145 \cdot 1,8}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot 112,2 + 145 \cdot 1,8}{2 \cdot 320 \cdot 1,8 + 145 \cdot 1,8} \right) \right] = 28624 \text{ см}^3$$

Цей момент опору повинен бути не меншим ніж визначений за правилами:

$$W=28624 \text{ см}^2 > W_{\text{вим}}=26466 \text{ см}^3;$$

Момент інерції балки розраховується за формулою:

$$I = W \frac{h}{1 + \frac{2 \cdot F_1 + F}{2 \cdot F_2 + F}} = 28624 \frac{145}{1 + \frac{2 \cdot 112,2 + 145 \cdot 1,8}{2 \cdot 320 \cdot 1,8 + 145 \cdot 1,8}} = 3986239 \text{ см}^4$$

2.13. Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної міцності

Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса виконується в табличній формі. При визначенні аплікату центрів ваги елементів порівняльна вісь збігається з основною площиною.

В таблиці використовувались наступні позначення:

F_i - площі в'язей, см²;

z_i - відстань від вісі порівняння, м;

$F_i z_i$ - статичний момент площі, см²·м;

$F_i z_i^2$ - переносний момент інерції площі, см²·м²;

I - власний момент інерції, см⁴.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Відстань центру ваги еквівалентного бруса від осі порівняння:

$$e = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} = \frac{166650}{19968} = 8,346 \text{ м}$$

Момент інерції еквівалентного бруса відносно нейтральної вісі:

$$I = 2(\Sigma_3 - e^2 \Sigma_1) \cdot 10^{-4} = 2(2314279 - 8,346^2 \cdot 19968) \cdot 10^{-4} = 184,68 \text{ м}^4$$

Момент опору днища:

$$W_b^\phi = \frac{I}{e} = \frac{184,68}{8,346} = 22,13 \text{ м}^3$$

Момент опору верхньої палуби:

$$W_d^\phi = \frac{I}{D - e} = \frac{184,68}{17,2 - 8,346} = 20,86 \text{ м}^3$$

Визначені розрахунком величини фактичних моментів опору верхньої палуби і дна порівнюємо з моментами опору, які були розраховані за формулами Правил Регістру. Загальна поздовжня міцність корпусу судна є забезпеченою, якщо

$$W_d^\phi \geq W;$$

$$W_b^\phi \geq W.$$

$$W_d^\phi = 20,86 \text{ м}^3 > W = 12,28 \text{ м}^3. \quad W_b^\phi = 22,13 \text{ м}^3 > W = 12,28 \text{ м}^3$$

З отриманих результатів можна зробити висновок, що загальна міцність судна забезпечена.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.02	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

	Елемент	Розміри	Кільк	Площа елем	Площа $F_i, \text{см}^2$	ЦВ $Z_i, \text{м}$	$F_i \cdot Z_i$ $\text{см}^2 \cdot \text{м}$	$F_i \cdot Z_i^2$ $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	$I^{\text{вл}}$ $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$
1	Полка карлінгсу	22 x 510	2,5	112,2	281	18,65	5231	97558	0
2	Карлінгс	18 x 1450	2,5	261	653	17,925	11696	209651	46
3	РЖ палуби	НСШБ 16а	9	17,94	161	17,3	161	17,3	2793
4	Обшивка палуби	18 x 16250	1	2925	2925	17,2	50310	865332	0
5	РЖ підпалубного ящика	НСШБ 16а	9	17,94	161	17,1	161	17,1	2761
6	Ширстрек	18 x 1600	1	288	288	16,4	4723	77457	61
7	Зовнішня стінка цистерни	15 x 2400	1	360	360	16	5760	92160	173
8	РЖ стінки цистерни	НСШБ 16а	4	17,94	72	16	72	16	1148
9	Внутрішня стінка підпалубної цистерни	15 x 4000	1	600	600	15,2	9120	138624	800
10	РЖ внутрішньої стінки цистерни	НСШБ 16а	2	17,94	36	15,2	36	15,2	545
11	РЖ ширстрека	НСШБ 16а	4	17,94	72	15,2	72	15,2	1091
12	Нахилений Лист	15 x 5600	1	840	840	13,401	11257	150855	548
13	РЖ нахиленого листа	НСШБ 16а	5	17,94	90	13,401	90	13,401	1202
14	Обшивка борту	15 x 11600	1	1740	1740	9,8	17052	167110	19511
15	Обшивка II борту	15 x 10201	1	1530,15	1530	9,728	14885	144801	13269
16	РЖ борту	СШБ27812	12	48,33	580	9,728	580	9,728	5642
17	РЖ II борту	СШБ27812	12	48,33	580	9,728	580	9,728	5642
18	Діафрагми	15 x 2000	1	300	300	9,728	2918	28386	0
19	РЖ діафрагм	СШБ27812	4	48,33	193	9,728	193	9,728	1881
20	Надскуловий лист	13 x 2000	1	260	260	3	780	2340	87
21	Обшивка скулової цистерни	18 x 4000	1	720	720	3,215	2315	7443	480
22	РЖ скулової цистерни	СШБ27812	6	48,33	290	3,215	290	3,215	932
23	Скуловий пояс	15 x 1613	1	241,95	242	1,1	266	293	52
24	РЖ скулового поясу	СШБ 30812	9	57	513	513	1,9	975	1853
25	НДД	18 x 11420	1	2055,6	2056	1,8	3700	6660	0
26	РЖ НДД	СШБ 30812	13	57	741	1,6	741	1,6	1186
27	ВК	20 x 1800	0,5	360	180	0,9	162	146	97
28	Стрінгери	20 x 1800	1	360	360	0,9	324	292	97
29	РЖ ВК	НСШБ 276	1	49,22	49	0,9	49	0,9	44
30	РЖ Стрингерів	НСШБ 276	4	49,22	197	0,9	197	0,9	177
31	РЖ днища	СШБ 30812	13	57	741	0,2	741	0,2	148
32	Днищева обшивка	15 x 13250	1	1987,5	1988	-0,008	-15	0	0
33	ГК	17 x 1000	1	170	170	-0,009	-1	0	0
	Σ				19968		166650	2314279	

