

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теорії та проєктування суден

(повна назва кафедри)

Допущений до захисту
Завідувач кафедри
В.О. Нещимов
20.06.2025р.

Пояснювальна записка

до бакалаврської роботи

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Проектування танкеру вантажопідйомністю 37830 т

Виконав: студент групи 4111

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Спеціалізація «Кораблі та океанотехніка»

(шифр і назва спеціальності)

Ратуш А.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Астахова А.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Тітов Г.В.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП "Кораблі і океанотехніка"

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

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ групи 4111
Ратуш Анна Юріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування танкеру вантажопідйомністю 37830 т

керівник роботи Астахова Аліна Олегівна, старший викладач

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " " 2025 року №

2. Строк подання студентом роботи 17 червня 2025 р

3. Вихідні дані до роботи:

Вантажопідйомність – 37830 т;

швидкість ходу експлуатаційна – 15.5 вузла;

клас судна КМ+ Л42 А1 наливне;

тип енергоустановки – дизельний двигун;

дальність плавання – 15500 миль;

питома вага вантажу – 0.735 т/м³

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

4.1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.

4.2. Побудова теоретичного креслення.

4.3. Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.

4.4. Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн.

4.5. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна (100 % вантажу, 100 % запасів).

4.6. Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.

4.7. Набір конструктивного мідель-шпангоуту за Правилами РСУ. Розрахунок поздовжньої міцності.

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

5.1. Теоретичне креслення.

5.2. Гідростатичні криві.

5.3. Діаграма остійності неушкодженого судна.

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

5.5. Креслення конструктивного мідель-шпангоуту

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	ст.вик. Астахова А.О.	05.02.25р.		30.05.25р.	
теорія корабля	доц. Пащенко Ю.М.	09.04.25р.		13.06.25р.	
конструкція корпусу	ст. вик. Шарун Г.В.	09.04.25р.		09.06.25р.	
будівельна механіка корабля	проф. Коростильов Л.І.	06.05.25р.		15.06.25р.	

7. Дата видачі завдання 05.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.	10.03.2025р.	
2.	Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн. Обчислення координат центра мас та удиферентування судна.	14.03.2025р.	
3.	Побудова теоретичного креслення.	21.03.2025р.	
4.	Побудова гідростатичних кривих	25.04.2025р.	
5.	Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна. Діаграма остійності судна.	05.05.2025р.	
6.	Розрахунок конструктивного мідель-шпангоуту	09.06.2025р.	
7.	Перевірка загальної або місцевої міцності в'язей корпусу судна.	15.06.2025р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки	16.06.2025р.	

Студент _____ Ратуш А.Ю.

Керівник роботи _____ Астахова А.О.

Анотація

Згідно з завданням на дипломну роботу, був спроектований танкер для перевезення наливних вантажів. У ході роботи визначені основні розміри судна у двох наближеннях та параметри головного двигуна. За допомогою програми Maxsurf було створене теоретичне креслення та 3D модель судна; також проведені розрахунки обсягів і центрів ваги приміщень; виконані розрахунки елементів плавучості та початкової стійкості; складено діаграму статичної остійності, і перевірено критерій погоди; перевірено відповідність діаграми статичної остійності судна вимогам правил Регістру.

Відповідно до «Правил класифікації та будівництва судів» Регістру судноплавства України, було спроектовано конструктивний мідель-шпангоут судна. Виконана перевірка загальної міцності судна.

Ключові слова: танкер, основні розміри, остійність, конструкція корпусу корабля, морехідні якості, удиферентування, міцність.

Abstract

According to the thesis assignment, a tanker was designed for cargo transportation. In the course of the work, the main dimensions of the vessel in two approximations and the parameters of the main engine were determined. Using the Maxsurf program, a theoretical drawing and a 3D model of the vessel were created; the volumes and centers of gravity of the premises were calculated; calculations were performed on the theory of the ship, elements of buoyancy and initial stability; a diagram of static and dynamic stability was drawn up, and the weather criterion was checked; compliance of the vessel's static stability diagram with the requirements of the Register rules was checked.

In accordance with the "Rules for Classification and Construction of Ships" of the Shipping Register of Ukraine, the structural middle frame of the ship was designed. A check of the general strength of the ship.

Key words: tanker, main dimensions, stability, ship hull design, seaworthiness, differentiation, strength.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ	

Зміст

АНОТАЦІЯ.....

ВСТУП.....

1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.....

1.1 Розрахунок елементів проекту у першому наближенні.....

1.2 Визначення на ЕОМ буксирувальної потужності та вибір марки головного дви-
гуна.....

1.3 Визначення елементів проекту судна в другому наближенні.....

1.4 Середовище побудови теоретичного креслення та розрахунку елементів плавучо-
сті і початкової остійності.....

1.5 Побудова креслення загального розташування.....

1.6 Визначення місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок заванта-
ження, визначення координат ЦМ.....

1.7 Удиферентування проекту судна.....

1.8 Креслення загального розташування.....

2. Перевірка морехідних якостей судна.....

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

2.2 Розрахунок гідростатичних кривих.....

2.3 Перевірка вимог Правил Регістру до остійності проекту.....

3. Набір корпусу судна за Правилами Регістру.....

3.1 Головні розміри судна.....

3.2 Архітектурно-конструктивний тип судна.....

3.3 Вибір системи набору перекриття корпусу судна.....

3.4 Вибір марки сталі для корпусу судна.....

3.5 Вибір шпациї.....

3.6 Викреслення обводів мідель-шпангоута.....

3.7 Мінімальні товщини.....

3.8 Врахування зносу та корозії.....

3.9 Визначення згинальних моментів.....

3.10 Визначення розрахункових навантажень.....

3.11 Визначення товщин листових конструкцій.....

3.12 Набір в'язей корпусу судна за Правилами Регістру.....

3.13 Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності..

4. Перевірка міцності пластини днища.....

4.1 Розрахункова схема пластини днищевого перекриття.....

4.2 Розрахункове навантаження.....

4.3Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини.....

4.4 Перевірка умов міцності та висновки.....

ВИСНОВОК.....

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ.....

ДОДАТКИ.....

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	№	Дата	Вступ			
Студент		Ратуш А.Ю.							
Консульт.		Астахова А.О.							
Керівник		Астахова А.О.							
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.				НУК			

Вступ

Кафедрою теорії та проектування суден було видано завдання на проектування нафтоналивного танкеру.

У дипломному проєкті необхідно визначити основні елементи та характеристики судна проєкту (водотоннажність, параметри форми корпусу, головні розміри, потужність головного двигуна); побудувати теоретичне креслення і креслення загального розташування; розрахувати елементи плавучості і початкової остійності, місткість вантажних приміщень і цистерн, виконати удиферентування судна (при загрузці 100% вантажу, 100% запасів), перевірити вимоги класифікаційного товариства до остійності судна.

Відповідно до Правил класифікаційного товариства, потрібно спроектувати конструктивний мідель-шпангоут судна. Виконати перевірку загальної або місцевої міцності зв'язків корпусу судна. У дипломній роботі проєктується танкер класу КМ+Л42 А1 танкер.

При виконанні дипломної роботи необхідно використовувати наукову та технічну літературу, слідувати рекомендаціям консультантів відповідних розділів та керівника.

Пояснювальна записка дипломної роботи і креслення повинні відповідати ОСТам, ГОСТам і ЕСКД.

Спроектоване судно у дипломній роботі повинно відповідати правилам Регістру Судноплавства України та іншим нормативним документам.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.01			
Змн.	.	№ докум.	Підпис	№				
					Визначення основних елементів і характеристик судна-проєкту.	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ратуш А.Ю.						
Консульт.		Астахова А.О.				НУК		
Керівник		Астахова А.О.						
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.						

1. Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.

1.1 Розрахунок елементів проекту у першому наближенні.

1.1.1 Розрахунок водотоннажності.

Для визначення водотоннажності прототипу складається алгебраїчне рівняння мас виду:

$$\bar{\Delta} = \bar{P}_K + \bar{P}_{OB} + \bar{P}_{EY} + \bar{P}_{PB} + \bar{P}_3 + \bar{P}_{3B} + \bar{P}_B + \bar{P}_B,$$

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

$\bar{P}_K, \bar{P}_{OB}, \bar{P}_{EY}, \bar{P}_{PB}, \bar{P}_3, \bar{P}_{3B}, \bar{P}_B, \bar{P}_B$ – це маса розділів навантаження: корпусу, обладнання, енергетичної установки, палива, води і масла, забезпечення, запасу водотоннажності, вантажу і баласту прототипу, т.

$$\bar{\Delta} = 8685 + 2518 + 930 + 2410 + 319 + 20 + 36630 + 0 = 51512$$

У першому наближенні на основі прототипу визначаємо елементи проекту судна за коефіцієнтом утилізації:

$$\bar{\eta}_B = \frac{\bar{P}_B}{\bar{\Delta}} = \frac{36630}{51512} = 0.711$$

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

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

Значення коефіцієнта утилізації чистої вантажопідйомності залежить від швидкості руху та відстані плавання:

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

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

$$\bar{a}_{EY} = \frac{\bar{P}_{EY}}{\bar{\Delta}} = \frac{930.5}{51512} = 0.018; \quad \bar{a}_{II} = \frac{2410}{51512} = 0.047;$$

$$\bar{\eta}_B^{\text{кор}} = 0.711 - \left(0.018 \left(\frac{16.0}{15.7} \right)^3 + 0.047 \left(\frac{15.5}{15.2} \right)^2 \frac{15500}{15000} \right) + 0.018 + 0.047 = 0.7066.$$

Для урахування масштабного ефекту судна треба скористатися формулою:

$$\eta_0 = \bar{\eta}_B^{кор} \left(\frac{P_B}{P_B} \right)^{0,25} = 0.7066 \left(\frac{37830}{36630} \right)^{0,25} = 0.7123,$$

де P_B – вантажопідйомність проєкту.

Таким чином, використання скоригованого значення коефіцієнта утилізації дозволяє точніше отримати значення очікуваної водотоннажності:

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{P_B}{\eta_0} = \frac{37830}{0.7123} = 53112 \text{ т.}$$

1.1.2 Визначення характеристик форми корпусу

Після отримання значення водотоннажності, визначаємо наступні характеристики форми корпусу:

- відносна довжина першого наближення l може бути визначена як:

$$l = \frac{\bar{L}}{\sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}_1}{\rho}}} = \frac{178.48}{\sqrt[3]{\frac{53112}{1.025}}} = 4.84;$$

- очікувана довжина між перпендикулярами:

$$L_0 = l \cdot \sqrt[3]{\frac{\bar{\Delta}_1}{\rho}} = 4.84 \cdot \sqrt[3]{\frac{53112}{1.025}} = 180.31 \text{ м;}$$

- число Фруда:

проєкту $Fr = \frac{0.514 \cdot v_e}{\sqrt{gL_0}} = \frac{0.514 \cdot 15.5}{\sqrt{9.81 \cdot 180.31}} = 0.1894;$

прототипу $\bar{Fr} = \frac{0.514 \cdot \bar{v}_e}{\sqrt{g\bar{L}}} = \frac{0.514 \cdot 15.2}{\sqrt{9.81 \cdot 178.48}} = 0.1868.$

У таблиці 1.1.2.1 проводимо вибір коефіцієнтів повноти проєкту на основі порівняння чисел Фруда проєкту та прототипу.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.01	

Таблиця 1.1.2.1 - Вибір коефіцієнтів повноти проєкту в порівнянні їх з прототипом

Коефіцієнт	Формула	Проект	Прототип	Прийнято
загальної повноти	$C_b = \delta = 1,05 - 1,4Fr$	0.785	0.787	0.785
поздовжньої повноти	$C_p = \varphi = 0.04 + 0.96C_b$	0.793	0.796	0.793
повноти площі мідель-шпангоута	$C_m = \beta = \frac{C_b}{C_p}$	0.990	0.989	0.989
повноти площі ватерлінії	$C_{wp} = \alpha = C_b + 0,12$	0.905	0.915	0.905

Наступні відношення у 1-му наближенні можна прийняти за прототипом

– визначення відношення ширини до осадки:

$$\left(\frac{B}{d}\right)_1 = \frac{\bar{B}}{\bar{d}} = \frac{32.2}{11.1} = 2.9;$$

– визначення відношення висоти борту до осадки:

$$\left(\frac{D}{d}\right)_1 = \left(\frac{\bar{D}}{\bar{d}}\right) = \frac{18.6}{11.1} = 1.68;$$

– визначення відношення довжини до ширини борту:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_1 = \left(\frac{\bar{L}}{\bar{B}}\right) = \left(\frac{178.48}{32.2}\right) = 5.54.$$

1.1.3 Розрахунок головних розмірів. Для визначення головних розмірів використовуємо рівняння плавучості:

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

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

$$\Delta_1 = k_{вч} \rho (L/B)_1 B_1^3 (d/B)_1.$$

Таблиця 1.1.3.1 – Головні розміри у першому наближенні

Ширина судна, м	$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 (B/d)_1}{k_{вч} \rho C_b (L/B)_1}}$	32.47
Довжина судна, м	$L_1 = \left(\frac{L}{B}\right)_1 B_1$	179.86
Осадка судна, м	$d_1 = \frac{B_1}{\left(\frac{B}{d}\right)_1}$	11.19
Висота борту, м	$D_1 = d_1 \left(\frac{D}{d}\right)_1$	18.75

1.2. Визначення буксирувальної потужності та головного двигуна

Розрахунок буксирувальної потужності проводимо за допомогою програмного комплексу Maxsurf Resistance.

Таблиця 1.2.1 – Результати розрахунків потужності головного двигуна

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	0.500	0.006	0.013	1.0	0.389
2	0.887	0.011	0.024	2.9	2.012
3	1.275	0.015	0.034	5.6	5.693
4	1.662	0.020	0.045	9.3	12.209
5	2.050	0.025	0.055	13.8	22.310
6	2.437	0.029	0.066	19.0	36.729
7	2.825	0.034	0.076	25.1	56.184
8	3.212	0.039	0.086	32.0	81.382
9	3.600	0.044	0.097	39.7	113.021
10	3.988	0.048	0.107	48.1	151.790
11	4.375	0.053	0.118	57.3	198.370
12	4.762	0.058	0.128	67.2	253.437
13	5.150	0.062	0.139	77.9	317.660
14	5.537	0.067	0.149	89.4	391.706
15	5.925	0.072	0.159	101.6	476.233
16	6.313	0.076	0.170	114.5	571.899
17	6.700	0.081	0.180	128.1	679.359
18	7.088	0.086	0.191	142.5	799.274
19	7.475	0.090	0.201	157.6	932.309
20	7.862	0.095	0.212	173.4	1079.151
21	8.250	0.100	0.222	190.0	1240.523
22	8.637	0.104	0.232	207.3	1417.203
23	9.025	0.109	0.243	225.4	1610.055
24	9.412	0.114	0.253	244.3	1820.069
25	9.800	0.119	0.264	264.1	2048.402
26	10.188	0.123	0.274	284.8	2296.437
27	10.575	0.128	0.285	306.6	2565.841
28	10.963	0.133	0.295	329.5	2858.628
29	11.350	0.137	0.305	353.7	3177.240
30	11.737	0.142	0.316	379.4	3524.611
31	12.125	0.147	0.326	406.8	3904.250
32	12.512	0.151	0.337	436.3	4320.311
33	12.900	0.156	0.347	468.0	4777.667
34	13.288	0.161	0.358	502.3	5281.980
35	13.675	0.165	0.368	539.6	5839.763
36	14.063	0.170	0.378	580.3	6458.436
37	14.450	0.175	0.389	624.9	7146.358
38	14.837	0.179	0.399	673.8	7912.926
39	15.225	0.184	0.410	727.7	8768.695
40	15.612	0.189	0.420	787.0	9724.955
41	16.000	0.194	0.430	852.3	10793.45

Буксирувальна потужність для швидкості на випробуваннях: $v_e=16.00$ вузлів,
 $N_e=10793.45$ кВт.

Буксирувальна потужність для експлуатаційної швидкості $v_e=15.50$ вузлів
 визначається шляхом інтерполяції та дорівнює $N_e = 9436.35$ кВт.

Обираємо головний двигун фірми «New Sulzer Diesel» за каталогом
 (табл.1.2.2).

Таблиця 1.2.2 – Характеристики головного двигуна

№ з/п	Марка	P_{SN} , кВт	n , об/хв	g_e , г/(кВт·год)	L , мм	B , мм	H , мм	G , т
1	11L42MC	10945	176	177	10813	2460	6700	229

1.3 Визначення елементів проєкту судна в другому наближенні

1.3.1 Розрахунок водотоннажності.

Для знаходження водотоннажності у другому наближенні використовуємо рівняння мас, ‘виражене у функції головних розмірів, у якому складові навантаження мас рахуються за формулами, які дають точніші результати. Так маса корпусу в цьому рівнянні виражається залежністю $P_K = q_K C_b^{\Pi} L B D$, а маса обладнання $P_O = q_O (L B D)^{2/3}$. При визначенні маси енергетичної установки та маси палива використовується значення потужності головного двигуна, зазначене в каталозі. Вирази для маси забезпечення $P_{заб}$, запасу водотоннажності $P_{зв}$, значення яких у навантаженні мас незначні, доцільно залишити незмінним $P_{заб} = a_c \Delta$; $P_{зв} = a_{зв} \Delta$.

Для виключення кількох невідомих у рівнянні мас і його подальшого приведення до форми, в якій можна вирішити відносно (Δ), використовуються наступні перетворення:

$$P_K = q_K C_b^{\Pi} L B D = q_K C_b^{\Pi} L B D \frac{\Delta}{\rho_B k_B C_b L B d} = \Delta \left(q_K \frac{C_b^{\Pi} D}{C_b} \frac{1}{d \rho_B k_B} \right),$$

$$P_O = q_O (L B D)^{2/3} = \Delta^{\frac{2}{3}} \left(q_O \left(\frac{D}{d \rho_K k_K C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right).$$

З урахуванням виконаних перетворень рівняння мас приймає вигляд:

$$\Delta_1 \left(1 - q_K \frac{C_b^{\Pi} D}{C_b} \frac{1}{d \rho_B k_B} - a_{заб} - a_{зв} \right) = \Delta_1^{\frac{2}{3}} \left(q_O \left(\frac{D}{d \rho_K k_K C_b} \right)^{\frac{2}{3}} \right) + q_{ey} N_{ey}^B + q_{п} k_{мз} k_{вс} N_{ey}^e \frac{R}{v_e} + P_B.$$

Таблиця 1.3.1.1 – Визначення проміжних коефіцієнтів

Назва величини	Формула	Значення
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу прототипу	$k_{al}=1.01$ $\delta_n = \delta \frac{T}{H} + \alpha k_{al} \left(1 - \frac{T}{H}\right)$	0.842
Коефіцієнт повноти об'єму корпусу судна по верхню палубу проєкту	$k_{al}=1.01$ $\delta_n = \delta \frac{T}{H} + \alpha k_{al} \left(1 - \frac{T}{H}\right)$	0.837
Вимірник маси корпусу прототипу	$q_K = \frac{\bar{P}_K}{\bar{C}_b^n \bar{L} \bar{B} \bar{D}}$	0.0965
Вимірник маси обладнання	$q_{OB} = \frac{\bar{P}_{OB}}{(\bar{L} \bar{B} \bar{D})^{2/3}}$	1.1179
Коефіцієнт морського запасу	$k_{мз}$	1.2
Коефіцієнт збільшення запасу палива	$k_{доо}$	1.2
Коефіцієнти для вирішення рівняння мас	$n = 1 - 0,966 q_K \frac{D}{d} \frac{C_b^n}{C_b} - a_{зв} - a_B$	0.8211
	$m = q_{OB} \left(\frac{D_1}{d_1} \frac{1}{C_b \gamma} \right)^{2/3} + q_3$	2.0711
	$A = q_{EY} N_{EY}^e + q_{II} k_{мз} k_{доо} N_{EY}^e \frac{R}{v_E} + P_B$	41104.94
Рівняння мас у функції головних розмірів	$\Delta - \frac{m}{n} \Delta^{2/3} - \frac{A}{n} = 0$	0

Використавши метод підбору параметрів у програмі Excel розв'яжемо рівняння водотоннажності та знайдемо водотоннажність у другому наближенні

$$\Delta_2 = 53652 \text{ т.}$$

Використовуючи значення водотоннажності у другому наближенні розрахуємо маси статей навантаження судна-проекту в табл. 1.3.1.2.

Таблиця 1.3.1.2 – Розрахунок мас статей навантаження

Назва статі навантаження	Формула	Значення
Маса корпусу, т	$P_K = q_K \Delta \left(\frac{C_b^n D}{C_b d} \frac{1}{k_{\text{вч}} \rho} \right)$	9064
Маса обладнання, т	$P_{\text{ОБ}} = q_{\text{ОБ}} \Delta^{\frac{2}{3}} \left(\frac{D}{d} \frac{1}{C_b k_{\text{вч}} \rho} \right)^{2/3}$	2618
Маса енергетичної установки, т	$P_{\text{ЕУ}} = q_{\text{ЕУ}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{е}}$	965
Маса забезпечення, т	$P_3 = q_3 \Delta_2^{2/3}$	328
Маса запасу водотоннажності, т	$P_{3\text{В}} = a_{3\text{В}} \Delta_2$	537
Маса палива, т	$P_{\text{П}} = q_{\text{П}} N_{\text{ЕУ}}^{\text{е}} \frac{R}{v_e} k_{\text{мз}} k_{\text{доо}}$	2310
Маса баласту, т	$P_B = a_B \Delta_2$	0
Маса вантажу, т	P_B	37830
Водотоннажність, т	$\Delta_2 = P_K + P_{\text{ОБ}} + P_{\text{ЕУ}} + P_{\text{П}} + P_3 + P_{3\text{В}} + P_B + P_B$	53652

1.3.2 Уточнюємо головні розміри з урахуванням вимог до початкової остійності, місткості та плавності хитавиці

У другому наближенні уточнення цих відношень проводиться з урахуванням вимог до різних якостей судна.

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

$$(D/d)_2 = (1.07\mu_B\eta_B + 0.16)k_e$$

$$\left(\frac{D}{d}\right)_{\text{ВМС}} = (1.07 \cdot 1.361 \cdot 0.71 + 0.16)1.4 = 1.68.$$

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{D}{d}\right)_2 = 1.68.$$

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

$$\left(\frac{B}{d}\right)_2 = \frac{\frac{h}{B} + \sqrt{\left(\frac{h}{B}\right)^2 + \frac{k_p C_w^2}{3 C_b} \left(\xi_g \frac{D}{d} - \frac{1}{2} \left(\frac{C_w}{C_b}\right)^{0.5}\right)}}{\frac{k_p C_w^2}{6 C_b}} =$$

$$\frac{0.11 + \sqrt{(0.11)^2 + \frac{1.031 \cdot 0.905^2}{3 \cdot 0.785} \left(0.57 \cdot 1.68 - \frac{1}{2} \left(\frac{0.905}{0.785}\right)^{0.5}\right)}}{\frac{1.031 \cdot 0.905^2}{6 \cdot 0.785}} = 2.85.$$

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

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{B}{d}\right)_2 = 2.90.$$

- Визначення відношення довжини до ширини з умови забезпечення ходовості:

$$\left(\frac{L}{B}\right)_2 = \sqrt{l^3 \cdot C_b \cdot \frac{1}{(B/d)_2} \cdot k_{\text{вч}} \cdot \rho} = \sqrt{4.84^3 \cdot 0.785 \cdot 1/2.90 \cdot 1.01 \cdot 1.025} = 5.63$$

$$\text{Приймаємо } \left(\frac{L}{B}\right)_2 = 5.54.$$

1.3.3 Розрахунок головних розмірів

Для визначення головних розмірів використаємо рівняння плавучості:

$$\Delta_2 = k_B \rho_B C_b L_2 B_2 d_2$$

де $k_B = 1.01$ – коефіцієнт, який враховує частини корпусу, що виступають за обводи ТК.

Використавши відношення головних розмірів, запишемо рівняння у виді:

$$\Delta = k_B \rho_B C_b (L/B)_2 B_2^3 (d/B)_2.$$

Таблиця 1.3.3.1 – Розрахунок головних розмірів у другому наближенні

Ширина судна (м)	$B_2 = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2 (B/d)_2}{k_B \rho_B C_b (L/B)_2}}$	32.6
Довжина судна (м)	$L_2 = \left(\frac{L}{B}\right)_2 B_2$	180.5
Осадка судна (м)	$d_2 = \frac{B_2}{\left(\frac{B}{d}\right)_2}$	11.2
Висота борта (м)	$D_2 = d_2 \left(\frac{D}{d}\right)_2$	18.9

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

1.4 Середовище побудови теоретичного креслення та розрахунку елементів плавучості і початкової остійності.

Щоб побудувати теоретичне креслення та зробити розрахунок елементів початкової остійності використовуємо програмний комплекс Maxsurf. 3D модель і теоретичне креслення створюємо в середовищах Maxsurf Modeler та AutoCAD, використовуючи перетворення поверхні корпусу прототипу.

Вихідні дані:

- кількість батоксів – 4 (I.. IV);
- кількість ватерліній – 12 (1..12);
- кількість шпангоутів – 21 (0, 0.5, 1, 2, 3..17, 18, 19, 19.5, 20);
- теоретична шпация $\Delta L = L/20 = 9.025$ м.

За отриманими даними побудовано теоретичне креслення (24.ДРБ.135.4111.21.01), креслення загального розташування (24.ДРБ.135.4111.21.05) та гідростатичні криві (24.ДРБ.135.4111.21.02).

1.5 Побудова креслення загального розташування.

Креслення будуємо в середовищі AutoCAD у тому ж масштабі, що й теоретичне креслення.