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.03			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Носенко Н.О.		24.06.25	Перевірка місцевої міцності танкера вантажепідйомністю 36 150 т	Літ	Аркуш	Аркушів
Консульт.		Коростильов Л.І.		24.06.25				
Руковод.		Клименков С.Ю.		24.06.25		НУК		
Зав. Кафедр.		Коростильов Л.І.		24.06.25				

3 ПЕРЕВІРКА МІЦНОСТІ ЗОВНІШНЬОЇ ОБШИВИ ДНИЩА КОРПУСУ СУДНА

Перевірка міцності зовнішньої обшиви днища на згинання виконується у відповідності до Правил класифікації та побудови морських суден [1], Норм міцності, загальних методів розрахунку згину жорстких прямокутних пластин під дією рівномірного нормального навантаження [6].

3.1 Розрахункова схема пластини перекриття днища

За поздовжньої системи набору днища розрахунковим буде прямокутне поле зовнішньої обшиви, обмежене жорстким набором – поздовжніми ребрами жорсткості (вертикальним кілем, днищевими стрингерами) та суцільними флорами, встановленими на відстані декількох шпаций. Відношення довгої сторони поля до короткої завжди більше за 1: $\gamma = a/b > 1$.

У відповідності до Норм міцності розрахунок на згин такої пластини виконується у припущенні жорсткого затиснення вздовж крайків при жорсткому незміщуваному опорному контурі. За розрахункове навантаження приймається рівномірно розподілений по полю пластини нормальний тиск p .

На рис. 3.1 наведена розрахункова схема пластини днища з позначенням найбільш напружених точок 1 і 1'.

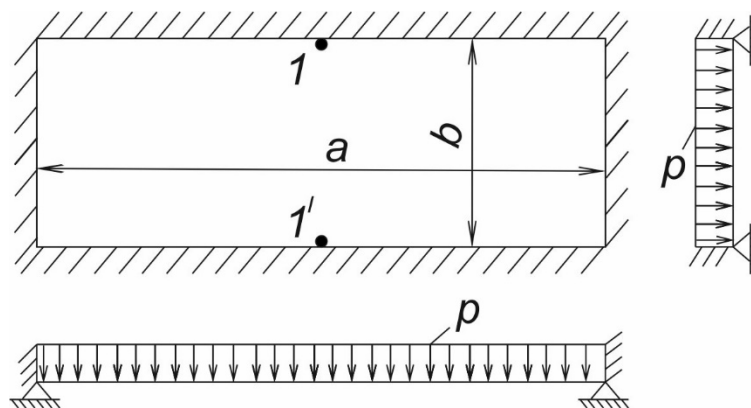


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема пластини днища

Для поперечної системи набору днища розрахункова схема має той самий вигляд що на рис.1, по довгих крайках пластина жорстко затиснена на флорах, а по коротких – на кілю і стрингерах. Відношення розмірів сторін пластини, як і для поздовжньої системи набору, приймається більшим за 1: $\gamma = a/b > 1$.

3.2 Розрахункове навантаження

Розрахунковий тиск p на пластини днища відповідно до Правил [1] визначається для точок нижче літньої вантажної ватерлінії за формулою

$$p = p_{st} + p_w, \text{ кПа}, \quad (3.1)$$

де p_{st} – розрахунковий статичний тиск води на рівні днища:

$$p_{st} = 10z_i = 10 \cdot 11,2 = 112 \text{ кПа}; \quad (3.2)$$

p_w – тиск від хвильової складової, для точок прикладення навантажень, які розташовані нижче літньої вантажної ватерлінії:

$$p_w = p_{w0} - 1,5c_w (z_i / d), \text{ кПа}. \quad (3.3)$$

В формулах (3.1)- (3.3)

$z_i = 11,2$ м – відстань точки прикладання навантаження від літньої вантажної ватерлінії;

$d = 11,2$ м – осадка судна;

c_w – хвильовий коефіцієнт, який визначається залежно від довжини судна:

$$c_w = 0,0856L \quad \text{якщо} \quad L \leq 90 \text{ м};$$

$$c_w = 10,75 - \{(300 - L) / 100\}^{3/2} \quad \text{якщо} \quad 90 < L < 300 \text{ м}; \quad (3.4)$$

$$c_w = 10,75 \quad \text{якщо} \quad 300 \leq L \leq 350 \text{ м};$$

$$c_w = 10,75 - \{(300 - 179,9) / 100\}^{3/2} = 9,43.$$

$p_{w0} = 5 c_w a_v a_x$, кПа – хвильовий тиск на рівні літньої вантажної ватерлінії;

$$a_v = \left[0,8 \cdot v_0 \cdot (L / 10^3 + 0,4) / \sqrt{L} \right] + 1,5;$$

$$a_x = k_x (1 - 2x_1 / L) \geq 0,267;$$

k_x – коефіцієнт, який дорівнює 0,8 і 0,5 для поперечних перерізів до носа та до корми від міделя відповідно;

x_1 – відстань поперечного перерізу, який розглядається, від найближчого (носового або кормового) перпендикуляра, м;

v_0 – специфікаційна швидкість судна у вузлах.

У будь-якому випадку $a_v \cdot a_x \geq 0,6$.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ.03	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розподіл розрахункових навантажень по контуру поперечного перерізу корпусу судна наведено на рис. 3.2.

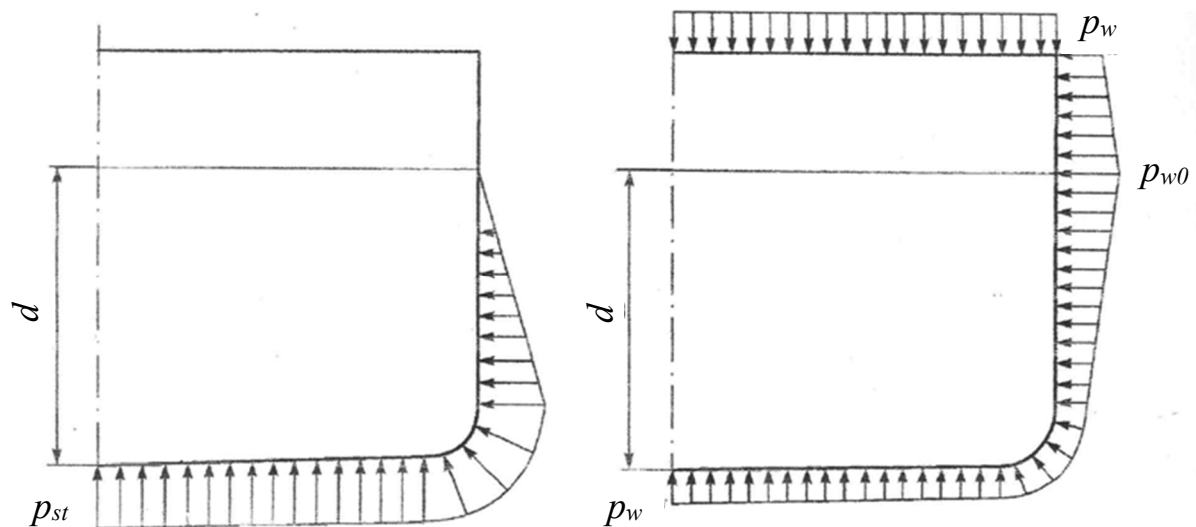


Рисунок 3.2 – Розподіл розрахункових навантажень

Величина a_x для перерізів в районі $0,5L$ судна дорівнюватиме 0, тому приймаємо для нього мінімально допустиме значення:

$$a_x = 0,8(1 - 2 \cdot 0,5L / L) = 0 \rightarrow a_x = 0,267.$$

$$a_v = \left[0,8 \cdot 15,4 \cdot (179,9 / 10^3 + 0,4) / \sqrt{179,9} \right] + 1,5 = 2,032$$

Для вантажних суден в межах довжин 100 -200 м при експлуатаційних швидкостях 10-18 вузлів коефіцієнт a_v приймає значення 1,85-2,25, а множення $a_v a_x$ – 0,49–0,60 відповідно. Тому при визначенні хвильового тиску на рівні літньої вантажної ватерлінії приймаємо

$$a_v \cdot a_x = 0,6;$$

$$p_{w0} = 3 c_w = 3 \cdot 9,43 = 28,3 \text{ кПа}, \quad (3.5)$$

а величину хвильової складової тиску на днищеві пластини

$$p_w = p_{w0} - 1,5 c_w = 28,3 - 1,5 \cdot 9,43 = 14,1 \text{ кПа}.$$

Таким чином, на поле пластини діє сумарний тиск від статичного водяного стовпу і зміни хвильової поверхні

$$p = p_{st} + p_w = 112 + 14,1 = 126,1, \text{ кПа}.$$

Цю величину тиску приймаємо у якості розрахункової при визначенні параметрів напружено-деформованого стану днищевих пластин.

3.3 Визначення напружень в небезпечних точках поля пластини

На розрахунковій схемі (рис. 3.1) показано небезпечні найбільш напружені точки 1 і 1' які знаходяться посередині довгих сторін опорного контуру.