На проекції «Вид збоку/Повздовжній переріз» розташовуємо поперечні перебірки, ставимо надбудову, друге дно, вантажні крани, мачти, леєрну огорожу, навігаційні та ходові вогні, суднові пристрої, ілюмінатори, двері, трапи, габаритні обриси головного двигуна, осі валопроводу, гвинт.

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

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

Після визначення головних розмірів і коефіцієнтів повноти судна необхідно перевірити його на вантажомісткість. Ця перевірка є остаточною і виконується з достатньою для цього точністю за допомогою програми Maxsurf Stability Enterprise. Так як довжина судна знаходиться в межах $165 \div 185$ м і розташування машинного відділення кормове, то загальну кількість водонепроникних перебірок фактичну шпацию визначаємо за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = (0,002 \cdot 180,5 + 0,48) \pm 25\% = 0,84 \text{ мм.}$$

Приймаємо $a_0 = 900 \text{ мм.}$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.01	

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

Таким чином поперечні перебірки поділяють корпус судна на відсіки які представлені у табл.1.6.1.

Таблиця 1.6.1 – Відсіки судна

Шпация	Відсік	Довжина
202-220	Ахтерпік	$L_{\text{ахт}}=18 \cdot 0.6=10.8$ м
173-202	МВ	$L_{\text{мв}}=29 \cdot 0.9=26.1$ м
167-173	Відст.танк	$L_{\text{відст.танк}}=6 \cdot 0.9=5.4$ м
146-167	Танк №7	$L_{\text{танк7}}=21 \cdot 0.9=18.9$ м
125-146	Танк №6	$L_{\text{танк6}}=21 \cdot 0.9=18.9$ м
104-125	Танк №5	$L_{\text{танк5}}=21 \cdot 0.9=18.9$ м
83-104	Танк №4	$L_{\text{танк4}}=21 \cdot 0.9=18.9$ м
62-83	Танк №3	$L_{\text{танк3}}=21 \cdot 0.9=18.9$ м
38-62	Танк №2	$L_{\text{танк2}}=9 \cdot 0.9+15 \cdot 0.7=18.6$ м
15-38	Танк №1	$L_{\text{танк1}}=23 \cdot 0.7=16.1$ м
0-15	Форпік	$L_{\text{фор}}=15 \cdot 0.6=9.0$ м.
Сума		$L = 180.5$ м

Висоту другого дна розраховуємо за формулою:

$$h_{\text{дд}} = \frac{B}{15} = \frac{32.6}{15} = 2.17 \text{ м.}$$

Приймаємо $h_{\text{дд}} = 2$ м.

Ширину подвійного борту визначаємо за формулою:

$$b_{\text{пб}} = \frac{W_{\text{тб}}}{2 \cdot L_{\text{ван}} \cdot H_{\text{танк}}} = \frac{21480}{2 \cdot 134.6 \cdot 16.9} = 4.73 \text{ м,}$$

де

$W_{Tiб}$ - місткість танків ізольованого баласту з основних характеристик танкеру;

$L_{ван}$ - довжина всіх танків, визначена на теоретичному кресленні, слоп танк включно;

$H_{танк}$ - висота танків, знаходиться як різниця між висотою судна та товщиною подвійного дна.

Приймаємо $b_{нб} = 4$ м.

Положення центру мас (ЦМ) визначається розрахунком з використанням Loadcase. При цьому абсциси та аплікати секцій корпусу, обладнання, запасу водотоннажності, енергетичної установки і постачання визначаються шляхом перерахунку від судна-прототипу пропорційно довжині і висоті борту за наступними залежностями:

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

Координати центрів мас вантажу, палива приймаються за Loadcase.

Результати розрахунків місткості були виконані у програмному комплексі Maxsurf Stability Enterprise за допомогою Loadcase та представлені в табл.1.6.2.

Таблица 1.6.2 – Таблица ёмности

№ п/п	Назва приміщення	Теоретичний об'єм, м ³	Перехідний коефіцієнт k (Завантаження , %)	Об'єм під вантаж, м ³	Координати центра ваги, м	
					x	z
1	Танк №1	5534.6	97.75%	5410.09	-17.62	10.277
2	Танк №2	7729.8	98%	7575.2	-34.40	10.278
3	Танк №3	7854.4	98%	7697.4	-53.15	10.278
4	Танк №4	7854.4	98%	7697.4	-72.05	10.278
5	Танк №5	7854.4	98%	7697.3	-90.95	10.278
6	Танк №6	7854.4	98%	7697.4	-109.8	10.278
7	Танк №7	7852.3	98%	7695.3	-128.7	10.280

8	Відстійний танк (Slop tank) для ТНК	2226.0	0%	0.000	-140.8	2.000
9	Σ об'єм під вантаж	54760.7		51470.2		
10	Цистерна баластна №1 ЛБ	673.3	0%	0	-22.63	2.000
11	Цистерна №1 ПБ	673.3	0%	0	-22.63	2.000
12	Цистерна №2 ЛБ	1169.3	0%	0	-36.06	2.000
13	Цистерна №2 ПБ	1169.3	0%	0	-36.06	2.000
14	Цистерна №3 ЛБ	1275.5	0%	0	-53.15	2.000
15	Цистерна №3 ПБ	1275.5	0%	0	-53.15	2.000
16	Цистерна №4 ЛБ	1275.6	0%	0	-72.05	2.000
17	Цистерна №4 ПБ	1275.6	0%	0	-72.05	2.000
18	Цистерна №5 ЛБ	1275.3	0%	0	-90.90	2.000
19	Цистерна №5 ПБ	1275.3	0%	0	-90.90	2.000
20	Цистерна №6 ЛБ	1266.1	0%	0	-109.3	2.000
21	Цистерна №6 ПБ	1266.1	0%	0	-109.3	2.000
22	Цистерна №7 ЛБ	1179.9	0%	0	-124.1	2.000
23	Цистерна №7 ПБ	1179.9	0%	0	-124.1	2.000
24	Цистерна відстійного танка ПБ для ТНК	296.4	0%	0	-138.2	2.757
25	Цистерна відстійного танка ЛБ для ТНК	296.4	0%	0	-138.2	2.757
26	Форпик	1917.1	0%	0	-7.603	0
27	Ахтерпик	3958.9	0%	0	-170.3	0
28	Σ об'єм під баласт	22699.8	0%	0	0	0
29	Цистерна 2-го дна №1	506.4	0%	0	-19.04	0
30	Цистерна №2	1050.4	0%	0	-35.19	0
31	Цистерна №3	1190.4	0%	0	-53.15	0
32	Цистерна №4	1190.7	0%	0	-72.05	0
33	Цистерна №5	1187.6	38.86%	461.5	-90.92	0
34	Цистерна №6	1064.8	98%	1043.5	-109.4	1
35	Цистерна №7	732.7	98%	718.1	-127.9	1
36	Цистерна відстійного танка для ТНК	148.1	98%	145.2	-140.8	1
37	Цистерна МВ	389.5	98%	381.7	-154.0	1.09
38	Σ об'єм під паливо	7461.08	36.86%	2750.0	-119.0	0.970

Перевірка наявності достатнього об'єму під вантаж і паливо:

$$\text{Потрібний об'єм під вантаж: } W_B = P_B / \gamma_B = 37830 / 0.735 = 51469.38 \text{ м}^3$$

Фактичний об'єм під вантаж: $W_{\phi} = 51470.2 \text{ м}^3$ (з таблиці ємності (LoadCase)).

Перевірка:

$$W_{\phi} \geq W_{\text{в}}$$

$$51470.2 \text{ м}^3 \geq 51469.38 \text{ м}^3$$

Похибка: $\varepsilon = \frac{W_{\phi} - W_{\text{в}}}{W_{\phi}} \cdot 100\% = \frac{51470.2 - 51469.3}{51470.2} \cdot 100\% = 0.002 < 5\%$

Потрібний об'єм під паливо: $W_{\text{п}} = P_{\text{п}} / \gamma_{\text{п}} = 2310 / 0.84 = 2750 \text{ м}^3$

Фактичний об'єм під паливо: $W_{\phi} = 2750 \text{ м}^3$ (з таблиці ємності (LoadCase)).

Перевірка:

$$W_{\phi} \geq W_{\text{в}}$$

$$2750 \text{ м}^3 = 2750 \text{ м}^3$$

Похибка:

$$\varepsilon = \frac{2750 - 2750}{2750} \cdot 100\% = 0\% < 5\%$$

Проект судна повністю вміщує в собі увесь вантаж та паливо.

1.7 Удиферентування проекту судна

У розрахунках будемо вважати, що вантаж і паливо розміщені симетрично відносно діаметральної площини (ДП), тому крен судна відсутній.

Для визначення диференту судна використовується програма Maxsurf Stability Enterprise. Розглянемо перший стан навантаження: 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту, отримуючи дані з Loadcase (таблиця 1.7.1).

Таблиця 1.7.1 – Loadcase для I-го стану навантаження

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.01	

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	9064.000	9064.000			-98.500	0.000	11.150	0.000	User Spe
2	Engine	1	965.000	965.000			-156.710	0.000	9.820	0.000	User Spe
3	Equipment	1	2618.000	2618.000			-122.720	0.000	17.520	0.000	User Spe
4	Margin/Reserve	1	537.000	537.000			-90.250	0.000	9.450	0.000	User Spe
5	Total Lightship			13184.000			-107.234	0.000	12.248	0.000	
6	Tank 1	97.75%	4067.949	3976.421	5534.625	5410.096	-17.620	0.000	10.277	11042.907	IMO A.74
7	Tank 2	98%	5681.414	5567.786	7729.815	7575.218	-34.400	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
8	Tank 3	98%	5773.050	5657.590	7854.490	7697.401	-53.150	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
9	Tank 4	98%	5773.050	5657.590	7854.490	7697.401	-72.050	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
10	Tank 5	98%	5773.048	5657.587	7854.487	7697.398	-90.950	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
11	Tank 6	98%	5773.050	5657.590	7854.490	7697.401	-109.850	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
12	Tank 7	98%	5771.480	5656.050	7852.353	7695.306	-128.748	0.000	10.280	0.000	IMO A.74
13	Slop Tank	0%	1636.116	0.000	2226.008	0.000	-140.803	0.000	2.000	0.000	IMO A.74
14	Total Cargo	93.99%	40249.158	37830.612	54760.758	51470.220	-74.917	0.000	10.278	11042.907	
15	DB Tank 1	0%	425.459	0.000	506.498	0.000	-19.049	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
16	DB Tank 2	0%	882.418	0.000	1050.498	0.000	-35.199	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
17	DB Tank 3	0%	999.944	0.000	1190.409	0.000	-53.155	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
18	DB Tank 4	0%	1000.213	0.000	1190.729	0.000	-72.050	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
19	DB Tank 5	38.86%	997.661	387.691	1187.691	461.537	-90.921	0.000	0.408	41505.431	Actual
20	DB Tank 6	98%	894.432	876.544	1064.800	1043.504	-109.471	0.000	1.040	0.000	IMO A.74
21	DB Tank 7	98%	615.518	603.208	732.760	718.104	-127.997	0.000	1.131	0.000	IMO A.74
22	DB Slop Tank	98%	124.470	121.981	148.178	145.215	-140.816	0.000	1.123	0.000	IMO A.74
23	DB Engine Room	98%	327.195	320.651	389.517	381.727	-154.039	0.000	1.096	0.000	IMO A.74
24	Total Fuel	36.86%	6267.308	2310.073	7461.081	2750.087	-119.037	0.000	0.970	41505.431	
25	Forepeak	0%	1965.038	0.000	1917.110	0.000	-7.603	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
26	DS Tank 1 Port	0%	690.223	0.000	673.388	0.000	-22.635	-11.997	2.000	0.000	IMO A.74
27	DS Tank 1 Stbd	0%	690.223	0.000	673.388	0.000	-22.635	11.997	2.000	0.000	IMO A.74
28	DS Tank 2 Port	0%	1198.586	0.000	1169.352	0.000	-36.065	-13.898	2.000	0.000	IMO A.74
29	DS Tank 2 Stbd	0%	1198.586	0.000	1169.352	0.000	-36.065	13.898	2.000	0.000	IMO A.74
30	DS Tank 3 Port	0%	1307.475	0.000	1275.585	0.000	-53.156	-14.268	2.000	0.000	IMO A.74
31	DS Tank 3 Stbd	0%	1307.475	0.000	1275.585	0.000	-53.156	14.268	2.000	0.000	IMO A.74
32	DS Tank 4 Port	0%	1307.551	0.000	1275.659	0.000	-72.050	-14.270	2.000	0.000	IMO A.74
33	DS Tank 4 Stbd	0%	1307.551	0.000	1275.659	0.000	-72.050	14.270	2.000	0.000	IMO A.74
34	DS Tank 5 Port	0%	1307.237	0.000	1275.353	0.000	-90.908	-14.257	2.000	0.000	IMO A.74
35	DS Tank 5 Stbd	0%	1307.237	0.000	1275.353	0.000	-90.908	14.257	2.000	0.000	IMO A.74
36	DS Tank 6 Port	0%	1297.792	0.000	1266.138	0.000	-109.302	-14.021	2.000	0.000	IMO A.74
37	DS Tank 6 Stbd	0%	1297.792	0.000	1266.138	0.000	-109.302	14.021	2.000	0.000	IMO A.74
38	DS Tank 7 Port	0%	1209.436	0.000	1179.938	0.000	-124.129	-13.220	2.000	0.000	IMO A.74
39	DS Tank 7 Stbd	0%	1209.436	0.000	1179.938	0.000	-124.129	13.220	2.000	0.000	IMO A.74
40	DS Slop Tank Port	0%	303.860	0.000	296.449	0.000	-138.231	-12.300	2.757	0.000	IMO A.74

Таблиця 1.7.2 – Розрахунок водотоннажності судна-проекту

№	Назва	Маса P, т	Плечі, м		Моменти, т.м	
			$x_i = \frac{\bar{x}_i}{\bar{L}} \cdot L$	$z_i = \frac{\bar{z}_i}{\bar{H}} \cdot H$	$P_i \cdot x_i$	$P_i \cdot z_i$
1	Водотоннажність порожнем (Σпор.)	13184	-107.234	12.248	-1413773.05	161477.632
2	Вантаж	37830	-74.917	10.278	-2834110.11	388816.74
3	Постачання	328	-165.58	17.4	-54310.24	5707.2
4	Паливо	2310	-119.037	0.97	-274975.47	2240.7
	Σ	53652	-466.768	40.896	-25043036.7	2194152.192
Водотоннажність повна		53652	-85.313	10.405	-4577213.07	558249.1

Удиферентування проекту виконується в середовищі Maxsurf Stability для повного навантаження: - 100% вантажу, 100% запасів, 0% баласту. На рисунку 1.7.1 представлена візуалізація посадки судна, а в таблиця 1.7.3 та таблиця 1.7.3.1 - параметри посадки. За допомогою Loadcase перевіряємо посадку судна (таблиця 1.7.3 та таблиця 1.7.3.1).

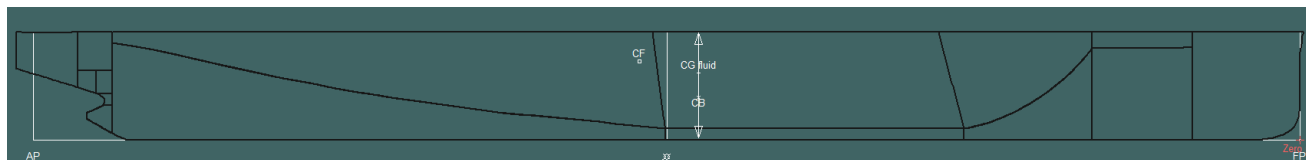


Рисунок 1.7.1 – Удиферентоване судно у повному вантажі

Таблиця 1.7.3 – Loadcase посадка судна

	Heel to Starboard deg	-30.0	-20.0	-10.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
1	GZ m	-1.956	-1.187	-0.544	0.000	0.544	1.187	1.956	2.190	1.868	1.241	0.462	-0.387	-1.251
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0.4690	0.1959	0.0468	0.0000	0.0470	0.1950	0.4720	0.8434	1.2037	1.4780	1.6281	1.6352	1.4922
3	Displacement t	53656	53653	53653	53653	53653	53653	53653	53653	53653	53653	53653	53653	53651
4	Draft at FP m	11.642	11.358	11.238	11.193	11.238	11.360	11.644	12.504	13.838	15.904	19.740	30.709	n/a
5	Draft at AP m	10.136	10.757	11.092	11.199	11.091	10.755	10.133	9.521	8.833	7.911	6.452	2.637	n/a
6	WL Length m	186.01	185.08	183.17	182.83	183.17	185.08	186.01	186.02	186.04	186.40	186.54	186.37	185.94
7	Beam max extents on WL m	34.692	34.692	33.103	32.600	33.103	34.692	34.693	29.393	24.664	21.816	20.106	19.185	18.894
8	Wetted Area m²	8676.2	8443.3	8412.2	8400.9	8412.3	8443.1	8675.6	9000.6	9102.8	9155.5	9161.2	9154.4	9145.3
9	Waterpl. Area m²	5590.1	5720.5	5511.3	5444.9	5511.2	5720.4	5590.2	4760.6	4100.3	3715.1	3510.8	3380.7	3328.8
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.777	0.780	0.788	0.790	0.788	0.780	0.777	0.782	0.785	0.786	0.786	0.788	0.790
11	Block coeff. (Cb)	0.475	0.527	0.639	0.784	0.639	0.527	0.475	0.515	0.580	0.636	0.688	0.739	0.771
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-85.27	-85.30	-85.31	-85.31	-85.30	-85.29	-85.27	-85.23	-85.19	-85.15	-85.13	-85.12	-85.11
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-90.89	-91.80	-92.54	-92.74	-92.54	-91.79	-90.89	-89.43	-89.32	-89.89	-91.01	-91.19	-90.79
14	Max deck inclination deg	30.002	20.000	10.000	0.0019	10.000	20.000	30.002	40.005	50.007	60.008	70.006	80.003	90.000
15	Trim angle (+ve by stern) deg	-0.477	-0.190	-0.046	0.0019	-0.046	-0.192	-0.479	-0.947	-1.588	-2.535	-4.210	-8.839	-90.00

Equilibrium	Loadcase 1	Intact
Assembly	Design	
Geometry	Compartmentation	
Surface 1	Surface 2	Surface 3
Surface 4	Surface 5	Surface 6
Surface 7	Surface 8	Surface 9
Surface 10	Surface 11	Surface 12
Surface 13	Surface 14	Surface 15
Surface 16	Superstructure	Bridge
Afterpeak		
Properties		
1	Draft Amidships m	11.196
2	Displacement t	53653
3	Heel deg	0.0
4	Draft at FP m	11.196
5	Draft at AP m	11.196
6	Draft at LCF m	11.196
7	Trim (+ve by stern) m	0.000
8	WL Length m	182.82
9	Beam max extents on W	32.600
10	Wetted Area m²	8400.7
11	Waterpl. Area m²	5444.6
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.790
13	Block coeff. (Cb)	0.784
14	Max Sect. area coeff. (C)	0.993
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.914
16	LCB from zero pt. (+ve fw	-85.30
17	LCF from zero pt. (+ve fw	-92.73
18	KB m	5.959
19	KG fluid m	11.384
20	BMT m	8.456
21	BML m	248.17
22	GMt corrected m	3.030
23	GML m	242.74
24	KMT m	14.414
25	KML m	254.12
26	Immersion (TPC) tonne/c	55.808
27	MTc tonne.m	721.54
28	RM at 1deg = GMt.Disp.	2837.1
29	Max deck inclination deg	0.0000
30	Trim angle (+ve by stern)	0.0000

Таблиця 1.7.3.1 – Посадка судна

Осадка розрахункова (на міделі), м	11.2
Водотоннажність вагове, т	53652
Крен на правий борт, град	0.0
Осадка носом (на носовому перпендикулярі), м	11.2
Осадка кормою (на кормовому перпендикуляре), м	11.2
Осадка в центрі ваги площі ватерлінії, м	11.2
Диферент (позитивний на корму), м	0.000
Довжина ватерлінії WL, м	182.82
Ширина ватерлінії, м	32.600
Площа змоченої поверхні, м ²	8400.7
Площа ватерлінії, м ²	5444.6
Коефіцієнт поздовжньої повноти C_p	0.790
Коефіцієнт загальної повноти C_b	0.784
Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута C_m	0.993
Коефіцієнт повноти площі ватерлінії C_{wp}	0.914
Відстань ЦВ судна від носового перпендикуляру (абсциса центру величини X_c (LCB) (позитивна в ніс)), м	-85.30
Відстань ЦТ площі ватерлінії від носового перпендикуляру X_f (LCF) (абсциса центру ваги площі ватерлінії), м	-92.73
Аппліката центру величини Z_b (VCB чи KB), м	5.959
Піднесення ЦВ судна над ОЛ Z_g (VCG чи KG) (аппліката центру ваги), м	11.384
Поперечний метацентричної радіус BM_t , м	8.456
Поздовжній метацентричної радіус BML , м	248.17
Поперечна метацентрична висота GM_t , м	3.03
Поздовжня метацентрична висота GML , м	242.74
Піднесення поперечного метацентра над ОЛ KM_t (аппліката поперечного метацентра), м	14.414
Піднесення поздовжнього метацентра над ОЛ KML (аппліката поздовжнього метацентра), м	254.12
Число тон на 1 см осадки, т / см	55.808
Момент, диферентуючий на 1 см MT_c , т м / см	721.54
Момент, що кренить на 1 градус RM , т м / град	2837.1
Максимальний нахил палуби, град	0.00
Кут диференту (позитивний на корму), град	0.00

В результаті отримуємо диферент 0.00 м на корму.

Таким чином $X_c = -85.30$; $X_g = -85.31$.

Згідно даним табл.2.7.3.1 розрахунковий стан має такі характеристики:

$$\begin{aligned} T_n &= 11.2 - \text{осадка носом, м;} \\ T_k &= 11.2 - \text{осадка кормою, м;} \\ \Delta T &= 0.00 - \text{диферент, м;} \end{aligned}$$

Диферент не повинен перебільшувати $\Delta T \leq (0.006 \dots 0.008)L$ – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води:

- $\Delta T \leq (0.006 \dots 0.008) \cdot L = 0.008 \cdot 180.5 = 1.44$ м – умова забезпечення задовільної ходовості по опору води: $0.000 < 1.44$, умова задовольняє;

- $T_n \geq \frac{L}{40} = \frac{180.5}{40} = 4.51$ м – умова відсутності слемінгу: $11.2 > 4.51$, умова задовольняє;

- $T_k \geq d_{гв} - d_{гв} = 7.84$ м – умова забезпечення нормальної роботи гвинта і керованості: $11.2 > 8.3$ – умова задовольняє.

- $T_k \geq T_n$ – умова забезпечення морехідних якостей: $11.2 = 11.2$ – умова задовольняє.

Висновок:

Таким чином $X_c = -85.30$; $X_g = -85.31$.

Отже, проєкт у повному вантажі удиферентовано.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.01	

1.8 Креслення загального розташування

№	Найменування	Розмірність	Позначення	Значення
1	Довжина найбільша	м	L	185.0
2	Довжина між перпендикулярами	м	L	180.5
3	Ширина	м	B	32.6
4	Висота борту	м	D	18.9
5	Осадка проектна	м	d	11.2
6	Дедвейт по проектній осадці	т	DW	40468
7	Місткість вантажних трюмів	м ³	W	53175
8	Марка головного двигуна	MAN B&D 11L42MC		
9	Максимальна потужність	кВт	N	10945
10	Частота обертання гребного гвинта	хв ⁻¹	n	176
11	Дальність плавання	милі	R	15500
12	Швидкість судна експлуатаційна	вузли	v	15.5
13	Екіпаж	осіб	-	29
14	Клас	KM+J42A1		

Таблиця 1.8.1 Основні характеристики

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.02			
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата	Перевірка морехідних якостей судна	Літ.	Арк.Дата	Аркушів
							Арк.	
Студент	Ратуш А.Ю.					НУК		
Консульт.	Пашенко Ю.М							
Керівник	Астахова А.О.							
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.							

2. Перевірка морехідних якостей судна.

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

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

Далі виконується експорт проєкцій з програми Maxsurf Stability Advanced у середовище AutoCAD, де воно редагується, та оформлюється у масштабі 1:200 відповідно до ЄСКД.

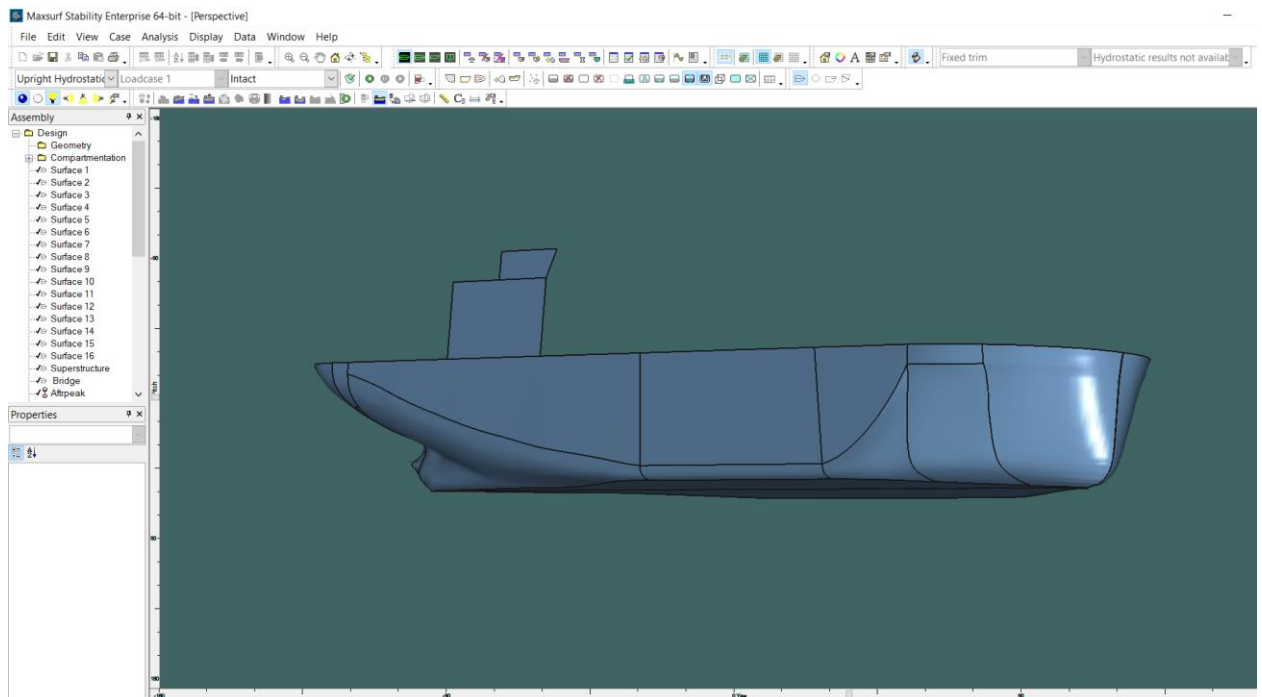


Рисунок 2.1.1.— 3D модель судна в середовищі Maxsurf Modeler.