Відповідно до теорії згину тонких жорстких пластин максимальні нормальні напруження $\sigma_{\max}$ у вказаних точках визначаються за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{6M}{t^2} = \frac{6 \cdot 6755}{15^2} = 180 \text{ МПа}, \quad (3.6)$$

де $t=12$ мм – товщина пластини,

M – погонний згинальний момент по довгих краях опорного контуру, який розраховується в залежності від параметрів навантаження, умов закріплення і геометричних розмірів пластини:

$$M = k_i p b^2 \cdot 10^{-3} = 0,0833 \cdot 112,6 \cdot 800^2 \cdot 10^{-3} = 6755 \text{ Н}; \quad (3.7)$$

де $p=126,1$ кПа – розрахунковий тиск;

$b=800$ мм – довжина короткої крайки (шпація);

$k_i = 0,0833$ – коефіцієнт, розрахований відповідно до умов закріплення, залежний від відношення довжин сторін $\gamma = a/b = 3200/800 = 4$.

Коефіцієнти k_i можуть бути визначені за довідниковими таблицями згину ізотропних жорстких пластин [6].

У випадку жорсткого затиснення пластини на опорному контурі коефіцієнт погонного моменту для довгих сторін пластини наведено в табл. 3.1:

Таблиця 3.1. – Коефіцієнти погонних згинальних моментів для довгих сторін опорного контуру при їх жорсткому затисненні.

$\gamma = a/b$	k_i	$\gamma = a/b$	k_i	$\gamma = a/b$	k_i
1,0	0,0517	1,5	0,0753	2,0	0,0829
1,1	0,0554	1,6	0,0784	2,5	0,0830
1,2	0,0612	1,7	0,0807	3,0	0,0832
1,3	0,0668	1,8	0,0821	4,0	0,0833
1,4	0,0714	1,9	0,0826	∞	0,0833

Значення коефіцієнтів для проміжних значень γ знаходять за допомогою лінійної інтерполяції.

3.4 Перевірка умови міцності

Умова міцності при згині пластини має вигляд

$$\sigma_{\max} \leq k_{\sigma} \sigma_n, \quad (3.8)$$

де $\sigma_{\max}$ – максимальне згинальне напруження, визначене за формулою (3.7);

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = 301 \text{ МПа} \quad \text{– розрахункова нормативна границя плинності за}$$

нормальними напруженнями, визначена в табл.3.2 відповідно до величини R_{eH} ;

R_{eH} – верхня границя плинності матеріалу;

η – коефіцієнт використання механічних властивостей сталі;

k_{σ} – коефіцієнт допустимих нормальних напружень, який визначається у відповідних розділах Правил [1]. Числові значення k_{σ} для пластин днищової обшивки корпусу судна наведені в табл.3.3

Таблиця 3.2 – Нормативні границі плинності і коефіцієнти використання механічних властивостей матеріалу

R_{eH}	235	315	355	≥ 390
η	1,0	0,78	0,72	0,68
σ_n	235	301	326	346

Таблиця 3.3 – Нормативні границі плинності і коефіцієнти використання механічних властивостей матеріалу

Система набору	Середня частина		Кінцевості в межах $0,1L$
	$12 \leq L < 65$ м	$L \geq 65$ м	
поперечна	0,6–0,45	$0,3k_b \leq 0,6$	0,7
поздовжня	0,6		

ВИСНОВКИ: Умова міцності (3.8)

$$\sigma_{\max} = 180 \text{ МПа} \leq k_{\sigma} \sigma_n = 0,6 \cdot 301 = 181 \text{ МПа}$$

ВИКОНУЄТЬСЯ.

ВИСНОВКИ

При виконанні дипломної роботи виконано розрахунок основних елементів і характеристик танкера вантажепідйомністю 3615 0т. Розраховано в першому наближенні водотоннажність, характеристики форми корпусу, головні розміри та потужність. В другому наближенні визначено водотоннажність, уточнено головні розміри з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності і плавності хитавиці. За допомогою програми Maxsurf modeler отримано ординати для побудови теоретичного креслення та значення елементів плавучості і початкової остійності для побудови гідростатичних кривих. Виконано розрахунок місткості вантажних танків та об'ємів цистерн для палива. Обчислено таблицю вагового навантаження та розраховані координати центру ваги для удиферентування танкера на тихій воді. Побудовані теоретичне креслення, епюра ємності та креслення загального розташування.

Розраховано набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства. Обрана марка та категорія сталі, розраховано навантаження, що діють на корпус судна, перевірена загальна міцність корпусу. За результатами розрахунку побудовано креслення конструктивного мідель-шпангоута.

Перевірено міцність зовнішньої обшивки днища корпусу судна.

Таким чином, спроектований танкер вантажепідйомністю 36150 т відповідає умовам виданого завдання та задовольняє вимоги Регістру Судноплавства України.

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден: Т.2.– Київ, 2020.–789 с.
2. Кротов О.І., Голіков В.І., Єганов О.Ю., Бондаренко О.В. Проектування морських транспортних суден: Навчальний посібник – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 156 с
3. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи проектування суден». - Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.
4. Барабанов Н.В. «Конструкция корпуса морских судов», - Л.: Судостроение, 1981 г.
5. Спихтаренко, В.Н. Методическое руководство по расчету пластин [Текст] / В.Н. Спихтаренко. – Николаев: НКИ, 1979. – 20 с.
6. Справочник по строительной механике корабля. В 3-х т. [Текст] / Под общей ред. акад. Ю.А. Шиманського. – Л.: Судпромгиз, 1958. – Т.2. – 528 с.
7. Справочник по строительной механике корабля. В 3-х т. [Текст] / Г.В. Бойцов, О.М. Палий, В.А. Постнов, В.С. Чувиковский. – Л.: Судостроение, 1982. – Т.2. – 464 с..