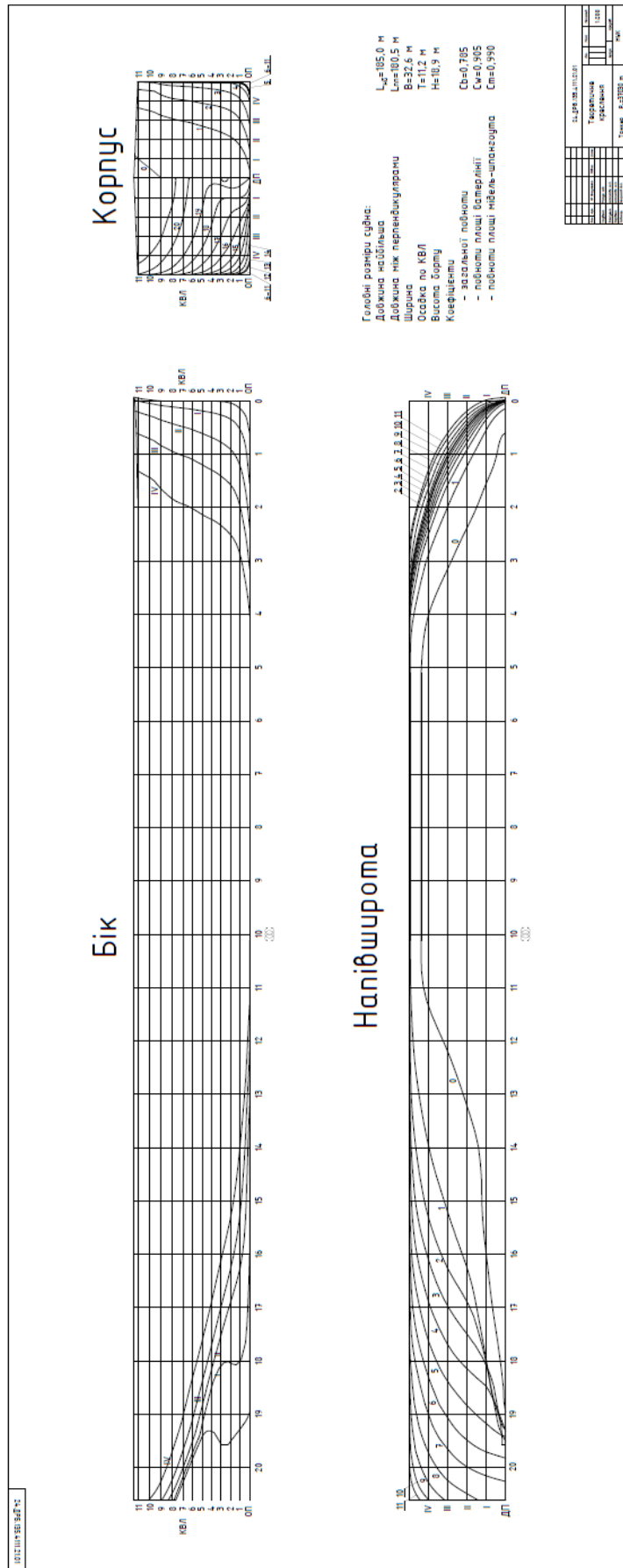


Рисунок 2.1.2. - Теоретичне креслення

2.2. Розрахунок гідростатичних кривих.

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

Гідростатичні криві показують залежність значень коефіцієнтів повноти, площі ватерлінії, абсциси центра ваги площі ватерлінії, абсциси центра величини, вагової та об'ємної водотоннажності, аплікати центру величини, поздовжнього та поперечного метацентричних радіусів, поздовжнього та поперечного моментів інерції площі ватерлінії, аплікати поперечного та поздовжнього метацентрів від осадки.

Для побудови гідростатичних кривих необхідно обчислити значення всіх цих елементів для ряду осадок, які визначаються за наступними інтегралами:

Площа ватерлінії:

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

Абсциса центру ваги площі ватерлінії:

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

Об'ємна водотоннажність:

$$V = \int_0^T \int_{-L/2}^{L/2} y dx dz \quad D = V \cdot \gamma \cdot k_{\hat{a}}$$

Вагова водотоннажність:

Абсциса центру величини: $x_c = \frac{M_{mid}}{V}$

Апліката центру величини: $z_c = \frac{M_{\hat{z}}}{V}$

Поздовжній момент інерції площі ватерлінії:

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

Поперечний момент інерції площі ватерлінії:

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

Поздовжній метацентричний радіус: $R = \frac{I_f}{V}$

Поперечний метацентричний радіус: $r = \frac{I_x}{V}$

Коефіцієнт повноти площі ватерлінії:

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

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту:

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

Коефіцієнт загальної повноти:

$$C_b = \frac{V}{2y_{\max} L_i T_i}$$

Розрахунок даних виконується за допомогою програми «Maxsurf».

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.02	

Hydrostatics - Танкер

Fixed Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Range ✕

Initial draft amidships

Final draft amidships

Draft increment

Number of drafts

LCG from zero point

VCG from zero point

Maxsurf Stability Enterprise 64-bit - [Results]

File Edit View Case Analysis Display Data Window Help

Upright Hydrostatic Loadcase 1 Intact

Assembly		Draft Amidships m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Design	1	Displacement t	1661	6398	11621	17081	22717	28528	34529	40730	47118	53672
Geometry	2	Heel deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Compartmentation	3	Draft at FP m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Surface 1	4	Draft at AP m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Surface 2	5	Draft at LCF m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Surface 3	6	Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Surface 4	7	WL Length m	169.30	172.84	175.14	176.46	175.75	174.35	174.68	177.05	179.87	182.83
Surface 5	8	Beam max extents on WL m	31.031	32.371	32.503	32.512	32.527	32.541	32.556	32.571	32.585	32.600
Surface 6	9	Wetted Area m ²	3544.5	4336.7	4876.4	5372.0	5874.2	6370.4	6873.1	7388.8	7894.4	8402.3
Surface 7	10	Waterpl. Area m ²	3516.8	4142.6	4399.4	4553.7	4695.2	4845.0	5004.7	5169.0	5312.6	5445.0
Surface 8	11	Prismatic coeff. (Cp)	0.637	0.683	0.707	0.726	0.747	0.769	0.783	0.788	0.790	0.790
Surface 9	12	Block coeff. (Cb)	0.617	0.661	0.692	0.714	0.738	0.761	0.776	0.781	0.783	0.784
Surface 10	13	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.968	0.968	0.979	0.985	0.988	0.989	0.991	0.992	0.992	0.993
Surface 11	14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.669	0.740	0.773	0.794	0.821	0.854	0.880	0.896	0.906	0.914
Surface 12	15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-76.78	-78.78	-79.76	-80.46	-81.10	-81.80	-82.59	-83.47	-84.39	-85.30
Surface 13	16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-77.99	-80.36	-81.47	-82.46	-83.72	-85.38	-87.32	-89.36	-91.08	-92.74
Surface 14	17	KB m	0.258	0.889	1.518	2.144	2.769	3.397	4.031	4.670	5.314	5.961
Surface 15	18	KG m	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200
Surface 16	19	BMt m	131.90	46.428	28.599	20.735	16.412	13.675	11.783	10.395	9.316	8.453
Bridge	20	BML m	2989.0	1055.5	656.29	480.49	388.50	336.15	304.00	282.53	263.78	248.13
Aftpeak	21	GMt m	120.95	36.116	18.917	11.679	7.981	5.872	4.614	3.865	3.430	3.214
	22	GML m	2978.1	1045.2	646.60	471.43	380.07	328.35	296.83	276.00	257.90	242.89
	23	KMt m	132.15	47.316	30.117	22.879	19.181	17.072	15.814	15.065	14.630	14.414
	24	KML m	2989.3	1056.4	657.80	482.63	391.27	339.55	308.03	287.20	269.10	254.09
	25	Immersion (TPC) tonne/cm	36.048	42.462	45.094	46.676	48.127	49.662	51.298	52.983	54.455	55.812
	26	MTc tonne.m	274.02	370.49	416.30	446.13	478.34	518.97	567.84	622.82	673.22	722.24
	27	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.	3506.0	4032.7	3836.6	3481.5	3164.0	2923.8	2780.3	2747.7	2820.7	3010.5
	28	Max deck inclination deg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	29	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Таблиця 2.2.1 - Таблиця кривих елементів теоретичного креслення (гідростатичних кривих).

Draft Amidships m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Displacement t	1661	6398	11621	17081	22717	28528	34529	40730	47118	53672
Heel deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Draft at FP m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Draft at AP m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Draft at LCF m	0.500	1.689	2.878	4.067	5.256	6.444	7.633	8.822	10.011	11.200
Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
WL Length m	169.309	172.845	175.149	176.464	175.757	174.352	174.683	177.055	179.873	182.835
Beam max extents on WL m	31.031	32.371	32.503	32.512	32.527	32.541	32.556	32.571	32.585	32.600
Wetted Area m^2	3544.581	4336.748	4876.459	5372.056	5874.263	6370.424	6873.108	7388.815	7894.406	8402.301
Waterpl. Area m^2	3516.876	4142.648	4399.435	4553.777	4695.279	4845.067	5004.712	5169.046	5312.696	5445.060
Prismatic coeff. (Cp)	0.637	0.683	0.707	0.726	0.747	0.769	0.783	0.788	0.790	0.790
Block coeff. (Cb)	0.617	0.661	0.692	0.714	0.738	0.761	0.776	0.781	0.783	0.784
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.968	0.968	0.979	0.985	0.988	0.989	0.991	0.992	0.992	0.993
Waterpl. areacoeff. (Cwp)	0.669	0.740	0.773	0.794	0.821	0.854	0.880	0.896	0.906	0.914
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-76.789	-78.783	-79.761	-80.463	-81.109	-81.803	-82.594	-83.474	-84.390	-85.308
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-77.995	-80.364	-81.477	-82.464	-83.720	-85.384	-87.328	-89.363	-91.082	-92.741
KB m	0.258	0.889	1.518	2.144	2.769	3.397	4.031	4.670	5.314	5.961
KG m	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200	11.200
BMt m	131.900	46.428	28.599	20.735	16.412	13.675	11.783	10.395	9.316	8.453
BML m	2989.055	1055.549	656.290	480.491	388.508	336.159	304.008	282.537	263.788	248.131
GMt m	120.958	36.116	18.917	11.679	7.981	5.872	4.614	3.865	3.430	3.214
GML m	2978.113	1045.238	646.608	471.435	380.077	328.357	296.839	276.007	257.902	242.891
KMt m	132.158	47.316	30.117	22.879	19.181	17.072	15.814	15.065	14.630	14.414
KML m	2989.313	1056.438	657.808	482.635	391.277	339.557	308.039	287.207	269.102	254.091
Immersion (TPc) tonne/cm	36.048	42.462	45.094	46.676	48.127	49.662	51.298	52.983	54.455	55.812
MTctonne.m	274.026	370.495	416.306	446.138	478.342	518.975	567.846	622.821	673.227	722.246
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	3506.059	4032.762	3836.645	3481.527	3164.080	2923.839	2780.308	2747.700	2820.730	3010.538
Max deck inclination deg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

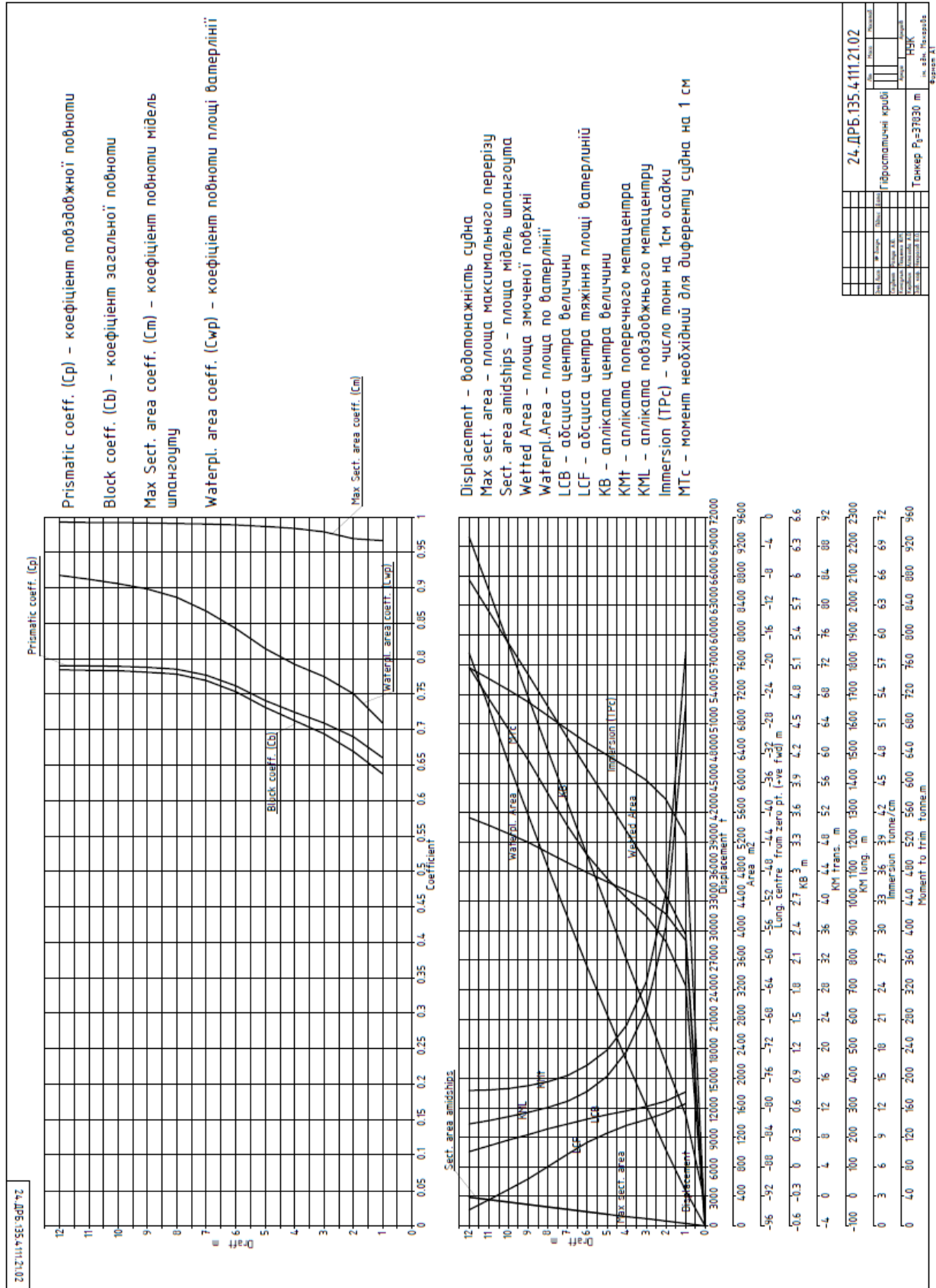
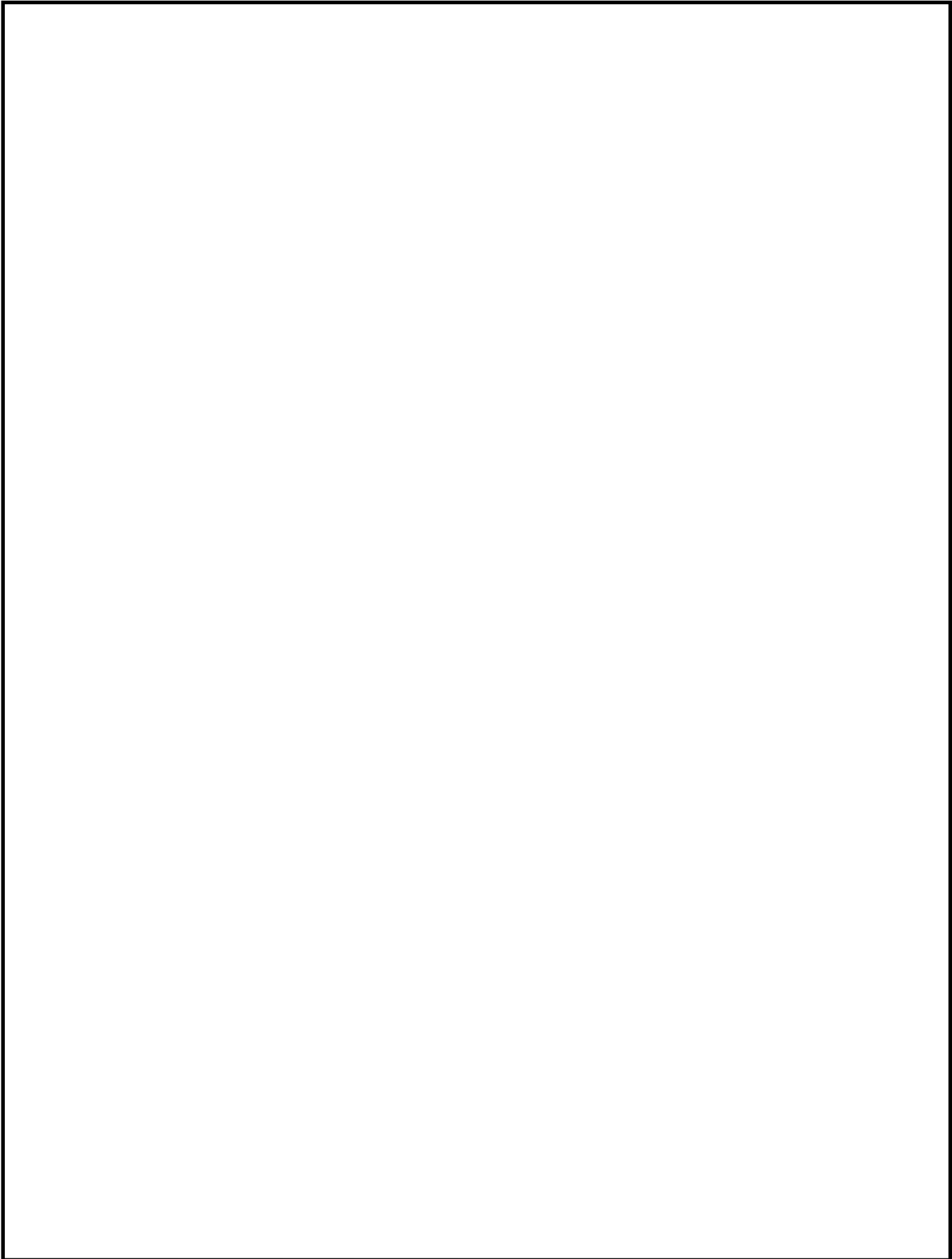


Рисунок 2.2.2. - Гідростатичні криві



					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.02								
Змн.	Арк.З	№ докум.	Підпис№	Дата									
					Перевірка вимог класифікаційного товариства до остійності судна.				Літ.	Маса	Масштаб		
Студент	Ратуш А.Ю.											Арк.	Аркушів
Консульт.	Пащенко Ю.М.								НУК				
Керівник	Астахова А.О.												
Зав. кафедр.	Некрасов В.О.												

2.3 Перевірка вимог Правил Регістру до остійності проєкту

2.3.1. Розрахунок амплітуди хитавиці

Перевірка остійності судна здійснюється для першого стану завантаження проєкту. Використовуючи програмне забезпечення Maxsurf Stability, визначаю плече статичної остійності. За даними креслення загального розташування вимірюю значення аплікати центру парусності та площу парусності. Амплітуда хитавиці знаходиться за нище вказаною формулою.

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

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

X_1 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від відношення ширини до осадки $B/d = 2.9$, приймаємо $X_1 = 0,91$;

X_2 – безрозмірний множник, який визначається в залежності від коефіцієнта загальної повноти $C_b = 0.785$, приймаємо $X_2 = 1$;

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

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Hull	1	9064.000	9064.000			-98.500	0.000	11.150	0.000	User Spe
2	Engine	1	965.000	965.000			-156.710	0.000	9.820	0.000	User Spe
3	Equipment	1	2618.000	2618.000			-122.720	0.000	17.520	0.000	User Spe
4	Margin/Reserve	1	537.000	537.000			-90.250	0.000	9.450	0.000	User Spe
5	Total Lightship			13184.000			-107.234	0.000	12.248	0.000	
6	Tank 1	97.75%	4067.949	3976.421	5534.625	5410.096	-17.620	0.000	10.277	11042.907	IMO A.74
7	Tank 2	98%	5681.414	5567.786	7729.815	7575.218	-34.400	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
8	Tank 3	98%	5773.050	5657.590	7854.490	7697.401	-53.150	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
9	Tank 4	98%	5773.050	5657.590	7854.490	7697.401	-72.050	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
10	Tank 5	98%	5773.048	5657.587	7854.487	7697.398	-90.950	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
11	Tank 6	98%	5773.050	5657.590	7854.490	7697.401	-109.850	0.000	10.278	0.000	IMO A.74
12	Tank 7	98%	5771.480	5656.000	7852.353	7695.306	-128.748	0.000	10.280	0.000	IMO A.74
13	Slop Tank	0%	1636.116	0.000	2226.008	0.000	-140.803	0.000	2.000	0.000	IMO A.74
14	Total Cargo	93.99%	40249.158	37830.612	54760.758	51470.220	-74.917	0.000	10.278	11042.907	
15	DB Tank 1	0%	425.459	0.000	506.498	0.000	-19.049	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
16	DB Tank 2	0%	882.418	0.000	1050.498	0.000	-35.199	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
17	DB Tank 3	0%	999.944	0.000	1190.409	0.000	-53.155	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
18	DB Tank 4	0%	1000.213	0.000	1190.729	0.000	-72.050	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
19	DB Tank 5	38.86%	997.661	387.691	1187.691	461.537	-90.921	0.000	0.408	41505.431	Actual
20	DB Tank 6	98%	894.432	876.544	1064.800	1043.504	-109.471	0.000	1.040	0.000	IMO A.74
21	DB Tank 7	98%	615.518	603.208	732.760	718.104	-127.997	0.000	1.131	0.000	IMO A.74
22	DB Slop Tank	98%	124.470	121.981	148.178	145.215	-140.816	0.000	1.123	0.000	IMO A.74
23	DB Engine Room	98%	327.195	320.651	389.517	381.727	-154.039	0.000	1.096	0.000	IMO A.74
24	Total Fuel	36.86%	6267.308	2310.073	7461.081	2750.087	-119.037	0.000	0.970	41505.431	
25	Forepeak	0%	1965.038	0.000	1917.110	0.000	-7.603	0.000	0.000	0.000	IMO A.74
26	DS Tank 1 Port	0%	690.223	0.000	673.388	0.000	-22.635	-11.997	2.000	0.000	IMO A.74
27	DS Tank 1 Stbd	0%	690.223	0.000	673.388	0.000	-22.635	-11.997	2.000	0.000	IMO A.74
28	DS Tank 2 Port	0%	1198.586	0.000	1169.352	0.000	-36.065	-13.898	2.000	0.000	IMO A.74
29	DS Tank 2 Stbd	0%	1198.586	0.000	1169.352	0.000	-36.065	-13.898	2.000	0.000	IMO A.74
30	DS Tank 3 Port	0%	1307.475	0.000	1275.585	0.000	-53.156	-14.268	2.000	0.000	IMO A.74
31	DS Tank 3 Stbd	0%	1307.475	0.000	1275.585	0.000	-53.156	-14.268	2.000	0.000	IMO A.74
32	DS Tank 4 Port	0%	1307.551	0.000	1275.659	0.000	-72.050	-14.270	2.000	0.000	IMO A.74
33	DS Tank 4 Stbd	0%	1307.551	0.000	1275.659	0.000	-72.050	-14.270	2.000	0.000	IMO A.74
34	DS Tank 5 Port	0%	1307.237	0.000	1275.353	0.000	-90.908	-14.257	2.000	0.000	IMO A.74
35	DS Tank 5 Stbd	0%	1307.237	0.000	1275.353	0.000	-90.908	-14.257	2.000	0.000	IMO A.74
36	DS Tank 6 Port	0%	1297.792	0.000	1266.138	0.000	-109.302	-14.021	2.000	0.000	IMO A.74
37	DS Tank 6 Stbd	0%	1297.792	0.000	1266.138	0.000	-109.302	-14.021	2.000	0.000	IMO A.74
38	DS Tank 7 Port	0%	1209.436	0.000	1179.938	0.000	-124.129	-13.220	2.000	0.000	IMO A.74
39	DS Tank 7 Stbd	0%	1209.436	0.000	1179.938	0.000	-124.129	-13.220	2.000	0.000	IMO A.74
40	DS Slop Tank Port	0%	303.860	0.000	296.449	0.000	-138.231	-12.300	2.757	0.000	IMO A.74
41	DS Slop Tank Stbd	0%	303.860	0.000	296.449	0.000	-138.231	12.300	2.757	0.000	IMO A.749(18)
42	Aftpeak	0%	4057.947	0.000	3958.973	0.000	-170.493	0.000	0.000	0.000	IMO A.749(18)
43	Total Ballast	0%	23267.303	0.000	22699.808	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
44	Supply	1	328.000	328.000			-165.580	0.000	17.400	0.000	User Specified
45	Total Supply			328.000			-165.580	0.000	17.400	0.000	
46	Total Loadcase			53652.685	84921.647	54220.307	-85.313	0.000	10.405	52548.454	
47	FS correction								0.979		
48	VCG fluid								11.384		

$z_g(VCG) = 11.384$ м - апліката центру тяжіння.