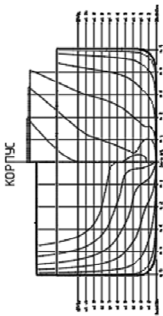
					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А. ТЕОРЕТИЧНЕ КРЕСЛЕННЯ

1:1000

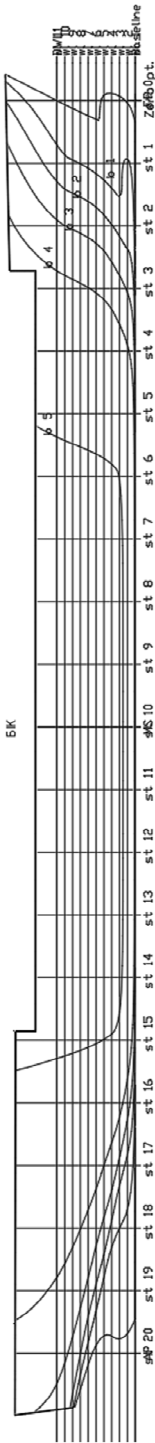


Габаритні розміри
Довжина навісу
Довжина між опорами
Довжина між периметрами
Ширина
Висота
Висота
Висота

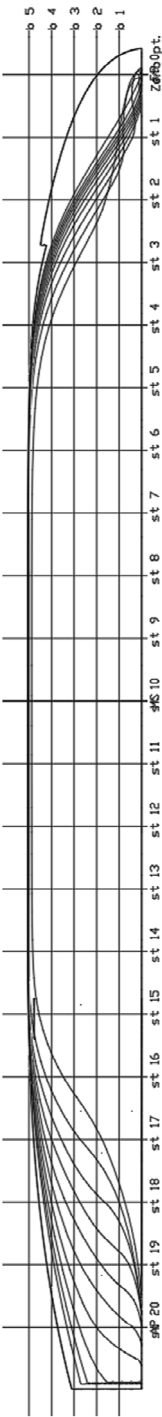
Висота навісу
Висота між опорами
Висота між периметрами
Висота навісу
Висота між опорами
Висота між периметрами
Висота навісу

Висота навісу
Висота між опорами
Висота між периметрами
Висота навісу
Висота між опорами
Висота між периметрами
Висота навісу

КННІ.КР.135.4111.18.01	
Титульний аркуш	1:1
Тема: Конструктивна	НЗК

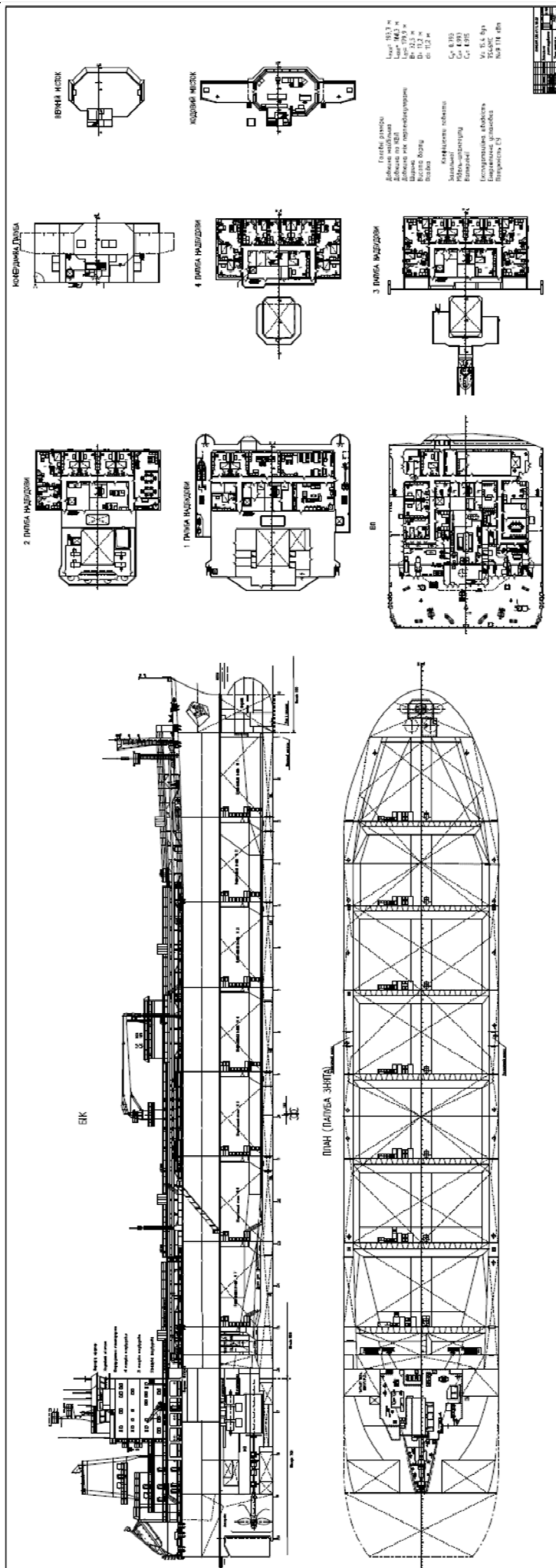


НАПІВШІРОТА

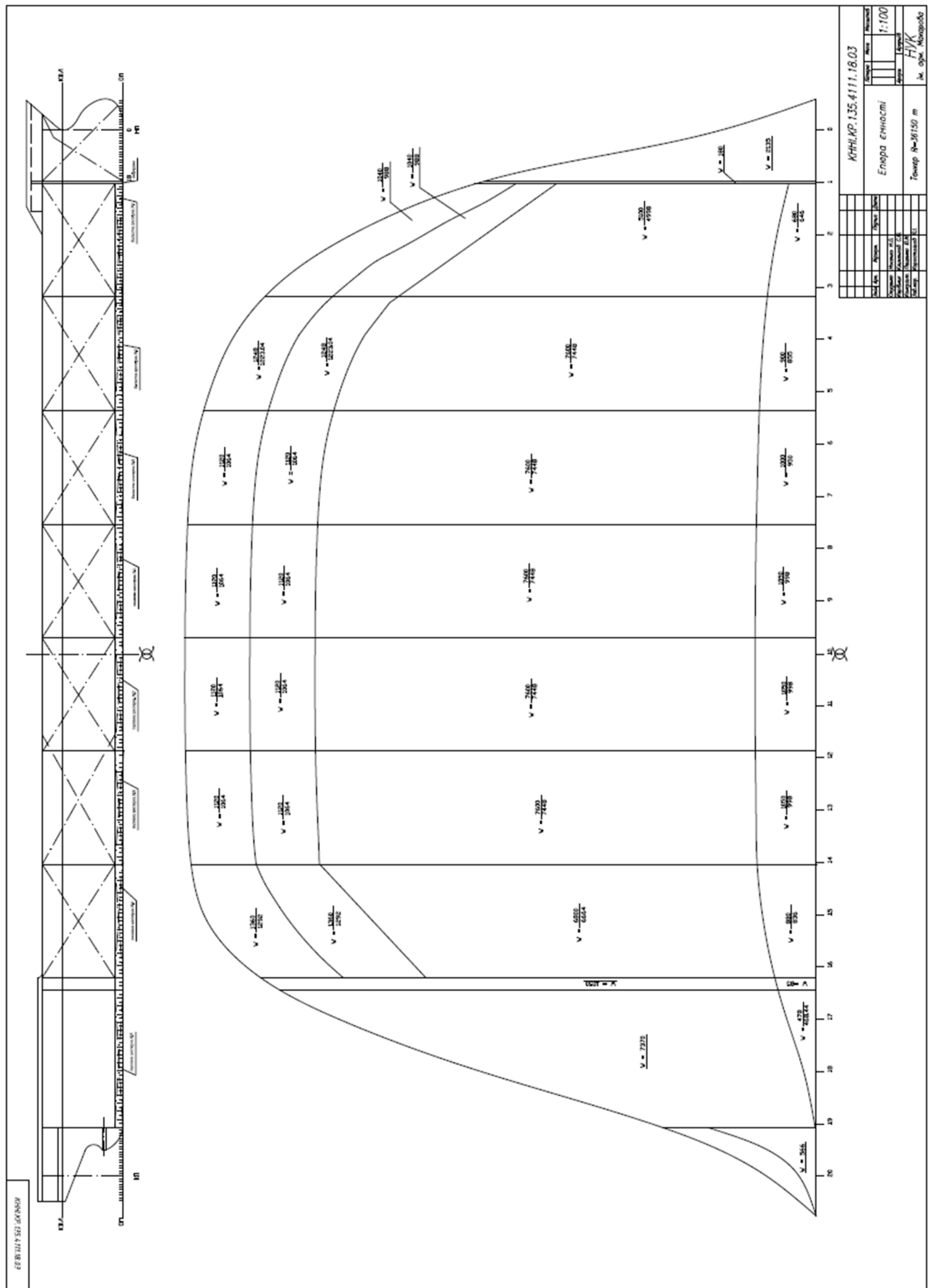


Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДОДАТОК Б ЗАГАЛЬНЕ РОЗТАШУВАННЯ