S – безрозмірний множник, який залежить від району плавання судна і періоду хитавиці, який розраховується за формулою

$$T = 2cB/\sqrt{h},$$

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

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
6		first downflooding angle	n/a	deg			
7		angle of vanishing stability	75.5	deg			
8		shall not be less than ($\geq$)	0.0900	m.rad	0.8434	Pass	+837.14
9							
10	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
11		from the greater of					
12		spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
13		to the lesser of					
14		spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
15		first downflooding angle	n/a	deg			
16		angle of vanishing stability	75.5	deg			
17		shall not be less than ($\geq$)	0.0300	m.rad	0.3714	Pass	+1137.93
18							
19	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
20		in the range from the greater of					
21		spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
22		to the lesser of					
23		spec. heel angle	90.0	deg			
24		angle of max. GZ	38.2	deg	38.2		
25		shall not be less than ($\geq$)	0.200	m	2.196	Pass	+998.00
26		Intermediate values					
27		angle at which this GZ occurs		deg	38.2		
28							
29	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
30		shall not be less than ($\geq$)	25.0	deg	38.2	Pass	+52.73
31							
32	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
33		spec. heel angle	0.0	deg			
34		shall not be less than ($\geq$)	0.150	m	3.030	Pass	+1920.00
35							
36	A.749(18) C	3.1.2.5: Passenger crowding: angle of equilibrium				Pass	
37		Pass. crowding arm = $nPass \cdot M / disp. D \cos^n(\phi)$					
38		number of passengers: $nPass =$	0				
39		passenger mass: $M =$	0.075	tonne			
40		distance from centre line: $D =$	0.000	m			
41		cosine power: $n =$	0				
42		shall not be greater than ($\leq$)	10.0	deg	0.0	Pass	+100.00

$h = 3.03$ м – виправлена метацентрична висота;

L_{wl} – довжина судна по ватерлінії.

$$K = 1 \quad X_1 = 0.918 \left(\text{т.к. } \frac{B}{T} = \frac{32.6}{11.2} = 2.91 \right) \quad X_2 = 1 \left(\text{т.к. } C_b = 0.785 \right)$$

$$r = 0.73 + 0.6(z_g - d)/d = 0.73 + 0.6(11.384 - 11.2)/11.2 = 0.74$$

$$C = 0.373 + 0.023 \frac{B}{d} - 0.043 \frac{L}{100} = 0.373 + 0.023 \frac{32.6}{11.2} - 0.043 \frac{180.5}{100} = 0.362$$

$$T = 2 \cdot \frac{C \cdot B}{\sqrt{h}} = 2 \cdot \frac{0.362 \cdot 32.6}{\sqrt{3.03}} = 13.6 \text{ с.}$$

Таблиця 2.1.5.1-3 Множник S

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

Було використано метод інтерполяція, т.к. точка x_N лежить в інтервалі між x_1 та x_2 :

x_1	12	$f(x_1)$	0.065
x_N	13.6	$f(x_N)$	0.055400000000000005
x_2	14	$f(x_2)$	0.053

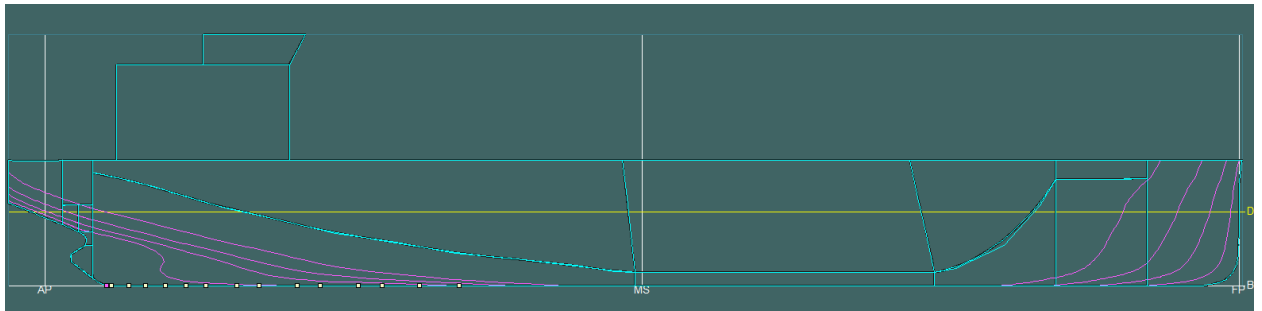
$$S = 0.055$$

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

$$\theta_1 = 109 \cdot 1 \cdot 0.918 \cdot 1 \cdot \sqrt{0.74 \cdot 0.055} = 20.0^\circ$$

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





Area

	Surface	Above DWL 2D lateral proj. area m^2	LC area m	TC area m	VC area m	I - roll m^4	I - pitch m^4	I - yaw m^4	Length
1	Surface 1	0.000	-5.820	0.000	-0.362	--	--	--	165
2	Surface 2	155.089	-38.825	0.000	15.220	--	--	--	22
3	Surface 3	551.336	-128.965	0.000	15.264	--	--	--	82
4	Surface 4	337.181	-70.841	0.000	15.034	--	--	--	47
5	Surface 5	0.000	-5.820	0.000	-0.362	--	--	--	45
6	Surface 6	8.037	-28.865	0.000	12.771	--	--	--	18
7	Surface 7	38.649	-20.873	0.000	17.493	--	--	--	13
8	Surface 8	67.526	-20.801	0.000	13.647	--	--	--	13
9	Surface 9	108.033	-6.907	0.000	15.068	--	--	--	14
10	Surface 10	60.119	-181.858	0.000	15.151	--	--	--	8
11	Surface 11	68.087	-165.776	0.000	13.220	--	--	--	82
12	Surface 12	0.000	-5.820	0.000	-0.362	--	--	--	3
13	Surface 13	0.000	-5.820	0.000	-0.362	--	--	--	5
14	Surface 14	2.165	-174.373	0.000	11.691	--	--	--	2
15	Surface 15	2.376	-176.685	0.000	11.688	--	--	--	2
16	Surface 16	31.178	-175.587	0.000	15.534	--	--	--	4
17	Superstructure	378.450	-156.650	0.000	26.150	--	--	--	26
18	Bridge	64.017	-149.481	0.000	35.714	--	--	--	15
19	Total Above DWL 2D lat	1872.243	-107.649	0.000	18.002	--	--	--	186

Area:

Projection: ☒ 3D true surface area ☐ 2D Lateral plane projected area ☐ 2D Frontal plane projected area ☐ 2D Horizontal plane projected area

Please refer to the manual for important information on how the projected areas are calculated.

$A_v = \sum S_i = 1872.243 \text{ м}^2$ площа парусності.

$Z_B = 18.002 \text{ м}.$

$Z_v = Z_B - \frac{d}{2} = 18.002 - \frac{11.2}{2} = 12.402 \text{ м}$ - плече парусності, яке приймається рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності A_v , до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП.

Criteria
Criteria List
Criteria
Parent calculations
Parent heeling arms
Parent criteria
Australian NSCV - Part C, Section 6 - Stab
BS 6349-6:1989
Canadian Coast Guard - Transport Cana
DNV Rules for High Speed, Light Craft an
EU-Classification of Inland Waterway Ship
Floodable Length
HSC Code 2000 - MSC 97(73)
IMO
A.749(18) Code on Intact Stability
A.749(18) Ch3 - Design criteria app
3.1.2.1: Area 0 to 40
3.1.2.1: Area 30 to 40
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater
3.1.2.3: Angle of maximum GZ
3.1.2.4: Initial GMt
3.1.2.5: Passenger crowding: an
3.1.2.6: Turn: angle of equilibriur
3.2.2: Severe wind and rolling
A.749(18) Ch 4 - Special criteria for
SOLAS, II-1/8
MSC.36(63) HSC Code
MSC.267(85) Code on Intact Stability
MSC.23(59) Adoption of the Internation
A.534(13) Special Purpose Ships
MSC.216(82)
MSC.19(58)
MSC.100(70)

Criterion Details
A.749(18) Ch3 - Design criteria applicable to all ships
3.2.2: Severe wind and rolling

		Value	Units
1	☐ Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$		
2	☐ constant: $a =$	0.99966	
3	☐ wind model	Pressure	
4	☐ wind pressure: $P =$	504.0	Pa
5	☒ area centroid height (from zero point): $h =$	12.402	m
6	☒ total area: $A =$	1872.243	m ²
7	☐ additional area: $A =$	50.000	m ²
8	☐ height of lateral resistance: $H =$	0.000	m
9	☐ $H = \text{mean draft} / 2$		m
10	☒ $H = \text{vert. centre of projected lat. u/water are}$		m
11	☐ $H = \text{waterline}$		m
12	☐ cosine power: $n =$	0	
13	☐ gust ratio	1.5	
14	☐ Area2 integrated to the lesser of		
15	☒ roll back angle from equilibrium (with steady	25.0	deg
16	☐ Select calculation from list		
17	☐ roll back to equilibrium (ignoring heel arm)		deg

Criterion Help
Combined criteria (ratio of areas type 2) - wind heeling ar
Test criterion for following cases
☒ Intact ☐ Damage ☐ WoD
Recalculate and close
Close without recalculating

Тому тиск вітру $P_v = 504$ Па,

$D = 53652$ т – водотоннажність,

$g = 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ – прискорення вільного падіння.

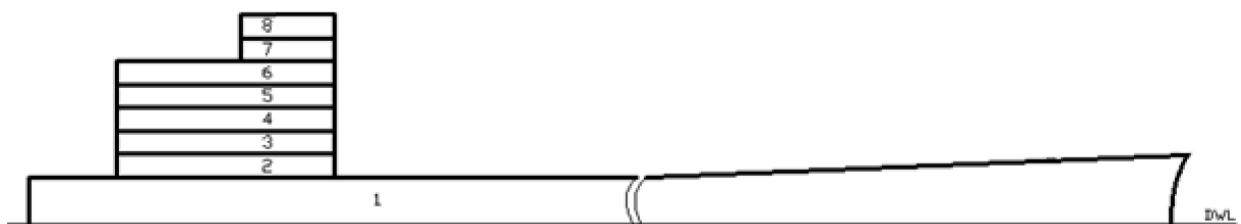


Рисунок 2.3.2. – Схема визначення площі парусності

Таблица 2.3.3.

№ елементів	1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
Площа S_i , м ²	1429,9	85.45	80,40	70,83	70,83	70,83	32,00	32,00	1872.24
Z_i	15,12	20,40	23,40	26,30	29,10	31,90	34,25	36,75	
Момент $S_i * Z_i$, м ³	21624.4	1743.2	1881.4	1862.8	2061.2	2259.5	1096	1176	33704,4

$$l_{w2} = 1.5 \cdot l_{w1} = 1.5 \cdot 0.0222 = 0.033 \text{ м.}$$

2.3.5. Розрахунок критерія погоди.

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

Критерій погоди

$$K = \frac{b}{a} = \frac{1.1748}{0.3188} = 3.685 \geq 1$$

Відповідність вимогам Правил Регістру до остійності перевіряється у Maxsurf Stability у вкладці Criteria:

Таблиця 4.5 – Порівняння критеріїв

Критерій	Дійсне значення	Вимога Регістру
K	3.685	$K \geq 1$
l_{max} , м	2.196	$l_{max} \geq 0.2$
θ_{max} , град	38.2	$\theta_{max} \geq 30$
θ_{zak} , град	75.1	$\theta_{zak} \geq 60$
h , м	3.03	$h \geq 0.15$
S_{30} , м · рад	0.472	$S_{30} \geq 0.055$
S_{40} , м · рад	0.8434	$S_{40} \geq 0.09$
S_{30-40} , м · рад	0.3714	$S_{30-40} \geq 0.03$

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 0 to 40				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
6		first downflooding angle	n/a	deg			
7		angle of vanishing stability	75.5	deg			
8		shall not be less than ($\geq$)	0.0900	m.rad	0.8434	Pass	+837.14
9							
10	A.749(18) C	3.1.2.1: Area 30 to 40				Pass	
11		from the greater of					
12		spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
13		to the lesser of					
14		spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
15		first downflooding angle	n/a	deg			
16		angle of vanishing stability	75.5	deg			
17		shall not be less than ($\geq$)	0.0300	m.rad	0.3714	Pass	+1137.93
18							
19	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
20		in the range from the greater of					
21		spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
22		to the lesser of					
23		spec. heel angle	90.0	deg			
24		angle of max. GZ	38.2	deg	38.2		
25		shall not be less than ($\geq$)	0.200	m	2.196	Pass	+998.00
26		Intermediate values					
27		angle at which this GZ occurs		deg	38.2		
28							
29	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
30		shall not be less than ($\geq$)	25.0	deg	38.2	Pass	+52.73
31							
32	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMt				Pass	
33		spec. heel angle	0.0	deg			
34		shall not be less than ($\geq$)	0.150	m	3.030	Pass	+1920.00
35							
36	A.749(18) C	3.2.2: Severe wind and rolling				Pass	
37		Wind arm: $a P A (h - H) / (g \text{ disp.}) \cos^n(\phi)$					
38		constant: a =	0.99966				
39		wind pressure: P =	504.0	Pa			
40		area centroid height (from zero point): h =	12.402	m			
41		total area: A =	1872.243	m ²			
42		H = vert. centre of projected lat. u/water area	0.000	m			
43		cosine power: n =	0				
44		gust ratio	1.5				
45		Area2 integrated to the lesser of					
46		roll back angle from equilibrium (with steady heel arm)	25.0 (-24.6)	deg	-24.6		
47		Area 1 upper integration range, to the lesser of:					
48		spec. heel angle	50.0	deg	50.0		
49		first downflooding angle	n/a	deg			
50		angle of vanishing stability (with gust heel arm)	75.1	deg			
51		Angle for GZ(max) in GZ ratio, the lesser of:					
52		angle of max. GZ	38.2	deg	38.2		
53		Select required angle for angle of steady heel ratio:	DeckEdge1				
54		Criteria:				Pass	
55		Angle of steady heel shall not be greater than ($\leq$)	16.0	deg	0.4	Pass	+97.38
56		Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be	80.00	%	1.69	Pass	+97.89
57		Area1 / Area2 shall not be less than ($\geq$)	100.00	%	368.56	Pass	+268.56
58		Intermediate values					
59		Heel arm amplitude		m	0.022		
60		Equilibrium angle with steady heel arm		deg	0.4		
61		Equilibrium angle with gust heel arm		deg	0.6		
62		Deck edge immersion angle		deg	24.8		
63		Area1 (under GZ), from 0.6 to 50.0 deg.		m.rad	1.2035		
64		Area1 (under HA), from 0.6 to 50.0 deg.		m.rad	0.0287		
65		Area1, from 0.6 to 50.0 deg.		m.rad	1.1748		
66		Area2 (under GZ), from -24.6 to 0.6 deg.		m.rad	-0.3041		
67		Area2 (under HA), from -24.6 to 0.6 deg.		m.rad	0.0147		
68		Area2, from -24.6 to 0.6 deg.		m.rad	0.3188		
69							

Спроектоване судно відповідає всім вимогам Регістру судноплавства України.

24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.02

Судно має наступні характеристики:

довжина між перпендикулярами $L = 180.5$ м

ширина $B = 32.6$ м

осадка по КВЛ $T = 11.2$ м

висота борту $H = 18.9$ м

коефіцієнт загальної повноти $\delta = 0.785$

коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту $\beta = 0.990$

коефіцієнт повноти площі ватерлінії $\alpha = 0.905$

корисна вантажопідйомність $P_b = 37830$ т

водотоннажність об'ємна $V = 53652$ м³

швидкість експлуатаційна $v = 15.5$ вузл

потужність головного двигуна 10945 кВт.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.02	

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
					Набір корпусу судна за Правилами Регістру	Літ	Аркуш	Аркушів
Студент	Ратуш А.Ю.							
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК		
Керівник	Астахова А.О.							
Зав.кафедр	Некрасов В.О.							

3. Набір корпусу судна за Правилами Регістру

У даному розділі визначені розміри в'язей корпусу нафтоналивного судна в узгодженні з «Правилами класифікації та побудови морських суден» Регістру на клас КМ+Л42 А1, нафтоналивне судно.

3.1. Головні розміри судна

№	Назва величини	Позначення величини	Розмірність	Дані
1	Довжина між перпендикулярами	L	м	180.5
2	Ширина судна на міделі	B	м	32.6
3	Висота борту	D	м	18.9
4	Осадка судна по літню ГВЛ	d	м	11.2
5	Коефіцієнт загальної повноти	C_{ϵ}	-	0.78
6	Швидкість судна	V_C	вузл.	15.5

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

- відношення довжини судна до висоти борту: $\frac{L}{D} \leq 18, \frac{180.5}{18.9} = 9.55 \leq 18$;
- відношення ширини судна до висоти борту: $\frac{B}{D} \leq 2.5, \frac{32.6}{18.9} = 1.725 \leq 2.5$;
- відношення осадки судна до висоти борту: $0.55 \leq \frac{d}{D} \leq 0.8$,

$$0.55 \leq \frac{11.2}{18.9} = 0.59 \leq 0.8;$$

- коефіцієнт загальної повноти $C_{\epsilon} \geq 0.6$; $0.79 > 0.6$.

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

3.2. Архітектурно-конструктивний тип судна

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

3.3. Вибір системи набору перекриття 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.

3.4. 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 і сталі підвищеної міцності з межею плинності $R_{EH}\geq 315$ МПа.

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

Характеристика обраної сталі наведена в табл. 3.1.

Таблиця № 3.1. - 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:

$$\sigma_n = \frac{315}{\eta} = 301.3 \text{ МПа}, \tau_n = 0.57 \cdot \sigma_n = 171.7, \text{ МПа.}$$

3.5. Вибір шпациї

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

$$a_0 = 0.002 \cdot L + 0.48, \text{ м.}$$

де $L=180.5$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

Маємо:

$$a_0 = 0.002 \cdot L + 0.48 = 0.002 \cdot 180.5 + 0.48 = 0.84, \text{ м.}$$

Прийmemo:

$a_0 = 900$ мм – повздовжня шпація;

$a_0 = 900$ мм – поперечна шпація.

3.6. Викреслення 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; $B = 32.6$ – ширина судна, м; $C_m = 0.989$ – коефіцієнт повноти мідель-шпангоута.

Маємо:

$$t = d \cdot (1 - C_m) = 11.2 \cdot (1 - 0.989) = 0.123 \text{ м.}$$

$$R = \sqrt{\frac{B \cdot t}{0.86}} = \sqrt{\frac{32.6 \cdot 0.123}{0.86}} = 2.16 \text{ м.}$$

Приймаємо підйом t лінії днища і радіус округлення скули згідно теоретичному кресленню.

Висота подвійного дна розраховується за формулою:

$$h_{II} = \frac{L-40}{570} + 0.04 \cdot B + 3.5 \cdot \frac{d}{L} = \frac{180.5-40}{570} + 0.04 \cdot 32.6 + 3.5 \cdot \frac{11.2}{180.5} = 1.77, \text{ м.}$$

Висоту подвійного дна прийmemo $h_{II}=2.00$ м.

Відстань між подвійними бортами приймаю рівною 4.0 м.

Ширина горизонтального кіля визначається за формулою:

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

Маємо:

$$b_k = 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 180.5 = 1702.5 \text{ мм.}$$

Ширину горизонтального кіля прийmemo: $b_k = 2.00$ м.

3.7. 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:

$$S_{min} = (5.5 + 0.04 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5.5 + 0.04 \cdot 180.5) \sqrt{0.78} = 11.23 \text{ мм}$$

- для настилу верхньої палуби судна:

$$S_{min} = (7 + 0.02 \cdot L) \sqrt{\eta} = (7 + 0.02 \cdot 180.5) \sqrt{0.78} = 9.37 \text{ мм}$$

- для настилу другого дна:

$$S_{min} = (5 + 0.035 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5 + 0.035 \cdot 180.5) \sqrt{0.78} = 9.995 \text{ мм.}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

- для стінки вертикального кіля та днищевих стрингерів:

$$S_{min} = 0.025 * L + 7 = 0.025 * 180.5 + 7 = 11.51 \text{ мм}$$

- для стінки суцільного флору:

$$S_{min} = 0.035 * L + 5 = 0.035 * 180.5 + 5 = 11.32 \text{ мм}$$

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

$$S_{min} = 0.025 * L + 5.5 = 0.025 * 180.5 + 5.5 = 10.01 \text{ мм}$$

- для діафрагм і платформ подвійного борта наливного судна:

$$S_{min} = 0.018 * L + 6.2 = 0.018 * 180.5 + 6.2 = 9.45 \text{ мм}$$

- для обшивки водонепроникних перегородок:

$$S_{min} = 0.02 * L + 4 = 0.02 * 180.5 + 4 = 7.61 \text{ мм}$$

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

$$S_{min} = 0.02 * L + 6.7 = 0.02 * 180.5 + 6.7 = 10.31 \text{ мм}$$

3.8. 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;
 ΔS – запас на знос та корозію, мм;

u – середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, внаслідок зносу та корозії (табл. № 3.2.);

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

Таблиця № 3.2. «Розрахунок запасу на знос та корозію для групи 2 - наливні судна»

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік	ΔS , мм
1.1	Настил верхньої палуби	0.20	2.40
2.1.2	Зовнішня обшивка борту	0.19	2.28
2.3.1	Зовнішня обшивка подвійного борту	0.21	2.52
3.2.3	Зовнішня обшивка днища з подвійним дном	0.20	2.40
4.1.2	Настил другого дна в районі баластних відсіків	0.20	2.40
4.2.2	Міждонний лист	0.22	2.64
5.5.2	Обшивка внутрішнього борту (між вантажними і баластними відсіками)	0.25	3.00
6.1.4	Поздовжні підпалубні балки	0.25	3.00
6.2.4	Карлінгси, рамні бімси	0.20	2.40
7.1.4	Повздовжні балки, основні і рамні шпангоути, вертикальні стояки і горизонтальні рами бортів і перегородок	0.20	2.40
8.2.3	Вертикальний кіль, днищеві стрингери, флори, поздовжні балки днища і другого дна у відсіках подвійного дна	0.20	2.40
9.1	Обшивка і набір надбудов, рубок і фальшборту	0.10	1.20

3.9. Визначення згинальних моментів

Розрахункова висота хвилі визначається за формулою:

$$C_W = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{3/2}, \text{ м},$$

де $L=180.5$ – довжина судна між перпендикулярами, м.

Маємо:

$$C_W = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{3/2} = 10.75 - \left(\frac{300-180.5}{100} \right)^{3/2} = 9.44, \text{ м},$$

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; $B=32.6$ – ширина судна, м; $L=180.5$ – довжина судна між перпендикулярами, м; $C_b=0.785$ – коефіцієнт загальної повноти судна.

Маємо:

$$\begin{aligned} M_{SW} &= \pm 76 C_W B L^2 (C_b + 0.7) 10^{-3} = \\ &= 76 \cdot 9.44 \cdot 32.6 \cdot 180.5^2 \cdot (0.785 + 0.7) 10^{-3} = 1.131 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_W &= 190 C_W B L^2 C_b \cdot 10^{-3} = 190 \cdot 9.44 \cdot 32.6 \cdot 180.5^2 \cdot 0.785 \cdot 10^{-3} = 1.494 \cdot \\ &10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

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

$$M_W = -110C_WBL^2(C_b + 0.7)10^{-3} = -110 \cdot 9.44 \cdot 32.6 \cdot 180.5^2 \cdot (0.785 + 0.7)10^{-3} = -1.637 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Сумарний згинальний момент:

- при прогині

$$M_{\Sigma 1} = |M_W - M_{SW}| = |-1.637 - 1.131| = -2.768 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

- при перегині

$$M_{\Sigma 2} = |M_W + M_{SW}| = |1.494 + 1.131| = 2.625 \cdot 10^6 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

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

$$W_d = W_b = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma} \cdot 10^3, \text{ м}^3,$$

де $\sigma=175/\eta$ – допустимі напруження, МПа; η – коефіцієнт використання механічних властивостей.

Визначимо допустимі напруження:

$$\sigma_d = \frac{175}{0.78} = 224.4 \text{ МПа},$$

Маємо:

$$W_d = W_b = \frac{M_{\Sigma 1}}{\sigma_d} \cdot 10^3 = \frac{2.768 \cdot 10^6}{224.4} \cdot 10^3 = 12.33, \text{ м}^3,$$

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

$$W_{min} = C_w \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0.7) \cdot \eta \cdot 10^{-6} = 9.44 \cdot 32.6 \cdot 180.5^2 \cdot (0.785 + 0.7) \cdot 0.78 \cdot 10^{-6} = 11.61 \text{ м}^3$$

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

$$I_{потр} = 3 \cdot C_W \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0.7) \cdot 10^{-8} = 3 \cdot 9.44 \cdot 32.6 \cdot 180.5^3 \cdot (0.785 + 0.7) \cdot 10^{-8} = 80.60 \text{ м}^4$$

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

$$e = (0.34 + 0.06 \cdot L \cdot 10^{-2}) \cdot D, \text{ м},$$

де $D=18.9$ – висота борту судна-проекту, м.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$L=180.5$ – довжина судна-проекту, м.