ДОДАТОК В. ЕПЮРА ЄМНОСТІ



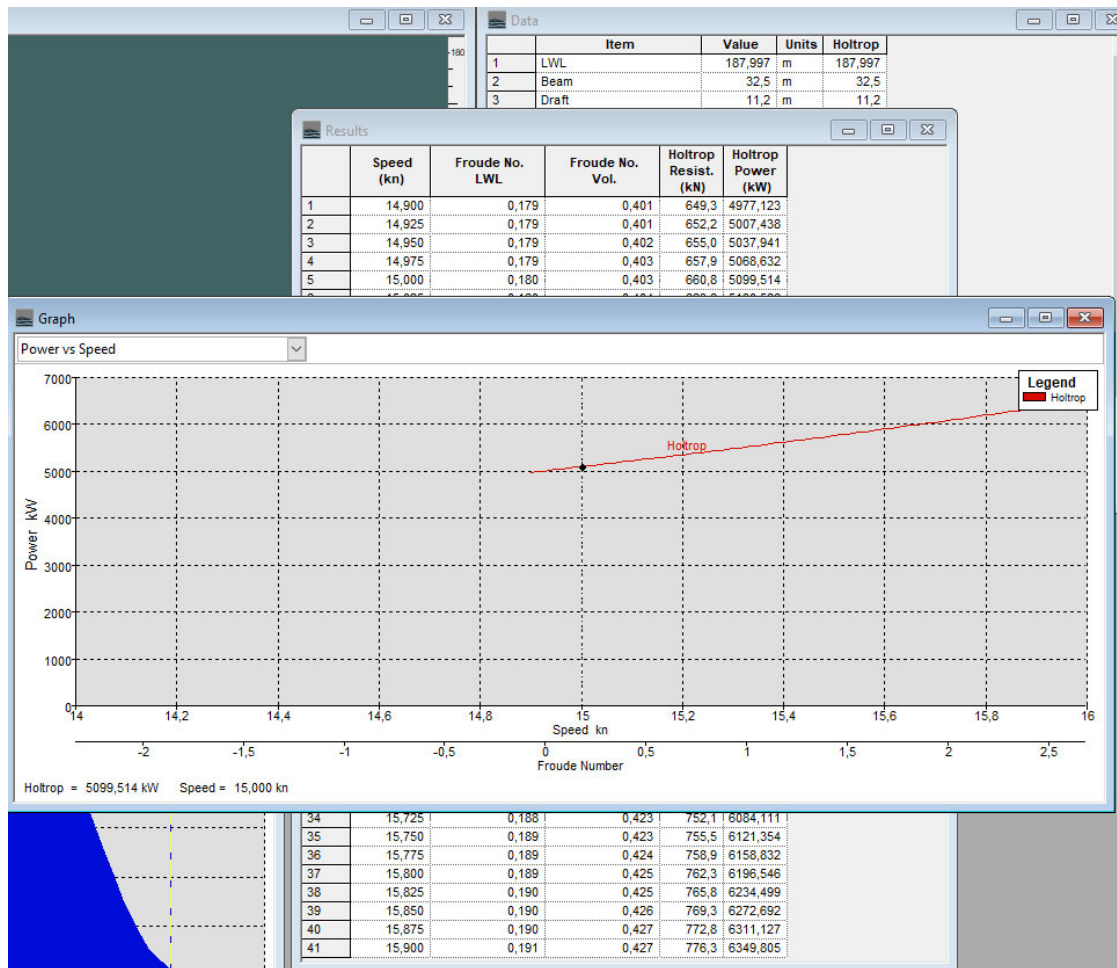
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНИ.КР.135.4111.18.ПЗ