Маємо:

$$e = (0.34 + 0.06 \cdot L \cdot 10^{-2}) \cdot D = (0.34 + 0.06 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}) \cdot 18.9 = 8.47 \text{ м},$$

Максимальні діючі напруження у днищі і у палубі визначаються за формулами:

$$I_0 = W_d \cdot (D - e) = 12.33 \cdot (18.9 - 8.47) = 128.64 \text{ м}^4,$$

– для днища:

$$\text{прогин } \sigma_{\text{роз}} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot e}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2.768 \cdot 10^6 \cdot 8.47}{128.64} \cdot 10^{-3} = 182.25 \text{ МПа},$$

$$\text{перегин } \sigma_{\text{ст}} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot e}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2.625 \cdot 10^6 \cdot 8.47}{128.64} \cdot 10^{-3} = 172.8 \text{ МПа},$$

– для верхньої палуби:

$$\text{перегин } \sigma_{\text{роз}} = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot (D - e)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2.625 \cdot 10^6 \cdot (18.9 - 8.47)}{128.64} \cdot 10^{-3} = 212.7 \text{ МПа},$$

$$\text{прогин } \sigma_{\text{ст}} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - e)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2.768 \cdot 10^6 \cdot (18.9 - 8.47)}{128.64} \cdot 10^{-3} = 224.4 \text{ МПа},$$

3.10. Визначення розрахункових навантажень

3.10.1. Зовнішні навантаження на корпус судна

Зовнішні навантаження, з боку моря на корпус судна, визначаються величиною статичного тиску P_{st} , кПа, та величиною тиску, який сприяє корпусу судна переміщенням відносно профілю хвилі P_w , кПа.

Розрахунковий статичний тиск визначається за формулою:

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

де $\rho=1.025$ т/м³ – щільність морської води;

$g=9.81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

Z_i – відстань точки прикладання навантаження від літньої ватерлінії, м.

при $Z_i=d=11.2$ м.

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 11.2 = 112.62 \text{ кПа}.$$

Хвильовий тиск

– для точок прикладання навантаження на рівні ГВЛ

$$P_{W0} = 5 \cdot C_W \cdot a_v \cdot a_x, \text{ кПа}.$$

$$\text{де } a_v = \frac{0.8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0.4 \right)}{\sqrt{L}} + 1.5,$$

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L} \right) \geq 0.267,$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

де $V_0=15.5$ – специфікаційна швидкість судна, вузли;

$k_x=0.75$ – для поперечних перерізів у ніс від міделя;

$x_1=L/2-0.1\cdot L=72.2$ м – відстань розглядуваного поперечного перерізу, який розташований на відстані $0.4 L$ від ближнього (носового або кормового) перпендикуляра.

Маємо:

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L}\right) = 0.75 \left(1 - 2 \frac{72.2}{180.5}\right) = 0.15, \text{ Приймаю } a_x=0.267.$$

$$a_v = \frac{0.8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0.4\right)}{\sqrt{L}} + 1.5 = \frac{0.8 \cdot 15.5 \cdot \left(\frac{180.5}{10^3} + 0.4\right)}{\sqrt{180.5}} + 1.5 = 2.035$$

Маємо: $a_v \cdot a_x = 2.035 \cdot 0.267 = 0.543$. Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0.6, тому приймаємо $a_v \cdot a_x = 0.6$.

Отримаємо:

$$P_{W0} = 5 \cdot C_W \cdot a_v \cdot a_x = 5 \cdot 9.44 \cdot 0.6 = 28.33, \text{ кПа.}$$

– Для точок прикладання навантаження нижче ватерлінії

$$P_W = P_{W0} - 1.5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d}, \text{ кПа.}$$

При $Z_i=0$: $P_W = P_{W0} = 28.33$ кПа.

При $Z_i=d=11.2$ м: $P_W = P_{W0} - 1.5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d} = 28.33 - 1.5 \cdot 9.44 \cdot \frac{11.2}{11.2} = 14.16$ кПа.

– Для точок прикладання навантаження вище ватерлінії

$$P_W = P_{W0} - 7.5 \cdot a_x \cdot Z_i, \text{ кПа}$$

При $Z_i=0$: $P_W = P_{W0} = 28.33$ кПа.

При $Z_i = D - d = 18.9 - 11.2 = 7.7$ м:

$$P_W = P_{W0} - 7.5 \cdot a_x \cdot Z_i = 28.33 - 7.5 \cdot 0.267 \cdot 7.7 = 12.9 \text{ кПа.}$$

$$P_{min} = 0.03 \cdot L + 5 = 0.03 \cdot 180.5 + 5 = 10.42 \text{ кПа.}$$

$$P_W \geq P_{min}$$

Тиск на днищову обшивку судна визначимо за формулою:

$$P = P_{st} + P_W = 112.62 + 14.16 = 126.78 \text{ кПа.}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

3.10.2. Розрахунковий тиск на настил другого дна від вантажу

Розрахункове прискорення у вертикальному напрямі визначимо за формулою:

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

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

Проекції прискорень визначаються за формулами:

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

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

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

$$\text{де } T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1+0,4\frac{V_0}{L}\left(\frac{L}{10^3}+0,4\right)}; \quad T_\theta = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}}, \text{ с};$$

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

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

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

$x_0 = 0,1 \cdot L = 0,1 \cdot 180,5 = 18,05$ м – відстань розглядуваної точки від поперечної площини, що проходить через центр ваги судна, м;

$y_0 = B/2 = 32,6/2 = 16,3$ м – відстань розглядуваної точки від діаметральної площини;

$V_0 = 15,5$ вуз. – специфікаційна швидкість судна, вузли;

$c = 0,8$ – числовий коефіцієнт;

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

Отримаємо:

$$a_{cz} = 0,2 \left(\frac{100}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot g = 0,2 \left(\frac{100}{180,5} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 9,81 = 1,611 \text{ м/с}^2,$$

$$T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1+0,4\frac{V_0}{L}\left(\frac{L}{10^3}+0,4\right)} = \frac{0,8\sqrt{180,5}}{1+0,4\frac{15,5}{180,5}\left(\frac{180,5}{10^3}+0,4\right)} = 10,54 \text{ с.}$$

$$\psi = \frac{0,23}{1+L \cdot 10^{-2}} = \frac{0,23}{1+180,5 \cdot 10^{-2}} = 0,082 \text{ рад.}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$$a_{kz} = \left(\frac{2\pi}{T_k}\right)^2 \cdot \psi \cdot x_0 = \left(\frac{2 \cdot 3.14}{10.54}\right)^2 \cdot 0.082 \cdot 18.05 = 0.53 \text{ м/с}^2,$$

$$h = 0.07 \cdot B = 0.07 \cdot 32.6 = 2.282 \text{ м.}$$

$$T_6 = \frac{c \cdot B}{\sqrt{h}} = \frac{0.8 \cdot 32.6}{\sqrt{2.282}} = 17.26 \text{ с;}$$

$$\theta = \frac{0.6}{1+0.5L \cdot 10^{-2}} = \frac{0.6}{1+0.5 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}} = 0.315 \text{ рад.}$$

$$a_{6z} = \left(\frac{2\pi}{T_6}\right)^2 \cdot \theta \cdot y_0 = \left(\frac{2 \cdot 3.14}{17.26}\right)^2 \cdot 0.315 \cdot 16.3 = 0.681 \text{ м/с}^2.$$

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0.4 \cdot a_{6z}^2} = \sqrt{1.611^2 + 0.53^2 + 0.4 \cdot 0.681^2} = 1.827 \text{ м/с}^2,$$

Випробувальний напір на друге дно визначимо за формулою:

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

де $Z_i = D - h_k = 18.9 - 2 = 16.9 \text{ м.}$

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

$\rho = 1.025$ – густина рідкого вантажу (балласту).

$\rho_v = 0.735$ - густина рідкого вантажу (нафта).

Маємо: $P_{\text{вип}} = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 16.9 + 25 = 194.93 \text{ кПа.}$

Розрахунковий тиск на конструкції повністю заповнених танків визначається за формулами:

$$P_v = \rho_v \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) Z_i = 0.735 \cdot 9.81 \cdot \left(1 + \frac{1.827}{9.81}\right) \cdot 16.9 = 144.55 \text{ кПа}$$

$$P_v = \rho_v \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0.735 \cdot 9.81 \cdot (16.9 + 24.6 \cdot 0.315) = 177.7 \text{ кПа}$$

$$P_v = \rho_v \cdot g \cdot (Z_i + l \cdot \psi) = 0.735 \cdot 9.81 \cdot (16.9 + 18.9 \cdot 0.082) = 133.03 \text{ кПа}$$

$$P_v = 0.75 \cdot \rho_v \cdot g \cdot (Z_i + \Delta z) = 0.75 \cdot 0.735 \cdot 9.81 \cdot (16.9 + 2.5) = 104.91 \text{ кПа}$$

в залежності від того, що більше,

де $\Delta z = 2.5 \text{ м}$ – висота повітряної труби над палубою;

$l = 18.9$ та $b = 24.6$ – довжина та ширина танку, м.

3.11. Визначення товщин листових конструкцій

3.11.1. Зовнішня обшивка днища

Ширина горизонтального кіля не більше 2000 мм. Товщина його повинна бути на 2 мм більшою від товщини зовнішньої обшивки дна. Ширина скулового пояса визначається положенням верхньої і нижньої кромки. Нижня кромка відповідає точці

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

поєднання плоскої частини обшивки дна з криволінійною. Верхню кромку в розрахунках беремо вище внутрішнього дна на 200 мм. Товщину скулового пояса беремо рівною товщині обшивки дна або товщині надскулового пояса, в залежності від того, що більше.

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

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

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;

$a = 0.9$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м;

P – розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа; $k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} \leq 1.0$;

$a=0.9$, $b=3 \cdot a=2.7$ – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

$\Delta S = 2.4$ – запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} = 1.2 - 0.5 \frac{0.9}{2.7} = 1.033, \text{ Приймаємо } k = 1.0.$$

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0.78} = 301.3 \text{ МПа}.$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{126.78}{0.6 \cdot 301.3}} + 2.4 = 14.3 \text{ мм}.$$

Товщина листів зовнішньої обшивки днища за умовою міцності $S = 15$ мм.

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{1.131 \cdot 10^6 + 1.494 \cdot 10^6}{128.56} 8.47 \cdot 10^5 = 172.8 \text{ МПа},$$

де $I = W_d(D - e) \cdot 10^2 = 12.33 \cdot (18.9 - 8.47) \cdot 10^2 = 128.56 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м⁴;

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

z_i - відстань розрахункової точки від нейтральної вісі, м;

W_d - момент опору палуби в середній частині судна, см³;

D - висота борту, м;

e - відстань нейтральної вісі від основної площини, м.

$$e = (0.34 + 0.06L \cdot 10^{-2})D = (0.34 + 0.06 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}) \cdot 18.9 = 8.47 \text{ м}$$

За розрахунковий згинальний момент для зовнішньої обшивки дна і надскулового пояса беруть момент, що викликає перегин корпусу, а для ширстрека і підширстрекового пояса – момент, що викликає прогин корпусу.

Критичні напруження $\sigma_{cr} = k\sigma_c$ визначаються за умови стійкості пластин зовнішньої обшивки, при цьому $k = 1.0$ - коефіцієнт запасу стійкості для пластин.

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

$$R_{eH} = 315 \text{ МПа.}$$

$$\delta_{кр}/R_{eH} = 172.8/315 = 0.55 > 0.5$$

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

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{eH} > 0.5 \quad \sigma_e = 0.25R_{eH}^2/(R_{eH} - \sigma_{cr}) = 0.25 \cdot 315^2/(315 - 172.8) = 174.45 \text{ МПа}$$

Товщина пластини зовнішньої обшивки, яка відповідає умовам стійкості, знаходиться за формулою:

$$S = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854n}} + \Delta S = 0.9 \sqrt{\frac{174.45}{0.1854 \cdot 4}} + 2.4 = 16.2 \text{ мм,}$$

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

n - коефіцієнт, що враховує співвідношення боків пластини і розподіл нормальних стискальних напружень уздовж кромки пластини; ΔS - додаток товщини на знос і корозію, мм.

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від

$$S_{min} = (5.5 + 0.04 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5.5 + 0.04 \cdot 180.5) \cdot \sqrt{0.78} = 11.23 \text{ мм.}$$

Приймаю товщину днищової пластини: $S_{дн}=17$ мм.

Товщина горизонтального кіля повинна бути на 2 мм більше товщини зовнішньої обшивки днища: $S_{2к}=19$ мм.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

3.11.2. Надскуловий пояс обшивки борту

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

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

де $m=15.8$, $k_{\sigma}=0.6$ — коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

$a=0.9$ — відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м;

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

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} \leq 1.0;$$

$a=0.9$, $b=2.7$ — менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м;

σ_n — нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

$\Delta S = 2.28$ — запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} = 1.2 - 0.5 \frac{0.9}{2.7} = 1.033, \text{ Приймаємо } k = 1.0.$$

$$\sigma_{\Pi} = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0.78} = 301.3 \text{ МПа}.$$

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1.025 \cdot 9.81 \cdot (11.2 - 2) = 92.5 \text{ кПа}$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_{\Pi}}} + \Delta S = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{92.5}{0.6 \cdot 301.3}} + 2.28 = 12.45 \text{ мм}.$$

Товщина листів надскулового поясу обшивки борту за умовою міцності $S=13$ мм.

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{1.131 \cdot 10^6 + 1.494 \cdot 10^6}{128.56} 6.47 \cdot 10^5 = 132.12 \text{ МПа},$$

де $I = W_d(D - e) \cdot 10^2 = 12.33 \cdot (18.9 - 8.47) \cdot 10^2 = 128.56 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м⁴;

z_i - відстань розрахункової точки від нейтральної вісі, м;

W_d - момент опору палуби в середній частині судна, см³;

D - висота борту, м;

e - відстань нейтральної вісі від основної площини, м.

$$e = (0.34 + 0.06L \cdot 10^{-2})D = (0.34 + 0.06 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}) \cdot 18.9 = 8.47 \text{ м}.$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

За розрахунковий згинальний момент для зовнішньої обшивки дна і надскулового пояса беруть момент, що викликає перегин корпусу, а для ширстрека і підширстрекового пояса – момент, що викликає прогин корпусу.

Критичні напруження $\sigma_{cr} = k\sigma_c$ визначаються за умови стійкості пластин зовнішньої обшивки, при цьому $k = 1.0$ - коефіцієнт запасу стійкості для пластин.

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

$$R_{eH} = 315 \text{ МПа.}$$

$$\delta_{кр}/R_{eH} = 132.12/315 = 0.419 < 0.5$$

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

$$\text{при } \sigma_{cr}/R_{eH} > 0.5 \quad \sigma_e = 0.25R_{eH}^2/(R_{eH} - \sigma_{cr}) \text{ МПа}$$

$$\sigma_e = 132.12 \text{ МПа}$$

Товщина пластини надскулового пояса, яка відповідає умовам стійкості, знаходиться за формулою:

$$S = b \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854n}} + \Delta S = 0.9 \sqrt{\frac{132.12}{0.1854 \cdot 4}} + 2.28 = 14.29 \text{ мм,}$$

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

n - коефіцієнт, що враховує співвідношення боків пластини і розподіл нормальних стискальних напружень уздовж кромки пластини; ΔS - додаток товщини на знос і корозію, мм.

Мінімальна будівельна товщина повинна бути не менша від

$$S_{min} = (5.5 + 0.04 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5.5 + 0.04 \cdot 180.5) \cdot \sqrt{0.78} = 11.23 \text{ мм.}$$

Товщину надскулового пояса обшивки борту за умовою стійкості: $S_{надск.} = 15$ мм.

Товщину борту приймаю $S_{борту} = 15$ мм, а товщину скули, як найбільшу із товщин борту та днища, тобто $S_{скули} = 17$ мм.

3.11.3. Настил верхньої палуби

Товщина настилу верхньої палуби відповідно до умов міцності визначається за формулою $S = \max \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta S$ мм,

де $P = 0.7P_w \geq P_{min}$ в середній частині корпусу судна;

P_w - хвильовий тиск, кПа;

$$P_w = 12.9 \text{ кПа.}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$k_{\sigma} = 0.6$ для поздовжньої системи набору;

$\Delta S = 2.4$ мм - додаток на знос і корозію.

$$P = 0.7P_w = 0.7 \cdot 12.9 = 9.03 \text{ кПа}$$

$$P_{min} = 0.015 \cdot L + 7 = 0.015 \cdot 180.5 + 7 = 9.07 \text{ кПа}$$

$$S = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{9.07}{0.6 \cdot 301.3}} + 2.4 = 5.7 \text{ мм}$$

Розрахуємо також за умови ударного навантаження вантажу зсередини, де

$$P_B = \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0.735 \cdot 9.81 \cdot (0 + 24.6 \cdot 0.315) = 55.87 \text{ кПа,}$$

при $z_i = 0$ м.

$$S = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{55.87}{0.6 \cdot 301.3}} + 2.4 = 10.31 \text{ мм}$$

Перевіряємо на стійкість пластини верхньої палуби. Пластина є стійкою, якщо:

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

де σ_c – стискальні напруження, МПа;

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

$k = 1.0$ – коефіцієнт запасу по стійкості для пластин і поздовжніх балок рамного набору.

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою:

$$\text{прогин } \sigma_{зт} = \frac{M_{\Sigma 1} \cdot (D - e)}{I} \cdot 10^{-3} = \frac{2.768 \cdot 10^6 \cdot (18.9 - 8.47)}{128.56} \cdot 10^{-3} = 224.5 \text{ МПа,}$$

де $I = W_d(D - e) \cdot 10^2 = 12.33 \cdot (18.9 - 8.47) \cdot 10^2 = 128.56 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м⁴;

z_i - відстань розрахункової точки від нейтральної вісі, м;

W_d - момент опору палуби в середній частині судна, см³;

D - висота борту, м;

e - відстань нейтральної вісі від основної площини, м.

$$e = (0.34 + 0.06L \cdot 10^{-2})D = (0.34 + 0.06 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}) \cdot 18.9 = 8.47 \text{ м}$$

$$\text{Приймаю } \sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c = 212.92, \text{ МПа,}$$

$$R_{EH} = 315 \text{ МПа.}$$

$$\delta_{кр}/R_{EH} = 224.5/315 = 0.713 > 0.5$$

$$\delta_e = \frac{0.25 \cdot R_{eH}^2}{R_{eH} - \delta_{кр}} = \frac{0.25 \cdot 315^2}{315 - 224.5} = 274.12 \text{ МПа}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Тоді Ейлерові напруження палубної пластини: $\sigma_e = 274.12$ МПа,

Виходячи з умови стійкості, товщина пластини верхньої палуби повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854 \cdot n}} + \Delta S, \text{ мм},$$

Отримаємо:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854 \cdot n}} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{274.12}{0.1854 \cdot 4}} = 17.3 \text{ мм}.$$

$$S = S' + \Delta S = 17.3 + 2.4 = 19.7 \text{ мм}.$$

Мінімальна будівельна товщина настилу верхньої палуби повинна бути не менше:

$$S_{min} = (7 + 0.02 \cdot L) \cdot \sqrt{0.78} = (7 + 0.02 \cdot 180.5) \cdot \sqrt{0.78} = 9.37 \text{ мм}$$

Товщина S_{min} , мм, елементів конструкцій, які обмежують вантажні і баластні танки (в тому числі і настил верхньої палуби) наливних суден, повинна бути не менше:

$$S_{min} = 6.7 + 0.02 \cdot L = 6.7 + 0.02 \cdot 180.5 = 10.31 \text{ мм}$$

Приймаю товщину настилу верхньої палуби з умови стійкості $S_{в.л.} = 20$ мм.

Ширина палубного стрингера верхньої палуби b , мм, повинна бути не менше:

$$b_{пстр} = 5 \cdot L + 800 \leq 1800$$

$$b_{пстр} = 5 \cdot 180.5 + 800 = 1702.5$$

Приймаю ширину палубного стрингера 1800 мм.

3.11.4. Проектування бортового перекриття

Так як напруження у ширстречному поясі не більше напружень на верхній палубі, то товщину листів ширстречного поясу можна прийняти $S_{шипр} = 20$ мм.

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

Розрахунок товщини внутрішнього борту судна з умови міцності:

$$S' = 15.8 \cdot a \cdot k \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S,$$

де: $a = 0.9$ – менший розмір опорного контуру листового елемента, м;

Приймаємо: $k = 1$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$$k_{\sigma} = 0.6$$

$$\sigma_n = \frac{235}{0.78} = 301.3 \text{ МПа}$$

Випробувальний напір на рівні другого дна:

$$P_{\text{вип}} = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 16.9 + 25 = 194.93 \text{ кПа.}$$

$$S' = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{194.93}{0.6 \cdot 301.3}} = 14.77 \text{ мм};$$

$$S = S' + \Delta S = 14.77 + 3.00 = 17.77 \text{ мм},$$

де ΔS – запас, мм, на знос і корозію, береться $\Delta S = 3.00$ мм.

Товщину внутрішнього борту судна приймаємо $S_{\text{в.б.}}=18$ мм.

Товщину борту прийнято в п.3.11.2.

3.11.5. Настил другого дна.

Для настилу внутрішнього дна обирають розрахунковий тиск на друге дно

$$P_{\text{вип}} = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 16.9 + 25 = 194.93 \text{ кПа.}$$

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 $m=15.8$, $k_{\sigma}=0.8$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

$a = 0.9$ – відстань (шпация) між балками, які розглядаються, м;

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

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} \leq 1.0;$$

$a = 0.9$ м, $b = 2.7$ м – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

$\Delta S = 2.4$ мм– запас на знос та корозію.

Маємо:

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} = 1.2 - 0.5 \frac{0.9}{2.7} = 1.033, \text{ Приймаємо } k = 1.0.$$

$$\sigma_n = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0.78} = 301.3 \text{ МПа.}$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_n}} + \Delta S = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{194.93}{0.8 \cdot 301.3}} + 2.4 = 15.19 \text{ мм.}$$

Мінімальна будівельна товщина настилу внутрішнього дна визначається за формулою

$$S_{min} = (5 + 0.035 \cdot L) \cdot \sqrt{\eta} = (5 + 0.035 \cdot 180.5) \cdot \sqrt{\eta} = 9.99 \text{ мм при } L > 80(\text{м}).$$

Товщину настилу другого дна приймаю $S = 16$ мм.

Перевіряємо на стійкість пластини настилу другого дна. Пластина є стійкою, якщо:

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

де σ_c – стискальні напруження, МПа;

$\sigma_{кр}$ – критичні напруження, МПа; $k=1.0$

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою:

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{1.131 \cdot 10^6 + 1.494 \cdot 10^6}{128.56} 6.47 \cdot 10^5 = 132.18 \text{ МПа},$$

де $I = W_d(D - e) \cdot 10^2 = 12.33 \cdot (18.9 - 8.47) \cdot 10^2 = 128.56 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна;

$z_i = e - h_{II} = 8.47 - 2 = 6.47$ - відстань розрахункової точки від нейтральної вісі, м;

W_d - момент опору палуби в середній частині судна, см^3 ;

D - висота борту, м;

e - відстань нейтральної вісі від основної площини, м.

$$e = (0.34 + 0.06L \cdot 10^{-2})D = (0.34 + 0.06 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}) \cdot 18.9 = 8.47 \text{ м}$$

Приймаю $\sigma_{кр} = k \cdot \sigma_c = 1 \cdot 132.18 = 132.18 \text{ МПа}$,

$$R_{EH} = 315 \text{ МПа}.$$

$$\delta_{кр}/R_{EH} = 132.18/315 = 0.42 < 0.5.$$

Тоді Ейлерові напруження днищової пластини: $\sigma_e = \sigma_{кр} = 132.18 \text{ МПа}$,

Виходячи з умови стійкості, товщина пластини днищової обшивки повинна бути не менша від визначеної за формулою:

$$S = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854 \cdot n}} + \Delta S, \text{ мм},$$

Отримаємо:

$$S' = b \cdot \sqrt{\frac{\sigma_e}{0.1854 \cdot n}} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{132.18}{0.1854 \cdot 4}} = 12.01 \text{ мм}.$$

$$S = S' + \Delta S = 12.01 + 2.4 = 14.41 \text{ мм}.$$

Приймаю товщину пластини другого дна: $S_{II\text{дн}} = 16$ мм (за умовою міцності).

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

3.12. Набір в'язей корпусу судна за Правилами Регістру

3.12.1. Днищове перекриття

Визначити товщину суцільних флорів можна за формулою:

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

де $\alpha = 0.023L + 5.8 > 6.5$;

$k = k_1 \cdot k_2$;

$a = 0.9 \text{ м}$ – відстань (шпация) між ребрами жорсткості;

$\Delta S = 2.4 \text{ м}$ – запас на знос та корозію;

k_1 та k_2 визначаються за таблицями.

$$a_{\phi}/a = 2.7 / 0.9 = 3,$$

$$k_1 = 1.45;$$

Таблиця (2.4.4.3-1)

Коефіцієнт k_1

Система набору поздовжня	a_{ϕ} / a				
	1	2	3	4	5
k_1	-	1,25	1,45	1,65	1,85

a_{ϕ} – відстань між суцільними флорами, м;

a – шпация, м.

Таблиця (2.4.4.3-2)

Коефіцієнт k_2

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

Згідно креслення число стрингерів на один борт дорівнює 3, отже $k_2 = 0.8$.