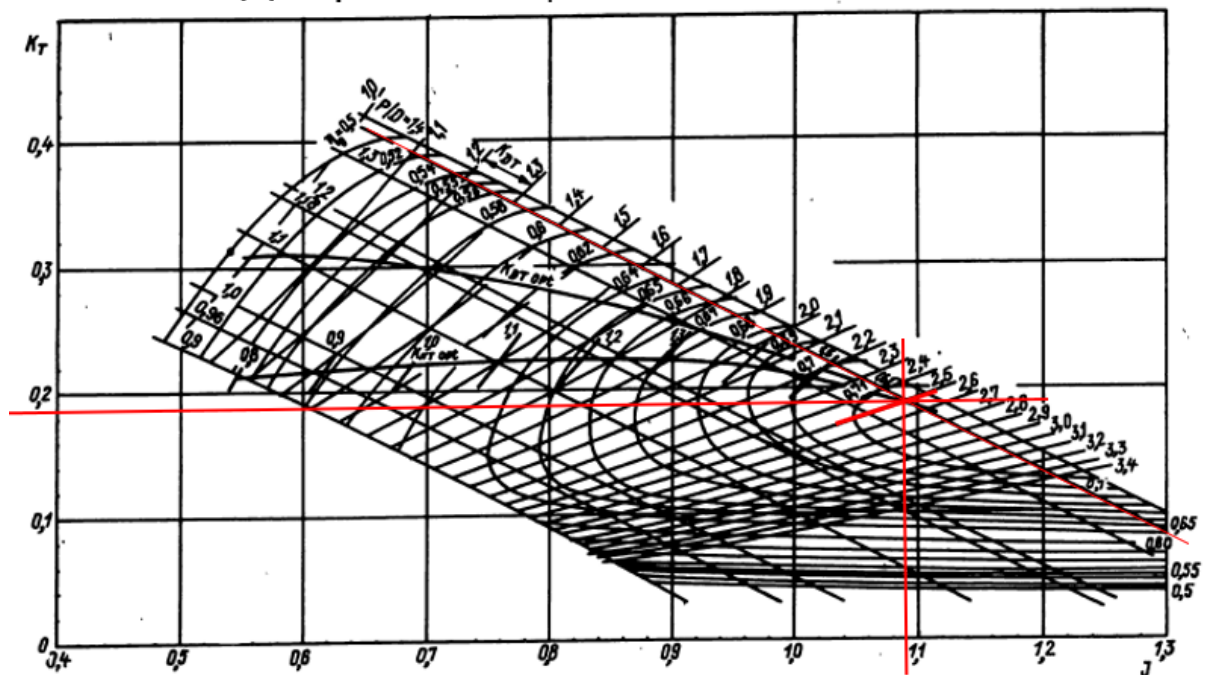
Аркуш

68

ДОДАТОК Г. КРИВІ ДЛЯ РОЗРАЗУНКУ ЕУ І ГВИНТА



Діаграма J-K_T для гвинтів z4-100



Кількість лопатей Z=4
Віднесена площа спрямленої поверхні $A_E/A_0=1,0$
Віднесений діаметр маточини $r_H=0,18$
Віднесена товщина профілю лопаті $e_0/D=0,045$

KDT=2,5:
P/D=1,37
 $\eta_0=0,715$
KT=0,18
J=1,09

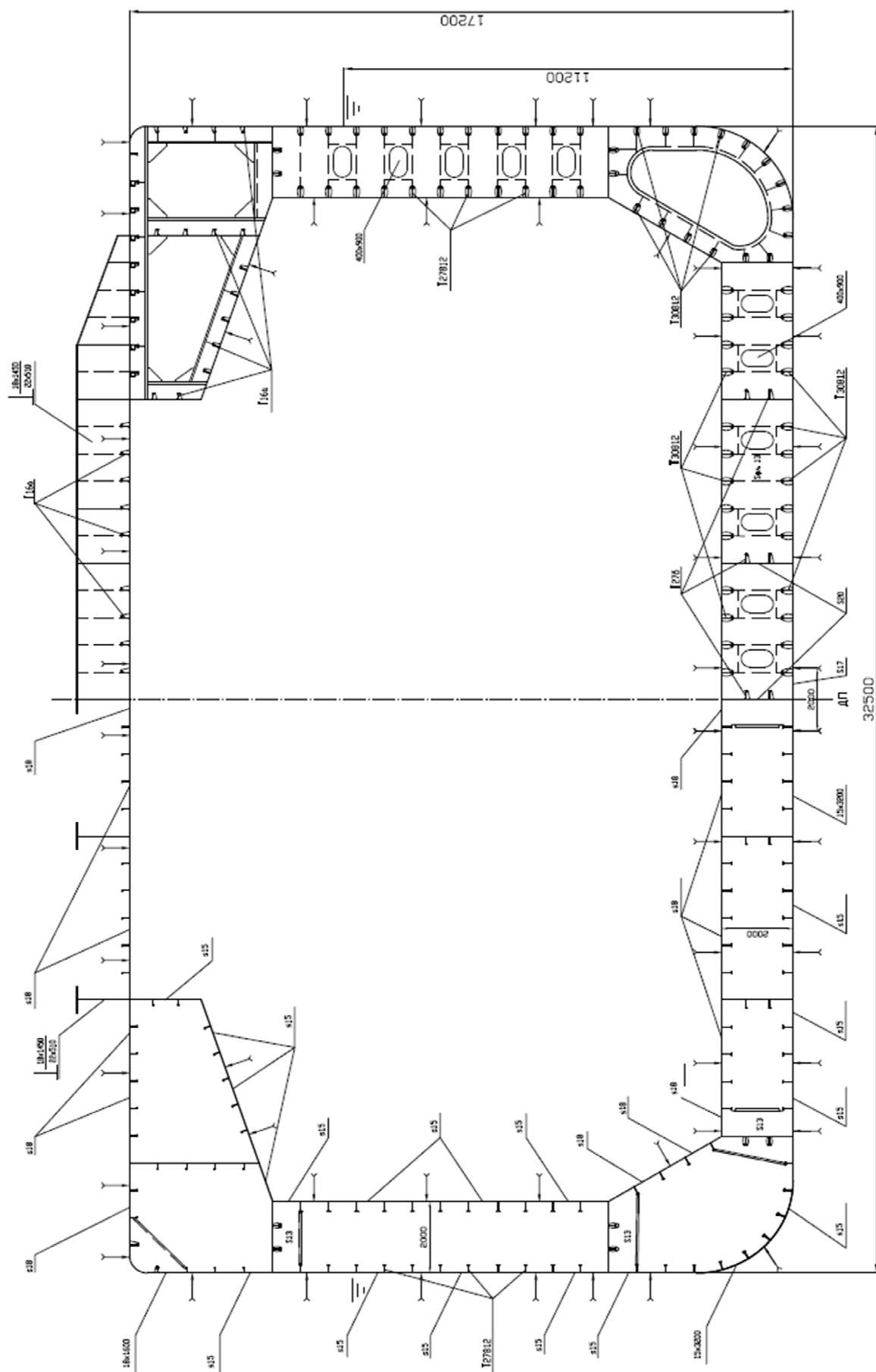
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КННІ.КР.135.4111.18.ПЗ

Аркуш

69

ДОДАТОК Д. КОНСТРУКТИВНИЙ МІДЕЛЬ-ШПАНГОУТ

[illegible]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНИЛ.КР.135.4111.18.ПЗ

Аркуш

70