Маємо:

$$\alpha = 0.023 \cdot L + 5.8 = 0.023 \cdot 180.5 + 5.8 = 9.95$$

$$k = k_1 \cdot k_2 = 1.45 \cdot 0.8 = 1.16$$

$$S = \alpha \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\eta} + \Delta S = 9.95 \cdot 0.9 \cdot 1.16 \cdot \sqrt{0.78} + 2.4 = 11.58 \text{ мм}.$$

Мінімальна будівельна товщина суцільного флора

$$S_{min} = 0.035 \cdot L + 6 = 0.035 \cdot 180.5 + 6 = 12.32 \text{ мм}.$$

Приймаю товщину суцільних флорів: $S_{фл}=13 \text{ мм}$ при $S_{min}=12.32 \text{ мм}$.

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:

$$S_{р.ж} = 0.8 \cdot S_{фл} = 0.8 \cdot 13 = 10.4 \text{ мм}.$$

Приймаю товщину ребр жорсткості суцільного флора: $S_{p.ж} = 11$ мм.

Товщина водонепроникних флорів визначається за формулою:

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

де $m=15.8$, $k_{\sigma}=0.85$ – коефіцієнти згинального моменту і допустимих напружень, які визначаються у відповідних розділах Правил;

$a = 0.9$ – відстань (шпація) між балками, які розглядаються, м;

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

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} \leq 1.0;$$

$a=0.9$, $b=2.7$ – менший і більший розміри боків опорного контуру листового елемента, м;

σ_n – нормативна границя плинності за нормальними напруженнями, МПа;

$\Delta S = 2.4$ – запас на знос та корозію, мм.

Маємо:

$$k = 1.2 - 0.5 \frac{a}{b} = 1.2 - 0.5 \frac{0.9}{2.7} = 1.03, \text{ Приймаємо } k = 1.$$

$$\sigma_{\Pi} = \frac{235}{\eta} = \frac{235}{0.78} = 301.3 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий мінімальний тиск визначається за формулою:

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

де $\rho=0.735$ т/м³;

$g= 9.81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

Z_i – відстань від верхньої палуби до середини висоти флора, м.

при $Z_i = D - 0.5 \cdot h_k = 18.9 - 0.5 \cdot 2 = 17.9$ м.

$$P_{\min} = \rho \cdot g \cdot z_i + P_k = 0.735 \cdot 9.81 \cdot 17.9 + 14.16 = 143.23 \text{ кПа.}$$

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \cdot \sigma_{\Pi}}} + \Delta S = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{143.23}{0.85 \cdot 301.3}} + 2.4 = 13.03 \text{ мм.}$$

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

Приймаю товщину водонепроникного флору: $S_{\phi л} = 14$ мм.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

3.12.2. Проектування балок основного набору другого дна та днища.

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

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

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

$a = 0.9$ м. – відстань між ребрами жорсткості,

$$a_z = \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4 \cdot a_{6z}^2} = \sqrt{1.611^2 + 0.53^2 + 0.4 \cdot 0.681^2} = 1.827 \text{ м/с}^2,$$

Тиск на днищову обшивку судна (згідно 3.10.1):

$$P = P_{st} + P_W = 112.62 + 14.16 = 126.78 \text{ кПа.}$$

Випробувальний тиск на друге дно (згідно 3.10.2):

$$P_{\text{вип}} = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 16.9 + 25 = 194.93 \text{ кПа.}$$

$l = 2.7$ м. - довжина ребра жорсткості,

$$m = 12;$$

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

$k_\sigma = 0.45$ – коефіцієнт напружень для зовнішньої обшивки днища, що допускається;

$$\sigma_n = 301.3 \text{ МПа};$$

- Поздовжні балки днища:

$$Q = 126.78 \cdot 0.9 \cdot 2.7 = 308.09 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{308.09 \cdot 2.7 \cdot 10^3}{12 \cdot 0.45 \cdot 301.3} = 511.26 \text{ см}^3 \text{ – для зовнішньої обшивки днища.}$$

$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$ – див. розрахунок моменту опору балки.

$$\text{де } \alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'}), \text{ при } W' \geq 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'}) = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{511.26}) = 0.08.$$

$\Delta S = 2.4$ - запас, мм, на знос і корозію;

$$\omega_k = 1 + 0.08 \cdot 2.4 = 1.19.$$

$$W = 511.26 \cdot 1.19 = 609.1 \text{ см}^3$$

Таблиця 2. Штабобульб симетричний для суднобудування. Сортамент (ГОСТ 9235-76)

Профіль	Елементи профілю						Елементи профілю з приєднаним пояском					
	Висота стінки	Товщина стінки	Ширина бульба	Площа профілю, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Площа приєданого пояску, см ²					
							50		100		200 і більше	
							I_x , см ⁴	W_x , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	I_z , см ⁴	W_z , см ³
							мм					
27812	270	12,0	82,0	48,33	3582	17,5	11600	622	13800	660	16600	687

Приймаємо симетричний штабобульб 27812 h270:

$$h_{ст} = 270 \text{ мм}; W = 687 \text{ см}^3$$

Перевірка на стійкість балок виконується наступним чином:

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

де σ_c – стискальні напруження, МПа;

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

Приймаємо $k = 1.1$.

Розрахункові стискальні напруження знаходяться за формулою:

$$\sigma_c = \frac{M_{sw} + M_w}{I} z_i \cdot 10^5 = \frac{1.131 \cdot 10^6 + 1.494 \cdot 10^6}{128.56} 8.47 \cdot 10^5 = 172.8 \text{ МПа},$$

де $I = W_d(D - e) \cdot 10^2 = 12.33 \cdot (18.9 - 8.47) \cdot 10^2 = 128.56 \text{ м}^4$ - момент інерції поперечного перерізу корпусу судна, м⁴;

$z_i = e - h = 8.47 - 2 = 6.47$ - відстань розрахункової точки від нейтральної вісі, м;

W_d - момент опору палуби в середній частині судна, см³;

D - висота борту, м;

e - відстань нейтральної вісі від основної площини, м.

$$e = (0.34 + 0.06L \cdot 10^{-2})D = (0.34 + 0.06 \cdot 180.5 \cdot 10^{-2}) \cdot 18.9 = 8.47 \text{ м}$$

Перевірка на стійкість:

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

$k = 1.1$ - для поздовжніх балок основного набору

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

$f = 48.33 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки;

$i = 16600 \text{ см}^4$ - момент інерції балки;

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot 16600}{48.33 \cdot (2.7)^2} = 9705.8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_e > 0.5R_{eH} \quad 0.5R_{eH} = 0.5 \cdot 315 = 157.5 \text{ МПа}$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03		Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата			

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 3038.5}\right) = 306.8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = 306.8 \text{ МПа} \geq k \cdot \sigma_c = 1.1 \cdot 172.8 = 190.1 \text{ МПа}$$

Стійкість забезпечена.

3.12.3. Розрахунок товщини вертикального кіля та стрингерів.

Висота вертикального кіля: $h_{вк} = 2$ м. Товщина вертикального кіля, мм, повинна бути не менше визначеної за формулою:

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

$$\alpha_k = 0.03 \cdot L + 8.3 \leq 11.2,$$

$$\alpha_k = 0.03 \cdot L + 8.3 = 0.03 \cdot 180.5 + 8.3 = 13.715 > 11.2.$$

Приймаємо: $\alpha_k = 11.2$.

$h = 1.77$ - висота вертикального кіля, яка вимагається Правилами, м;

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

$\Delta S = 2.4$ - запас, мм, на знос і корозію;

$$S_{min} = 11.2 \cdot 1.77 \cdot \frac{1.77}{2} \cdot \sqrt{0.78} + 2.4 = 17.89 \text{ мм.}$$

Товщина вертикального за умовою міцності повинна бути не менше:

$$S' = 15.8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}} + \Delta S.$$

$$a = 0.9.$$

$$k = 1.2 - 0.5a/h_\phi \leq 1.0;$$

$$k = 1.2 - 0.5 \cdot 0.9/2 = 0.975;$$

$$P = \rho_v \cdot g \cdot z_i + p_k = 0.735 \cdot 9.81 \cdot 17.9 + 15 = 144.06 \text{ кПа.}$$

де $p_k = 15$ кПа;

$z_1 = D - h_k/2 = 18.9 - 2/2 = 17.9$ м - відстань від верхньої палуби в діаметральній площині до середини висоти вертикального кіля;

$k_\sigma = 0.75$ - якщо вертикальний кіль підкріплюється горизонтальними ребрами жорсткості;

$$\sigma_n = 301.3 \text{ МПа.}$$

$\Delta S = 2.4$ мм - запас, на знос і корозію;

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$$S' = 15.8 \cdot 0.9 \cdot 0.975 \cdot \sqrt{\frac{144.06}{0.75 \cdot 301.3}} + 2.4 = 13.47 \text{ мм.}$$

Мінімальна товщина вертикального кіля:

$$S_{min} = 0.025 \cdot L + 7 = 0.025 \cdot 180.5 + 7 = 11.51 \text{ мм.}$$

З урахуванням мінімальної товщини та товщини з умови міцності,

приймаємо: товщину вертикального кіля: $S = 18$ мм,

товщину днищових стрінгерів: $S = 14$ мм

3.12.4. Розрахунок товщини вертикального кіля та днищевих стрінгерів з умови стійкості.

Стійкість елементів конструкцій вважається забезпеченою, якщо діючі в них нормальні стискуючі напруження σ_c не перевищують критичних напружень σ_{cr} обчислених для цих в'язей:

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

де k – коефіцієнт запасу по стійкості, рівний:

1.0 – для пластин і поздовжніх балок рамного набору;

1.1 – для поздовжніх балок основного набору.

За розрахункові стискуючі напруження приймаємо напруження від згинаючого моменту, що викликає перегин судна. Максимальні діючі напруження у днищі при перегині (визначені в пункті 3.9):

$$\sigma_c = 172.8 \text{ МПа,}$$

Критичні напруження σ_{cr} , МПа, визначаються в залежності від ейлерових напружень σ_e , і границі плинності матеріалу R_{eH} :

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

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) \text{ при } \sigma_e > 0.5R_{eH}$$

Ейлерові нормальні σ_e напруження, МПа, листових елементів визначаються як для прямокутних пластин за формулою:

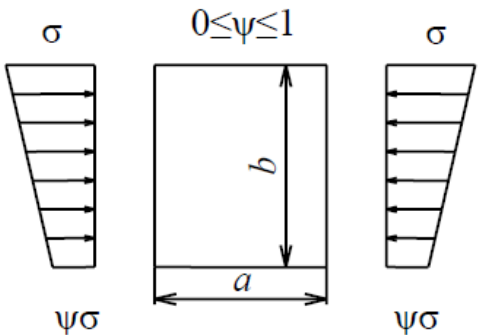
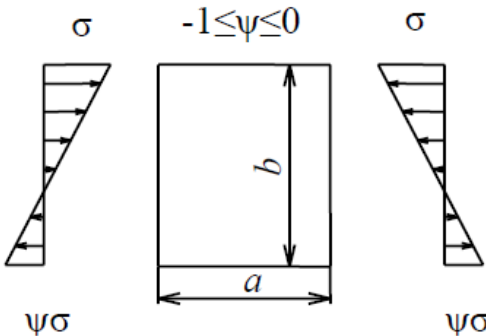
$$\sigma_e = 0.1854 \cdot n \left(\frac{S'}{b}\right)^2$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

де $S' = 18 - 2.4 = 15.6$ мм фактична товщина, пластини, яка зменшена на величину $\Delta S = 2.00$ мм - додаток на зношення елементу конструкції при перевірці його стійкості.

$b = 0.7$ м сторона пластини, яка перпендикулярна напрямку дії нормальних стискаючих напружень, (вертикальний кінь підкріплюється 2-ма горизонтальними ребрами жорсткості).

n – коефіцієнт, який залежить від виду навантаження пластини і відношення сторін і розраховується за наступною таблицею:

Вид навантаження	$\gamma = a/b$	n
	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$\frac{8.4}{\psi + 1.1}$ $\varepsilon \left(\gamma + \frac{1}{\gamma} \right)^2 \frac{2.1}{\psi + 1.1}$
	$\gamma > 1$ $\gamma \leq 1$	$10\psi^2 - 6.4\psi + 7.6$ $\varepsilon [10\psi^2 - 14\psi + 1.9(1+\psi) \times (\gamma + 1/\gamma)^2]$

так як $\gamma = \frac{a}{b} = \frac{2.7}{0.7} = 3.86 > 1$, то $n = \frac{8.4}{\psi + 1.1}$

$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ – коефіцієнт, який враховує ступінь нерівномірності стиску кромки пластини.

$$\sigma_1 = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot e}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2.625 \cdot 10^6 \cdot 8.47}{128.64} \cdot 10^{-3} = 172.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{\Sigma 2} \cdot (e - 2m)}{I_0} \cdot 10^{-3} = \frac{2.625 \cdot 10^6 \cdot (8.47 - 2)}{128.64} \cdot 10^{-3} = 132.03 \text{ МПа}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{132.03}{172.8} = 0.764$$

$$n = \frac{8.4}{\psi + 1.1} = \frac{8.4}{0.764 + 1.1} = 4.51$$

$$\sigma_e = 0.1854 \cdot n \left(\frac{S'}{b}\right)^2 = 0.1854 \cdot 4.51 \left(\frac{11.6}{0.7}\right)^2 = 229.45 \text{ МПа}$$

$$\text{так як } \sigma_e = 229.45 \text{ МПа} > 0.5R_{eH} = 0.5 \cdot 315 = 157.5 \text{ МПа}$$

$$\text{то } \sigma_{cr} = R_{eH} \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 229.45}\right) = 206.9 \text{ МПа}$$

Товщина вертикального кіля та днищевих стрингерів, що відповідає умовам стійкості, визначається за формулою:

$$S' = b \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{0.1854 \cdot n}} = 0.7 \cdot \sqrt{\frac{206.9}{0.1854 \cdot 4.51}} = 11.02 \text{ мм.}$$

$$S = S' + \Delta S = 11.02 + 2.0 = 13.02 \text{ мм.}$$

Приймаємо: $S_{BK} = 18 \text{ мм}$ та $S_{\text{дн.стрінг.}} = 14 \text{ мм}$.

3.12.5. Проектування горизонтальних ребр жорсткості кіля та днищевих стрингерів.

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

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

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

$a = 0.7 \text{ м}$ – відстань між ребрами жорсткості,

P , кПа - загальний тиск;

$$P = P_{st} + P_W$$

•Статичний тиск:

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 10.2 = 102.6 \text{ кПа.}$$

Z_i – відстань точки прикладання навантаження від літньої ватерлінії, м.

Приймаємо $Z_i = d = 10.2 \text{ м}$ - посередині висоти вертикального кіля та стрингерів

•Хвильовий тиск для точок прикладання навантаження нижче ватерлінії:

$$P_W = P_{W0} - 1.5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d}, \text{ кПа.}$$

$$\text{При } Z_i = d = 10.2 \text{ м: } P_W = P_{W0} - 1.5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d} = 28.33 - 1.5 \cdot 9.44 \cdot \frac{10.2}{11.2} = 15.43 \text{ кПа.}$$

$$P = P_{st} + P_W = 102.6 + 15.43 = 118 \text{ кПа}$$

$l = 2.7 \text{ м}$ - довжина ребра жорсткості,

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$$m = 12;$$

$k_{\sigma} = 0.75$ – коефіцієнт напружень, що допускається;

$$\sigma_{\Pi} = 301.3 \text{ МПа};$$

$$Q = 118 \cdot 0.7 \cdot 2.7 = 223 \text{ кН};$$

$$W' = \frac{223 \cdot 2.7 \cdot 10^3}{12 \cdot 0.75 \cdot 301.3} = 222 \text{ см}^3$$

$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$ – поправка на знос для балок катаного профілю.

$$\text{де } \alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'}), \text{ при } W' \geq 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'}) = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{222}) = 0.09.$$

$\Delta S = 2.4$ - запас, мм, на знос і корозію;

$$\omega_k = 1 + 0.09 \cdot 2.4 = 1.216$$

$$W = W' \cdot \omega_k = 222 \cdot 1.216 = 270.0 \text{ см}^3$$

Приймаємо несиметричний штабобульб 206:

Номер профілю	Елементи профілю						Елементи профілю з приєднаним пояском			
	Висота стінки	Товщина стінки	Ширина бульба	Площа профілю, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Загальна площа, см ²	Момент інерції, см ⁴	Найменший момент опору, см ³	Товщина приєданого пояску, мм
206	200	12	46	31,4	1265	12,1	121,4	5110	296	15

$$h_{\text{CT}} = 200 \text{ мм}; S_{\text{CT}} = 12 \text{ мм}; W = 296 \text{ см}^3.$$

Перевірка на стійкість:

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

$$k = 1.1$$

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

$f = 121.4 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки;

$i = 5110 \text{ см}^4$ - момент інерції балки;

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot 5110}{121.4 \cdot (2.7)^2} = 1189.4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_e > 0.5 R_{eH} \quad 0.5 R_{eH} = 0.5 \cdot 315 = 157.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 1189.4}\right) = 294.1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = 294.1 \text{ МПа} \geq k \cdot \sigma_c = 1.1 \cdot 172.8 = 190.1 \text{ МПа}$$

Стійкість забезпечена.

3.12.6. Проектування балок основного набору палуби.

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

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

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

$a = 0.9 \text{ м}$ – відстань між ребрами жорсткості,

Розрахунковий тиск P , кПа, визначається за наступними формулами в залежності від того, що більше:

$P = p_w = 12.9 \text{ кПа}$ - хвильовий тиск для точок прикладання навантажень, розташованих вище літньої вантажної ватерлінії (згідно 3.10.1);

Розрахунковий тиск на конструкції повністю заповнених танків визначається за формулами:

$$P_{\text{вип}} = \rho \cdot g \cdot Z_i + P_k = 1.025 \cdot 9.81 \cdot 0.652 + 25 = 31.56 \text{ кПа}$$

$$P_B = \rho \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) Z_i = 0.735 \cdot 9.81 \cdot \left(1 + \frac{1.754}{9.81}\right) \cdot 0.652 = 5.58 \text{ кПа}$$

$$P_B = \rho \cdot g \cdot (Z_i + b \cdot \theta) = 0.735 \cdot 9.81 \cdot (0.652 + 24.6 \cdot 0.315) = 60.57 \text{ кПа}$$

$$P_B = \rho \cdot g \cdot (Z_i + l \cdot \psi) = 0.735 \cdot 9.81 \cdot (0.652 + 18.9 \cdot 0.082) = 15.88 \text{ кПа}$$

$$P_B = 0.75 \cdot \rho \cdot g \cdot (Z_i + \Delta z) = 0.75 \cdot 0.735 \cdot 9.81 \cdot (0.652 + 2.5) = 17.05 \text{ кПа}$$

в залежності від того, що більше,

де $\Delta z = 2.5 \text{ м}$ – висота повітряної труби над палубою;

$l = 18.9$ та $b = 24.6$ – довжина та ширина танку, м.

$z_i = 0.652$ – відстань в'язі, що розглядається, від рівня палуби (даху цистерни), визначена в ДП, м;

$\theta = 0.315 \text{ рад}$, $\psi = 0.082 \text{ рад}$, $P_k = 25 \text{ кПа}$, (згідно 3.10.2)

Приймаємо розрахунковий тиск $P=60.57 \text{ кПа}$

$l = 2.7 \text{ м}$. - довжина ребра жорсткості,

$m = 12$;

$k_\sigma = 0.65$ – коефіцієнт напружень, що допускається;

$\sigma_n = 301.3 \text{ МПа}$;

$Q = 60.57 \cdot 0.9 \cdot 2.7 = 147.2 \text{ кН}$;

$$W' = \frac{147.2 \cdot 2.7 \cdot 10^3}{12 \cdot 0.65 \cdot 301.3} = 169.1 \text{ см}^3$$

$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$ – див. розрахунок моменту опору балки.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$$\text{де } \alpha_k = 0.07 + 6/W' \leq 0,25 \text{ при } W' < 200 \text{ см}^3$$

$$\alpha_k = 0.07 + 6/W' = 0.07 + 6/169.1 = 0.105$$

$\Delta S = 3.00$ - запас, мм, на знос і корозію;

$$\omega_k = 1 + 0.105 \cdot 3.00 = 1.32.$$

$$W = 155.98 \cdot 1.33 = 222.6 \text{ см}^3$$

Приймаємо несиметричний штабобульб 206:

Номер профілю	Елементи профілю						Елементи профілю з приєднаним пояском			
	Висота стінки	Товщина стінки	Ширина бульба	Площа профілю, см ²	Момент інерції, см ⁴	Відстань від центра ваги, см	Загальна площа, см ²	Момент інерції, см ⁴	Найменший момент опору, см ³	Товщина приєднаного пояску, мм
	мм									
206	200	12	46	31,4	1265	12,1	121,4	5110	296	15

$$h_{\text{ст}} = 200 \text{ мм}; S_{\text{ст}} = 12 \text{ мм}; W = 296 \text{ см}^3.$$

Перевірка на стійкість:

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

$$k = 1.1$$

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

$f = 121.4 \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки;

$i = 5110 \text{ см}^4$ - момент інерції балки;

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot 5110}{121.4 \cdot (2.7)^2} = 1189.4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_e > 0.5 R_{eH} \quad 0.5 R_{eH} = 0.5 \cdot 315 = 157.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) = 315 \cdot \left(1 - \frac{315}{4 \cdot 1189.4}\right) = 294.1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{cr} = 294.1 \text{ МПа} \geq k \cdot \sigma_c = 1.1 \cdot 172.8 = 190.1 \text{ МПа}$$

Стійкість забезпечена.

3.12.7. Проектування балок зовнішнього та внутрішнього борту.

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

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

$Q = P \cdot a \cdot l, \text{ кН}$ - розрахункове навантаження для балки.

$a = 0.9 \text{ м}$ – відстань між ребрами жорсткості,

- Зовнішній борт нижче літньої вантажної ватерлінії:

P - Тиск на обшивку зовнішнього борту судна на рівні поздовжньої балки що розраховується: $P = P_{st} + P_W$, кПа

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

де Z_i – відстань від літньої ватерлінії до балки що розраховується

$$P_W = P_{W0} - 1.5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d}, \text{ кПа}$$

де $P_{W0} = 28.33$ кПа, (згідно 3.10.1); $C_W = 9.44$ (згідно 3.9);

$l = 2.7$ м. - довжина ребра жорсткості,

$m = 12$;

$k_\sigma = 0.65$ – коефіцієнт напружень, що допускається;

$\sigma_\Pi = 301.3$ МПа (згідно 3.4);

$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$ – див. розрахунок моменту опору балки.

де $\alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'})$, при $W' \geq 200 \text{ см}^3$

$\Delta S = 2.40$ мм - запас на знос і корозію;

Перевірка на стійкість:

$$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c, \text{ МПа}$$

$$k = 1.1$$

$$\sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2}, \text{ МПа.}$$

$f, \text{ см}^2$ – площа поперечного перерізу балки;

$i, \text{ см}^4$ - момент інерції балки;

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

$$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right) \text{ при } \sigma_e > 0.5R_{eH}$$

$$0.5R_{eH} = 0.5 \cdot 315 = 157.5 \text{ МПа}$$

Розрахунок необхідного моменту опору та перевірка на стійкість поздовжніх балок борту нижче літньої вантажної ватерлінії наведено в таблиці в залежності від Z_i :

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$Z_i, \text{м}$	8.3	7.4	6.5	5.6	3.8	2.9	2	1.1
$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i, \text{кПа}$	83.46	74.41	65.36	56.31	38.21	29.16	20.11	11.06
$P_W = P_{W0} - 1.5 \cdot C_W \cdot \frac{Z_i}{d}, \text{кПа}$	17.84	18.97	20.11	21.25	23.53	24.66	25.80	26.94
$P = P_{st} + P_W, \text{кПа}$	101.30	93.38	85.47	77.56	61.74	53.82	45.91	38.00
$Q = P \cdot a \cdot l, \text{кН}$	246.1	226.9	207.7	188.5	150.0	130.8	111.6	92.3
$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_a \cdot \sigma_n}, \text{см}^3$	282.8	260.7	238.6	216.5	172.4	150.3	128.2	106.1
$\alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'})$ при $W' \geq 200 \text{ см}^3$	0.090	0.092	0.095	0.097	-	-	-	-
$\alpha_k = 0.07 + 6/W' \leq 0,25$ при $W' < 200 \text{ см}^3$	-	-	-	-	0.105	0.110	0.117	0.127
$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$	1.22	1.22	1.23	1.23	1.25	1.26	1.28	1.30
$W = W' \cdot \omega_k, \text{см}^3$	344.0	318.4	292.8	267.2	215.7	189.9	164.1	138.3
Прийнятий профіль	P 226	P 22a	P 206	P 20a	P 20a	P 186	P 18a	P 16a
$W, \text{см}^3$	372	343	296	268	268	206	188	140
$f, \text{см}^2$	127.2	122.8	121.4	117.4	117.4	75.8	82.2	78
$i, \text{см}^4$	6930	6500	5110	4730	4730	3130	2860	1980
Перевірка на стійкість:								
$\sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2}, \text{МПа}$	1539.5	1495.7	1189.4	1138.5	1138.5	1166.8	983.2	717.3
$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right), \text{МПа}$ при $\sigma_e > 0.5 R_{eH}$	298.9	298.4	294.1	293.2	293.2	293.7	289.8	280.4
$k \cdot \sigma_c, \text{МПа}$	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1
$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c$	299 > 190	298 > 190	294 > 190	293 > 190	293 > 190	294 > 190	290 > 190	280 > 190

Стійкість забезпечена.

З вимог технологічності, приймаємо несиметричний штабобульб 226 для зовнішнього борту нижче літньої вантажної ватерлінії.

- Зовнішній борт вище літньої вантажної ватерлінії:

Розрахунковий тиск P , кПа, що визначається за формулою:

$$P = P_W = P_{W0} - 7.5 \cdot a_x \cdot Z_i, \text{кПа}$$

де Z_i – відстань від літньої ватерлінії до балки що розраховується.

$$P_{W0} = 28.33 \text{ кПа}, a_x = 0.267 \text{ (згідно 3.10.1);}$$

Розрахунок необхідного моменту опору та перевірка на стійкість поздовжніх балок борту вище літньої вантажної ватерлінії наведено в таблиці в залежності від Z_i :

$Z_i, \text{м}$	8.3	7.4	6.5	5.6	3.8	2.9	2	1.1
$P = P_W = P_{W0} - 7,5 \cdot a_x \cdot Z_i, \text{кПа}$	11.71	13.51	15.31	17.12	20.72	22.52	24.33	26.13
$Q = P \cdot a \cdot l, \text{кН}$	28.5	32.8	37.2	41.6	50.4	54.7	59.1	63.5
$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_a \cdot \sigma_n}, \text{см}^3$	32.7	37.7	42.8	47.8	57.8	62.9	67.9	72.9
$\alpha_k = 0.07 + 6/W' \leq 0,25$ при $W' < 200 \text{ см}^3$	0.254	0.229	0.210	0.196	0.174	0.165	0.158	0.152
$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$	1.61	1.55	1.50	1.47	1.42	1.40	1.38	1.37
$W = W' \cdot \omega_k, \text{см}^3$	52.6	58.5	64.3	70.2	82.0	87.8	93.7	99.6
Прийнятий профіль	P 12	P 12	P 12	P 14a	P 14a	P 14a	P 14a	P 14a
$W, \text{см}^3$	68.0	68.0	68.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
$f, \text{см}^2$	71.2	71.2	71.2	74	74	74	74	74
$i, \text{см}^4$	767	767	767	1274	1274	1274	1274	1274
Перевірка на стійкість:								
$\sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2}, \text{МПа}$	304.4	304.4	304.4	486.5	486.5	486.5	486.5	486.5
$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}\right), \text{МПа}$ при $\sigma_e > 0.5 R_{eH}$	233.5	233.5	233.5	264.0	264.0	264.0	264.0	264.0
$k \cdot \sigma_c, \text{МПа}$	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1
$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_c$	$234 > 190$	$234 > 190$	$234 > 190$	$264 > 190$	$264 > 190$	$264 > 190$	$264 > 190$	$264 > 190$

Стійкість забезпечена.

З вимог технологічності, приймаємо несиметричний штабобульб 14a для зовнішнього борту вище літньої вантажної ватерлінії.

- Внутрішній борт:

Розрахунковий тиск на конструкції повністю заповнених танків визначається за формулами, в залежності від того, що більше:

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

$$P_B = \rho_B \cdot g \cdot \left(1 + \frac{a_z}{g}\right) Z_i, \text{кПа}$$

$$P_B = \rho_B \cdot g \cdot (Z_i + b_T \cdot \theta), \text{кПа}$$

$$P_B = \rho_B \cdot g \cdot (Z_i + l_T \cdot \psi), \text{кПа}$$

$$P_B = 0.75 \cdot \rho_B \cdot g \cdot (Z_i + \Delta z), \text{кПа}$$

$$P = P_{\text{max}} (P_{\text{вип}}, P_B), \text{кПа}$$

де $\Delta z = 2.5 \text{ м}$ – висота повітряної труби над палубою;

$l_T = 18.9$ та $b_m = 24.6$ – довжина та ширина танку, м.

$Z_i, \text{м}$ – відстань в'язі, що розглядається, від рівня палуби (даху цистерни), визначена в ДП;

$\theta = 0.315 \text{ рад}$, $\psi = 0.082 \text{ рад}$, $P_k = 25 \text{ кПа}$, (згідно 3.10.2)

$l = 2.7 \text{ м}$ - довжина ребра жорсткості,

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03			Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата				

$$m = 12;$$

$k_{\sigma} = 0.65$ – коефіцієнт напружень, що допускається;

$$\sigma_{\Pi} = 301.3 \text{ МПа};$$

$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$ – див. розрахунок моменту опору балки.

де $\alpha_k = 0.07 + 6/W' \leq 0.325$ при $W' < 200 \text{ см}^3$

$$\alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'}), \text{ при } W' \geq 200 \text{ см}^3$$

Розрахунок необхідного моменту опору та перевірка на стійкість поздовжніх балок борту вище літньої вантажної ватерлінії наведено в таблиці в залежності від Z_i :

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$Z_0, \text{м}$	1.35	2.25	3.15	4.95	5.85	6.75	7.65	9.45	10.35	11.25	12.15	13.95	14.85	15.75	16.65
$P_{\text{вин}} = \rho \cdot g \cdot Z_i + P_{\text{кр}}, \text{кПа}$	38.57	47.62	56.67	74.77	83.82	92.87	101.92	120.02	129.07	138.12	147.17	165.27	174.32	183.37	192.42
$P_0 = \rho_0 \cdot g \cdot (1 + \frac{\alpha_z}{g}) Z_i, \text{кПа}$	11.55	19.24	26.94	42.34	50.04	57.73	65.43	80.83	88.53	96.22	103.92	119.32	127.01	134.71	142.41
$P_0 = \rho_0 \cdot g \cdot (Z_i + b_m \cdot \theta), \text{кПа}$	65.61	72.10	78.59	91.56	98.05	104.54	111.03	124.01	130.50	136.99	143.48	156.46	162.95	169.44	175.93
$P_0 = \rho_0 \cdot g \cdot (Z_i + l_m \cdot \psi), \text{кПа}$	20.91	27.40	33.89	46.87	53.36	59.84	66.33	79.31	85.80	92.29	98.78	111.76	118.25	124.74	131.23
$P_0 = 0.75 \cdot \rho_0 \cdot g \cdot (Z_i + 4z), \text{кПа}$	20.82	25.69	30.55	40.29	45.15	50.02	54.89	64.62	69.49	74.36	79.22	88.96	93.82	98.69	103.56
$P = P_{\text{max}} (P_{\text{вин}}, P_0), \text{кПа}$	65.61	72.10	78.59	91.56	98.05	104.54	111.03	124.01	130.50	138.12	147.17	165.27	174.32	183.37	192.42
$Q = P \cdot a \cdot l, \text{кН}$	159.4	175.2	191.0	222.5	238.3	254.0	269.8	301.3	317.1	335.6	357.6	401.6	423.6	445.6	467.6
$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n}, \text{см}^3$	183.2	201.3	219.4	255.6	273.7	291.9	310.0	346.2	364.3	385.6	410.9	461.4	486.7	511.9	537.2
$\alpha_k = \frac{1}{0.15} \cdot (0.01 + \frac{1}{W'})$ при $W' \geq 200 \text{ см}^3$	-	0.100	0.097	0.093	0.091	0.090	0.088	0.086	0.085	0.084	0.083	0.081	0.080	0.080	0.079
$\alpha_k = 0.07 + 6/W' \leq 0.25$ при $W' < 200 \text{ см}^3$	0.103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\omega_k = 1 + \alpha_k \cdot \Delta S$	1.25	1.24	1.23	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.19	1.19	1.19	1.19
$W = W' \cdot \omega_k, \text{см}^3$	228.3	249.5	270.5	312.5	333.5	354.6	375.6	417.6	438.6	463.3	492.6	551.2	580.5	609.8	639.1
Прийнятий профіль	P 20a	P 20a	P 206	P 22a	P 22a	P 226	P 24a	P 24a	P 246	P 246	Φ 271010	Φ 27812	Φ 27812	Φ 27812	Φ 27812
$W, \text{см}^3$	268	268	296	343	343	372	434	434	466	466	525	660	660	660	660
$f, \text{см}^2$	117.4	117.4	121.4	122.8	122.8	127.2	128.8	128.8	133.6	133.6	176.74	183.33	183.33	183.33	183.33
$i, \text{см}^4$	4730	4730	5110	6500	6500	6930	8720	8720	9250	9250	11700	13800	13800	13800	13800
Перевірка на стійкість:															
$\sigma_e = \frac{206 \cdot i}{f \cdot l^2}, \text{МПа}$	1138.5	1138.5	1189.4	1495.7	1495.7	1539.5	1913.1	1913.1	1956.5	1956.5	1870.6	2127.1	2127.1	2127.1	2127.1
$\sigma_{cr} = R_{eH} \cdot (1 - \frac{R_{eH}}{4 \cdot \sigma_e}), \text{МПа}$ при $\sigma_e > 0.5 R_{eH}$	293.2	293.2	294.1	298.4	298.4	298.9	302.0	302.0	302.3	302.3	301.7	303.3	303.3	303.3	303.3
$k \cdot \sigma_e, \text{МПа}$	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1	190.1
$\sigma_{cr} \geq k \cdot \sigma_e$	293 > 190	293 > 190	294 > 190	298 > 190	298 > 190	299 > 190	302 > 190	302 > 190	302 > 190	302 > 190	302 > 190	303 > 190	303 > 190	303 > 190	303 > 190

З вимог технологічності, на кожному прольоті між платформами прийнято профіль з найбільшим моментом опору.

Стійкість забезпечена.

3.12.8. Визначення товщини діафрагм подвійного борту.

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

$$S_{min} = 0.018 \cdot L + 6.2 = 0.018 \cdot 180.5 + 6.2 = 9.45 \text{ мм.}$$

Крім цього, елементи конструкцій бортового набору в танках (вантажних і баластних) повинні мати товщину не менше:

$$S_{min} = 6.7 + 0.02 \cdot L = 6.7 + 0.02 \cdot 180.5 = 10.31 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину діафрагм і платформ подвійного борту 11мм.

3.12.9. Розрахунок рамного бiмсу.

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

$$W = W' + \Delta W, \text{ см}^3$$

$$\Delta W = 0.1 \cdot W', \text{ см}^3 \text{ – додаток моменту опору}$$

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

$$P = 60.57 \text{ кПа, розрахунковий тиск (згідно 3.12.6).}$$

$$Q = P \cdot a \cdot l = 60.57 \cdot 2.7 \cdot 24.6 = 4023.3 \text{ кН - розрахункове навантаження для бiмса.}$$

$$\text{де } a = 2.7 \text{ м – відстань між бiмсами;}$$

$$l = 24.6 \text{ м – довжина бiмса (ширина вантажного танку).}$$

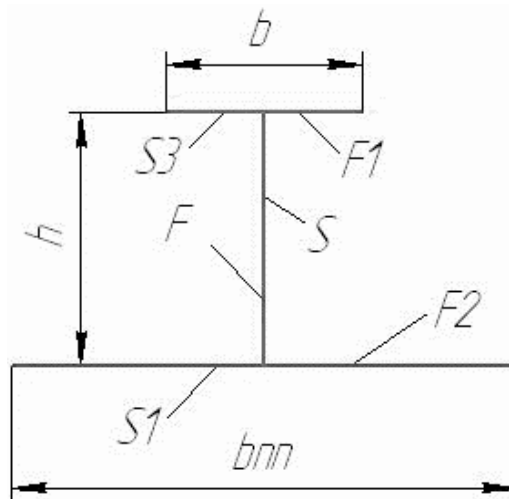
$$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma_n} = \frac{4023.3 \cdot 24.6 \cdot 10^3}{12 \cdot 0.65 \cdot 301.3} = 42114.1 \text{ см}^3$$

$$\Delta W = 0.1 \cdot W' = 0.1 \cdot 42114.1 = 4211.4 \text{ см}^3$$

$$W = W' + \Delta W = 42114.1 + 4211.4 = 46325.5 \text{ см}^3$$

Так як значення моменту опору поперечного перерізу W , см^3 , яке вимагається Правилами, більше за наведене в сортаменті для зварних таврів, то необхідно спроектувати складений профіль балки.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		



Висота стінки визначається за формулою:

$$h = 1.16 \sqrt{\frac{W}{0.1S}} = 1.16 \sqrt{\frac{46325.5}{0.1 \cdot 16}} = 197.4 \text{ см};$$

де $S = 16$ мм, прийнята товщина стінки бімса.

Приймаємо $h = 2000$ мм;

Площу вільного пояса балки в першому наближенні розраховують за формулою:

$$F1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} = \frac{46325.5}{200} - \frac{200 \cdot 1.6}{4.5} = 160.5 \text{ см}^2$$

Коефіцієнт k уточнюється за формулою:

$$k = 6 \cdot \frac{2 \cdot F2 + F}{4 \cdot F2 - 2 \cdot F1 + F} = 6 \cdot \frac{2 \cdot 270 \cdot 2 + 200 \cdot 1.6}{4 \cdot 270 \cdot 2 - 2 \cdot 160.5 + 200 \cdot 1.6} = 3.9;$$

У другому наближенні площа вільного пояса дорівнює:

$$F1 = \frac{W}{h} - \frac{F}{k} = \frac{46325.5}{200} - \frac{200 \cdot 1.6}{3.9} = 149.4 \text{ см}^2$$

За площею $F1$ приймається ширина вільного пояса b , см

$$b = \frac{F1}{S3} = \frac{149.4}{2} = 74.7 \text{ см};$$

Де $S3 = 20$ мм – товщина вільного пояса, який беремо на 4 мм товстішим, від стінки.

Приймаю $b = 750$ мм.

$$F1 = b \cdot S = 75 \cdot 2 = 150 \text{ см}^2$$

Перевіримо момент опору спроектованої балки:

$$W = h \cdot \left[F1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot F1 + F}{2 \cdot F2 + F} \right) \right] =$$

$$= 200 \cdot \left[150 + \frac{200 \cdot 1.6}{6} \left(2 - \frac{2 \cdot 150 + 200 \cdot 1.6}{2 \cdot 270 \cdot 2 + 200 \cdot 1.6} \right) \right] = 46609.5 \text{ см}^3$$

Цей момент опору повинен бути не меншим ніж визначений за правилами, порівняємо: $W=46609.5 \text{ см}^3 > W_{\text{вим}}=46325.5 \text{ см}^3$;

Момент інерції балки підраховується за формулою:

$$I = W \frac{h}{1 + \frac{2 \cdot F_1 + F}{2 \cdot F_2 + F}} = 46609.5 \cdot \frac{200}{1 + \frac{2 \cdot 150 + 200 \cdot 1.6}{2 \cdot 270 \cdot 2 + 200 \cdot 1.6}} = 6460726.1 \text{ см}^4$$

Стінки рамних балок при $\frac{h}{s} = \frac{2000}{16} = 125 > 60 \cdot \sqrt{\eta} = 60 \cdot \sqrt{0.78} = 53$ підкріплюються ребрами жорсткості, кницями або бракетами.

Нормальні до вільного пояску рамної балки ребра жорсткості, які підтримують балки основного набору, повинні бути встановлені не далі, чим в площині другої кожної балки основного набору

Відбійний лист, який встановлюється у ДП, повинен мати висоту, рівну двом висотам рамного бiмса і товщину стінки не менше товщини стінки рамного бiмса. Площа поперечного перерізу пояску дорівнює площі пояска рамного бiмса. Момент опору підсилених палубних балок – не менше 0,9 величини момента опору рамних бiмсiв. У дипломному проекті профіль підсиленої балки прийнято рівним профілю рамного бiмса.

Рамні бiмси у бортовому танку до поздовжніх перегородок закріплюються кницями, сторони яких рівні висоті рамного бiмсу, радіус закруглення вільного ребра рівний розміру однієї з сторін цих книць. По вільному ребру закругленої книці прокладений вільний поясok рамного бiмса, зрізаний «на вус».

До відбійного листа рамний бiмс закріплюється кницями так само, як закріплено флори до підсиленого вертикального кілю.

Розміри сторін книць, які закріплюють відбійний лист або підсилену балку до поперечної перегородки, приймаються рівними висоті стінки відбійного листа або підсиленої балки відповідно. Товщина книці приймається рівною товщині стінки балки, що закріплюється. Товщина книць може бути зменшена на 1 мм, якщо товщина стінки більше 7 мм; на 2 мм, якщо товщина стінки більше 12 мм.

3.13. Розрахунок еквівалентного бруса і перевірка загальної поздовжньої міцності.

Розрахунок геометричних характеристик еквівалентного бруса виконується в табличній формі. У розрахунку порівняльна вісь збігається з основною площиною.

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Для розрахунку геометричних характеристик слід використовувати наступні формули:

$$F = 2Sl; e = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1}; I = 2[\Sigma_3 - e^2 \Sigma_1]; W_d^\phi = \frac{I}{D + h_k - e}; W_b^\phi = \frac{I}{e}$$

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

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

де $W = 12.33 \text{ м}^3$ (згідно 3.9).

Позначення до таблиці розрахунку:

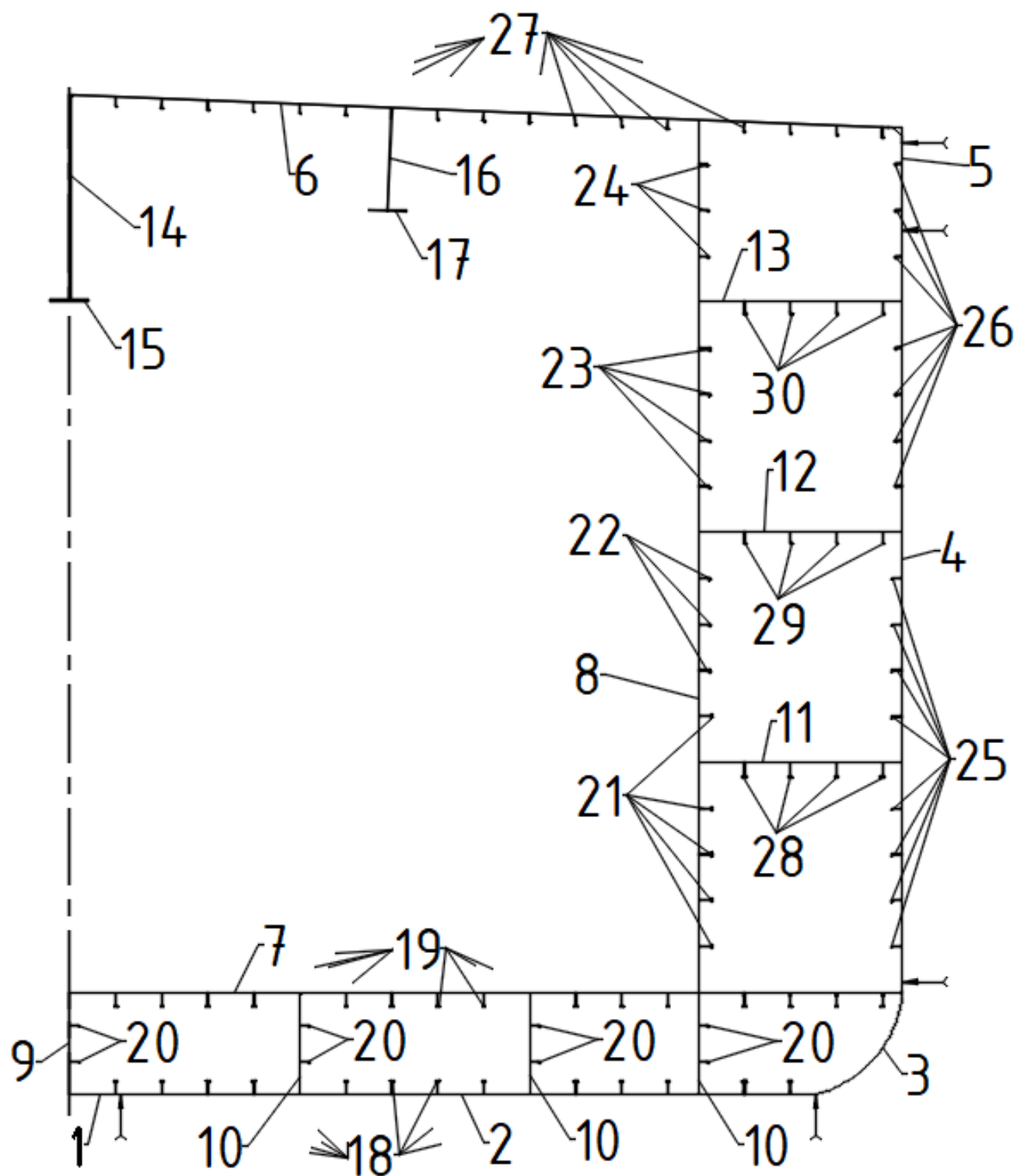
F_i - площі в'язей, см^2 ;

z_i - відстань від осі порівняння, м;

$F_i z_i$ - статичний момент площі, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$;

$F_i z_i^2$ - переносний момент інерції площі, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$;

I - власний момент інерції, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$.



№	Найменування	Товщина / Профіль	Ширина / Висота / Кількість	Fi	Zi	Fi·Zi	Fi²·Zi²	Ii	Zi·e	sigma вв	sigma пв
	Розмірність	мм	мм / шт	см²	м	см²·м	см²·м²	см²·м²	м	МПа	МПа
1	Горизонтальний кінь	19	1000	190.0	0.00	0.00	0.0	0.0	-8.85	-96.16	101.55
2	Листи днищової обшивки	17	13610	2313.7	0.01	19.67	0.2	0.0	-8.84	-96.07	101.45
3	Скуловий лист	17	2200	374.0	1.10	411.40	452.5	150.8	-7.75	-84.21	88.93
4	Листи обшивки борту	15	14700	2205.0	9.55	21057.75	201101.5	39706.5	0.70	7.57	-8.00
5	Ширстрек	20	2000	400.0	17.90	7160.00	128164.0	133.3	9.05	98.27	-103.78
6	Настил палуби	20	16313	3262.6	19.23	62726.75	1205984.4	0.0	10.37	112.68	-118.99
7	Настил другого дна	16	16300	2608.0	2.00	5216.00	10432.0	0.0	-6.85	-74.44	78.61
8	Листи обшивки подвійного борту	16	17060	2729.6	10.53	28742.69	302660.5	66202.7	1.68	18.22	-19.24
9	Вертикальний кінь (ВК)	9	2000	180.0	1.00	180.00	180.0	60.0	-7.85	-85.30	90.08
10	Днищеві стрингери (3 шт)	14	2000	840.0	1.00	840.00	840.0	280.0	-7.85	-85.30	90.08
11	Горизонтальна платформа 1	11	4000	440.0	6.50	2860.00	18590.0	0.0	-2.35	-25.56	26.99
12	Горизонтальна платформа 2	11	4000	440.0	11.00	4840.00	53240.0	0.0	2.15	23.32	-24.63
13	Горизонтальна платформа 3	11	4000	440.0	15.50	6820.00	105710.0	0.0	6.65	72.20	-76.25
14	Стінка відбійного листа	16	4000	640.0	17.55	11233.28	197166.5	853.3	8.70	94.49	-99.79
15	Поясок відбійного листа	20	750	150.0	15.54	2331.30	36233.1	0.0	6.69	72.66	-76.73
16	Стінка карлінгса	16	2000	320.0	18.30	5856.00	107164.8	106.7	9.45	102.62	-108.37
17	Поясок карлінгса	20	750	150.0	17.29	2593.65	44846.8	0.0	8.44	91.66	-96.79
18	Поздовжні балки днища	Ф27812	13	628.3	0.18	109.95	19.2	4.7	-8.68	-94.26	99.54
19	Поздовжні балки другого дна	Ф30810	15	765.0	1.79	1372.41	2462.1	6.8	-7.06	-76.67	80.97
20	Горизонтальні рж ВК та ДС	P206	8	251.2	1.00	251.20	251.2	0.0	-7.85	-85.30	90.08
21	Горизонтальні рж внутрішнього борту	Ф27812	5	241.7	4.87	1177.80	5740.6	0.0	-3.98	-43.22	45.64
22	Горизонтальні рж внутрішнього борту	P246	3	130.8	9.20	1203.36	11070.9	0.0	0.35	3.77	-3.98
23	Горизонтальні рж внутрішнього борту	P24a	4	155.2	13.25	2056.40	27247.3	0.0	4.40	47.76	-50.44
24	Горизонтальні рж внутрішнього борту	P206	3	94.2	17.30	1629.66	28193.1	0.0	8.45	91.76	-96.89
25	Горизонтальні рж зовнішнього борту	P226	8	297.6	6.50	1934.40	12573.6	0.0	-2.35	-25.56	26.99
26	Горизонтальні рж зовнішнього борту	P14a	7	98.0	14.99	1469.02	22020.6	0.0	6.14	66.66	-70.40
27	Поздовжні балки палуби	P206	16	502.4	19.10	9593.33	183184.6	2.0	10.24	111.25	-117.48
28	Поздовжні балки гориз. платформи 1	Ф27812	4	193.3	6.33	1222.75	7733.9	1.4	-2.53	-27.46	28.99
29	Поздовжні балки гориз. платформи 2	P246	4	174.4	10.86	1893.29	20553.5	1.0	2.00	21.76	-22.98
30	Поздовжні балки гориз. платформи 3	P24a	4	155.2	15.35	2382.79	36582.9	0.9	6.50	70.61	-74.56
Сума				21370.2		189184.8	2877910.3				

Відстань центру ваги еквівалентного бруса від осі порівняння:

$$e = \frac{\sum F_i \cdot Z_i}{\sum F_i} = \frac{189184.8}{21370.2} = 8.85 \text{ м.}$$

Момент інерції еквівалентного бруса відносно нейтральної осі:

$$I = 2(\Sigma(F_i \cdot Z_i^2 + I_i) - e^2 \Sigma F_i) \cdot 10^{-4} = 2 \cdot (2877910.3 - 8.85^2 \cdot 21370.2) \cdot 10^{-4} = 240.62 \text{ м}^4.$$

Момент опору днища:

$$W_b^\phi = \frac{I}{e} = \frac{240.62}{8.85} = 27.18 \text{ м}^3.$$

Момент опору верхньої палуби:

$$W_d^\phi = \frac{I}{D-e} = \frac{240.62}{18.9-8.85} = 23.95 \text{ м}^3.$$

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

$$W_d^\phi = 23.95 \text{ м}^3 > W = 12.33 \text{ м}^3; \quad W_b^\phi = 27.18 \text{ м}^3 > W = 12.33 \text{ м}^3.$$

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

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.03	Арк
Зм	Аркуш	№ документу	Підпис	Дата		

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.04			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
					Перевірка міцності пластини днища	Літ	Аркуш	Аркушів
Студент		Ратуш А.Ю.						
Консульт.		Коростильов Л.І.				НУК		
Керівник		Астахова А.О.						
Зав. кафедр.		Некрасов В.О.						

4. Перевірка міцності пластини днища.

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

4.1 Вихідні дані.

$$L_{\perp\perp} = 180.5 \text{ м};$$

$$B = 32.6 \text{ м};$$

$$D = 18.9 \text{ м};$$

$$d = 11.2 \text{ м};$$

$$U_{п.х} = 15.5 \text{ уз};$$

$$C_B = 0.785.$$

4.2 Розрахункова схема пластини днищового перекриття.

При поздовжній системі набору днища розрахунковим є прямокутне поле зовнішньої обшивки, що обмежується жорстким днищевим набором – поздовжніми ребрами жорсткості (вертикальним кілем, днищевими стрингерами) та суцільними флорами, що встановлюються через декілька шпаций. Відношення довгої сторони a поля b до короткої завжди більше одиниці – $\gamma = a/b > 1$:

Відповідно до діючих Норм міцності, розрахунок на згин такого поля обшивки (пластини) проводиться в припущенні жорсткої заділки вздовж крамок, вважаючи опорний контур жорстким (таким що не зміщується). Розрахункове навантаження приймається рівномірно розподіленим по всьому полю пластини.

У дипломній роботі приймається:

$$b = 900 \text{ мм}; a = 3b = 3 \cdot 900 = 2700 \text{ мм}; \gamma = 2700/900 = 3 > 1.$$

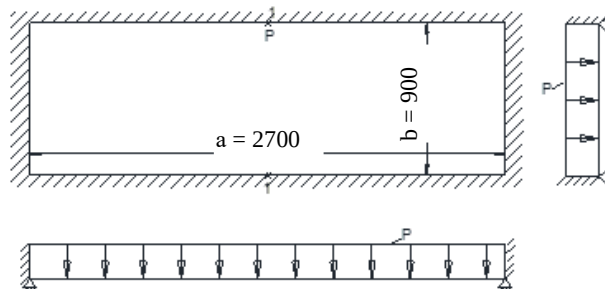


Рисунок 4.2 - Розрахункова схема пластини днища з вказаним розташування найбільш напружених точок 1 та 1'.

4.3 Розрахункове навантаження

Розрахункове навантаження p на пластину днища відповідно до Норм міцності визначається без протитиску зсередини по формулі:

$$P = P_{st} + P_{B_0},$$

де P_{st} – розрахунковий статичний тиск води;

P_{B_0} – тиск, обумовлений хитавицею на хвилюванні.

$$P = P_{st} + P_{B_0} = 112.62 + 28.23 = 140.85 \text{ кПа.}$$

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot Z_i = 1,025 \cdot 9,81 \cdot 11.2 = 112.62, \text{ кПа.}$$

$$P_{B_0} = \rho g \frac{h_1}{2} a_v a_x = 1.025 \cdot 9.81 \cdot \frac{9.36}{2} \cdot 0.6 = 28.23 \text{ кПа,}$$

де $\rho = 1.025 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$ – щільність морської води;

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

d – осадка судна на рівні поля, що перевіряється на міцність, м,

h_1 – висота розрахункової хвилі при екстремальних умовах, що визначається або за графіком Норм міцності, або за формулами:

$$h_1 = k_c \cdot C_w, \text{ м,}$$

$$k_c = 1.05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} \leq 1, \quad C_w = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{3/2} \leq 10.75,$$

$$h_1 = k_c \cdot C_w = 0.99 \cdot 9.44 = 9.36 \text{ м,}$$

$$k_c = 1.05 - \frac{2425}{L^2 + 8530} = 1.05 - \frac{2425}{180.5^2 + 8530} = 0.99 \leq 1,$$

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{300 - 180.5}{100} \right)^{3/2} = 9.44 \leq 10.75;$$

a_v, a_x – параметри хитавиці, що розраховуються за наближеними залежностями.

$$a_v = 0.8 \frac{v_0}{\sqrt{L}} \left(\frac{L}{10^3} + 0.4 \right) + 1.5,$$

$$a_x = K_x \left(1 - \frac{2x_n}{L} \right).$$

У формулах зазначених вище:

v_0 – швидкість судна на тихій воді, у вузлах;

L – довжина судна, в м;

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.04	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$x_n = 72.2$ м – відстань від центра поля пластини до носового перпендикуляра, в м.

$k_x = 1.25$ – для пластин, розташованих в ніс від миделя, і $k_x = 0.75$ – для пластин в корму від миделя.

$$a_x = k_x \left(1 - 2 \frac{x_1}{L}\right) = 0.75 \left(1 - 2 \frac{72.2}{180.5}\right) = 0.15,$$

Приймаю $a_x = 0.267$.

$$a_v = \frac{0.8V_0 \left(\frac{L}{10^3} + 0.4\right)}{\sqrt{L}} + 1.5 = \frac{0.8 \cdot 15.5 \cdot \left(\frac{180.5}{10^3} + 0.4\right)}{\sqrt{180.5}} + 1.5 = 2.035.$$

Маємо: $a_v \cdot a_x = 2.035 \cdot 0.267 = 0.543$. Результат множення $a_v \cdot a_x$ необхідно брати не менше 0.6, тому приймаємо $a_v \cdot a_x = 0.6$.

4.4 Визначення напружень у небезпечних точках поля пластини

На розрахунковій схемі (рис. 4.2) небезпечні точки 1 та 1' вказані по середині довгої сторони опорного контуру.

Відповідно до теорії згину тонких пластин максимальне нормальне напруження σ_{max} у вказаних точках визначаються за формулою:

$$\sigma_{max} = \frac{6M}{t^2} = \frac{6 \cdot 9492.26}{17^2} = 197.07 \text{ МПа},$$

в якій:

$t = 17$ мм – товщина пластини;

M – погонний момент в точках 1, 1' опорного контуру,

$$M = kpb^2 \cdot 10^{-3} = 0.0832 \cdot 140.85 \cdot 900^2 \cdot 10^{-3} = 9492.26 \text{ Н};$$

$P = 140.85$ кПа – розрахунковий тиск;

$b = 900$ мм – менший розмір пластини (шпація);

$k = 0.0832$ – коефіцієнт, що залежить від відношення довжин кромки пластини $\gamma = a/b$, $\gamma = 2700/900 = 3$, визначається по довідниковим таблицям згину ізотропних жорстких пластин при умовах жорсткого закріплення на опорному контурі.

4.5 Перевірка умов міцності та висновки

Умова міцності має вигляд:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_T^H,$$

де

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.04	Арк
Зм	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$\sigma_{max} = 197.07 \text{ МПа}$ – максимальне згинаюче напруження;

σ_m^H – нормативна границя плинності матеріалу по нормальним напруженням,
МПа:

$$\sigma_m^H = k_H \cdot R_{eH} = 0.97 \cdot 315 = 305.3 \text{ МПа},$$

$$k_H = \frac{1}{1 + 0.16 \left(\frac{R_{eH}}{235} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{1 + 0.16 \left(\frac{315}{235} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}} = 0.97,$$

де

$R_{eH} = 315 \text{ МПа}$ – границя плинності.

Якщо умова міцності не виконується, то необхідно збільшити товщину днищевої обшивки до стандартної величини, що забезпечує його виконання.

Умова міцності виконується:

$$\sigma_{max} = 197.07 \text{ МПа} < \sigma_m^H = 305.3 \text{ МПа}.$$

					24.ДРБ.135.4111.21.ПЗ.04	Арк
Зм	Аркуш	№ документу	Підпис	Дата		

Висновки

Згідно з завданням, виданим кафедрою теорії та проєктування суден, був виконан розрахунок основних елементів і характеристик танкеру класу КМ+Л42 А1 для перевезення наливних вантажів.

Виконано розрахунок елементів заданого танкеру в першому наближенні; розрахунок водотоннажності; характеристики форми корпусу; головні розміри та потужність. Визначення елементів танкеру у другому наближенні: визначено водотоннажність; уточнено головні розміри з урахуванням вимог до місткості, початкової остійності та плавності хитами; визначена потужність головного двигуна та обрана марка головного двигуна.

Також було створено 3D модель судна за допомогою програмного забезпечення Maxsurf та в системі Auto CAD побудовані теоретичне креслення та креслення загального розташування судна-проєкту.

Завдяки використанню інструментів програми Maxsurf Stability Advanced отримані гідростатичні криві та діаграма статичної остійності, виконан розрахунок місткості вантажних приміщень та цистерн, розрахунок координати центру мас та удиферентування судна. Виконана перевірка вимог класифікаційного товариства (Регістру судноплавства України) до остійності судна-проєкту та побудовано діаграму статичної остійності судна. Розраховано набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства. Обрана марка та категорія сталі, розраховано навантаження, діючих на корпус судна, було зроблено перевірку на загальну міцність корпусу. За результатами розрахунку було побудовано в середовищі Auto Cad креслення конструктивного мідель-шпангоута судна та перевірено загальну міцність судна.

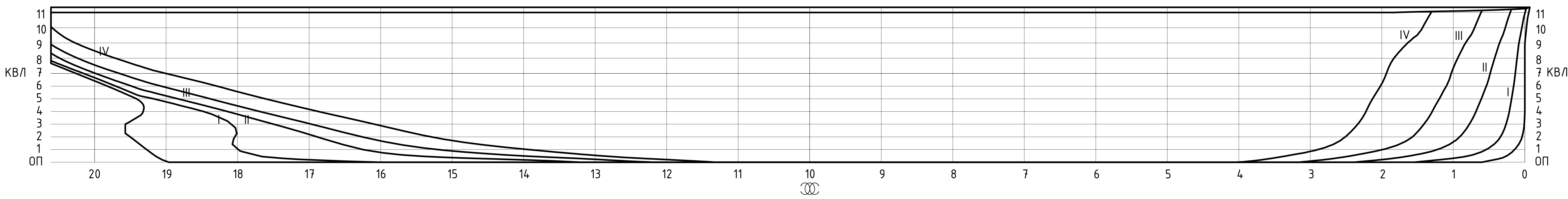
Список літератури

1. Особливості проєктування морських транспортних суден: Навчальний посібник. Частина 1/ О.В. Бондаренко, О.І. Кротов, Л.О. Матвєєв, С.О. Прокудін – Миколаїв: УДМТУ, 2004. – 73 с.
2. Правила класифікації та побудови морських суден. Регістр судноплавства України. – К., 2017. – Т.1., Т.2., Т.3. – 362 с. Правила про вантажну марку морських суден. Регістр судноплавства України. – Київ, 2003.
3. Бондаренко О.В., Кротов О.І., Сорокін В.І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Основи проєктування суден". Миколаїв: НУК, 2005. – 48 с.
4. Кротов О.І., Ільїн С.Ф., Клева Я.А. Курсове і дипломне проєктування транспортних суден: Ч.1. Методика і загальні вимоги. Методичні вказівки. – Миколаїв: НУК, 2009. – 52 с.

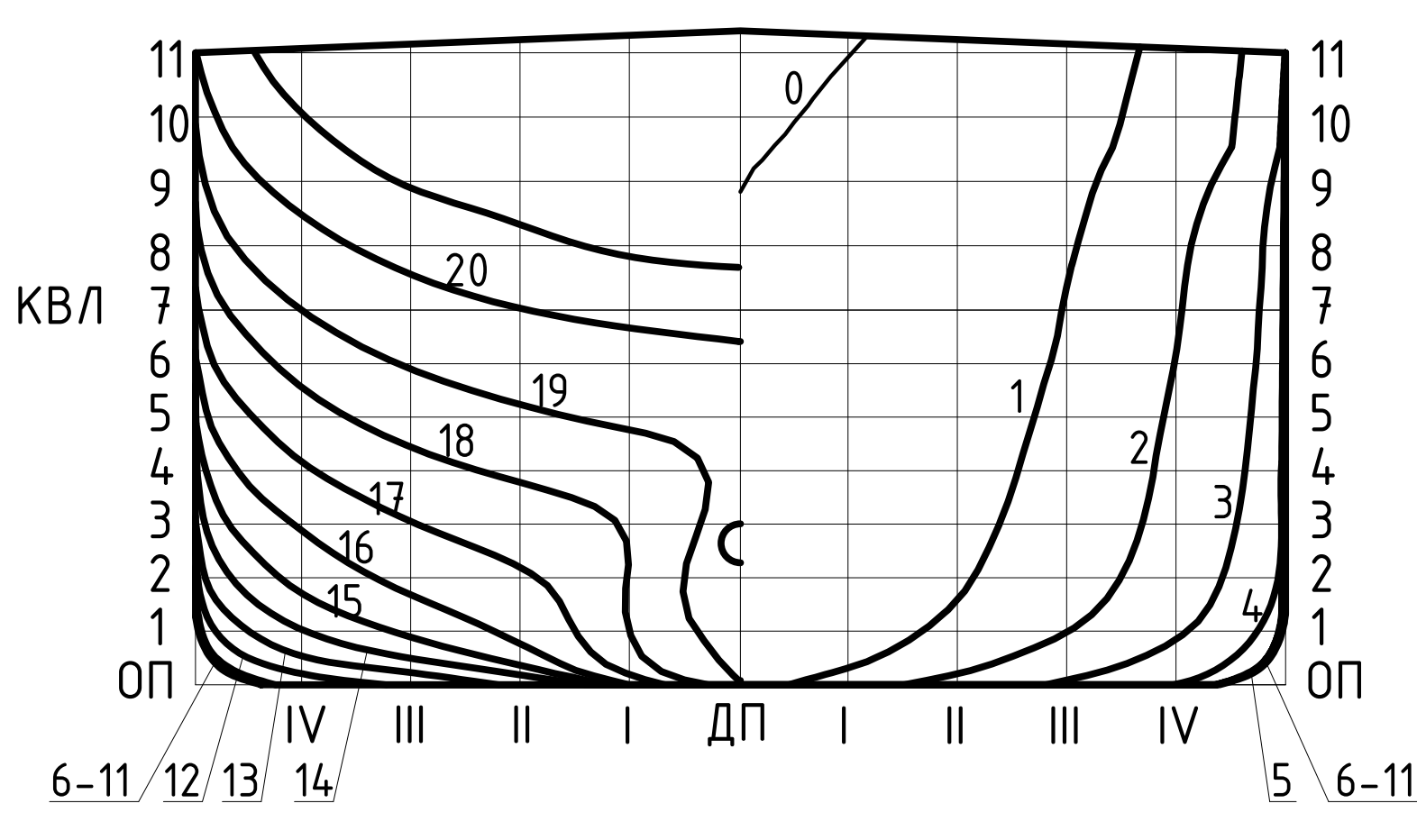
					24.БДР.135.4111.21.ПЗ.	

Додатки

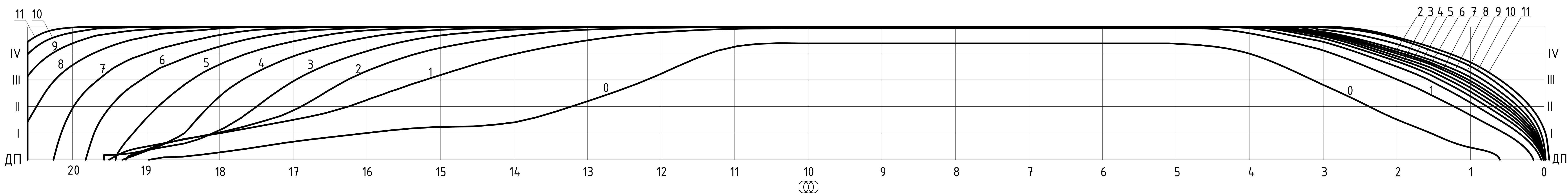
Бік



Корпус



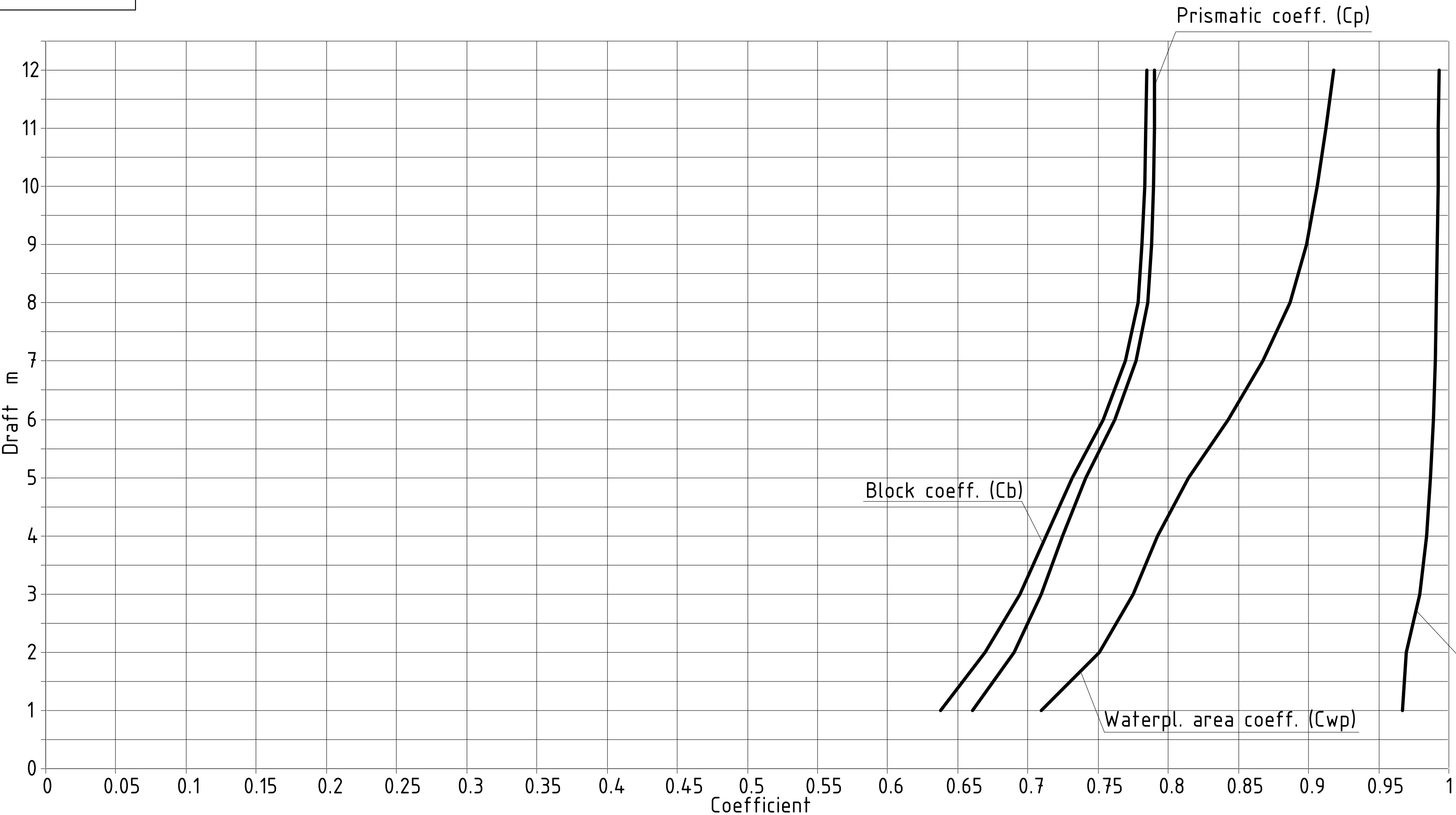
Напівширота



Головні розміри судна:
Довжина найбільша $L_{нд}=185,0$ м
Довжина між перпендикулярами $L_{пп}=180,5$ м
Ширина $B=32,6$ м
Осадка по КВЛ $T=11,2$ м
Висота борту $H=18,9$ м
Коефіцієнти
- загальної повноти $C_b=0,785$
- повноти площі ватерлінії $C_w=0,905$
- повноти площі мідель-шпангоута $C_m=0,990$

Початок координат знаходиться на носовому перпендикулярі

							24.ДРБ.135.4111.21.01				
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата							
Студент	Ратня А.Ю.						Теоретичне креслення	Лист	Маса	Масштаб	
Консульт.	Астахов А.О.									1:200	
Кордник	Астахов А.О.							Архив		Архив	
Зайков	Некрасов В.О.						Танкер $P_6=37830$ т			НУК	
										ім. адм. Макарова	



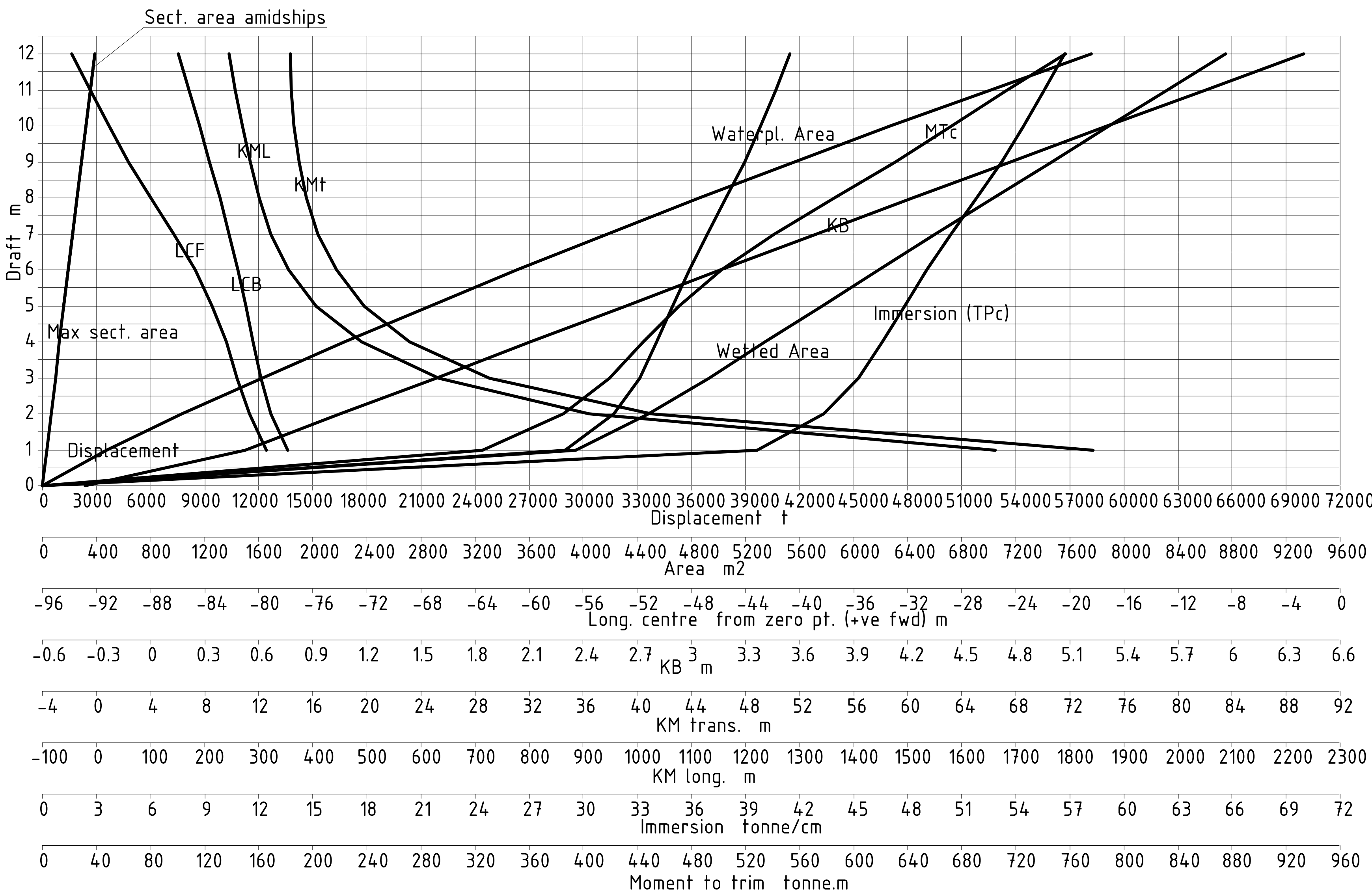
Prismatic coeff. (C_p) – коефіцієнт повздовжньої повноти

Block coeff. (C_b) – коефіцієнт загальної повноти

Max Sect. area coeff. (C_m) – коефіцієнт повноти мідель шпангоуту

Waterpl. area coeff. (C_{wp}) – коефіцієнт повноти площі ватерлінії

Початок координат знаходиться на носовому перпендикулярі



Displacement – водотонажність судна

Max sect. area – площа максимального перерізу

Sect. area amidships – площа мідель шпангоута

Wetted Area – площа змоченої поверхні

Waterpl. Area – площа по ватерлінії

LCB – абсциса центра величини

LCF – абсциса центра тяжіння площі ватерлінії

KB – апліката центра величини

KMT – апліката поперечного метacentра

KML – апліката повздовжнього метacentру

Immersion (TPC) – число тонн на 1см осадки

MTc – момент необхідний для диференту судна на 1 см

Початок координат знаходиться на носовому перпендикулярі

						24.ДРБ.135.4111.21.02			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Гідростатичні криві	Лит	Маса	Масштаб
Співдент	Ратуш А.Ю.					Танкер $P_0=37830$ т	НЧК		
Консульт.	Пашенко Ю.М.						ім. адм. Макарова		
Керівник	Астахова А.О.						Формат А1		
Заб. каф.	Некрасов В.О.								

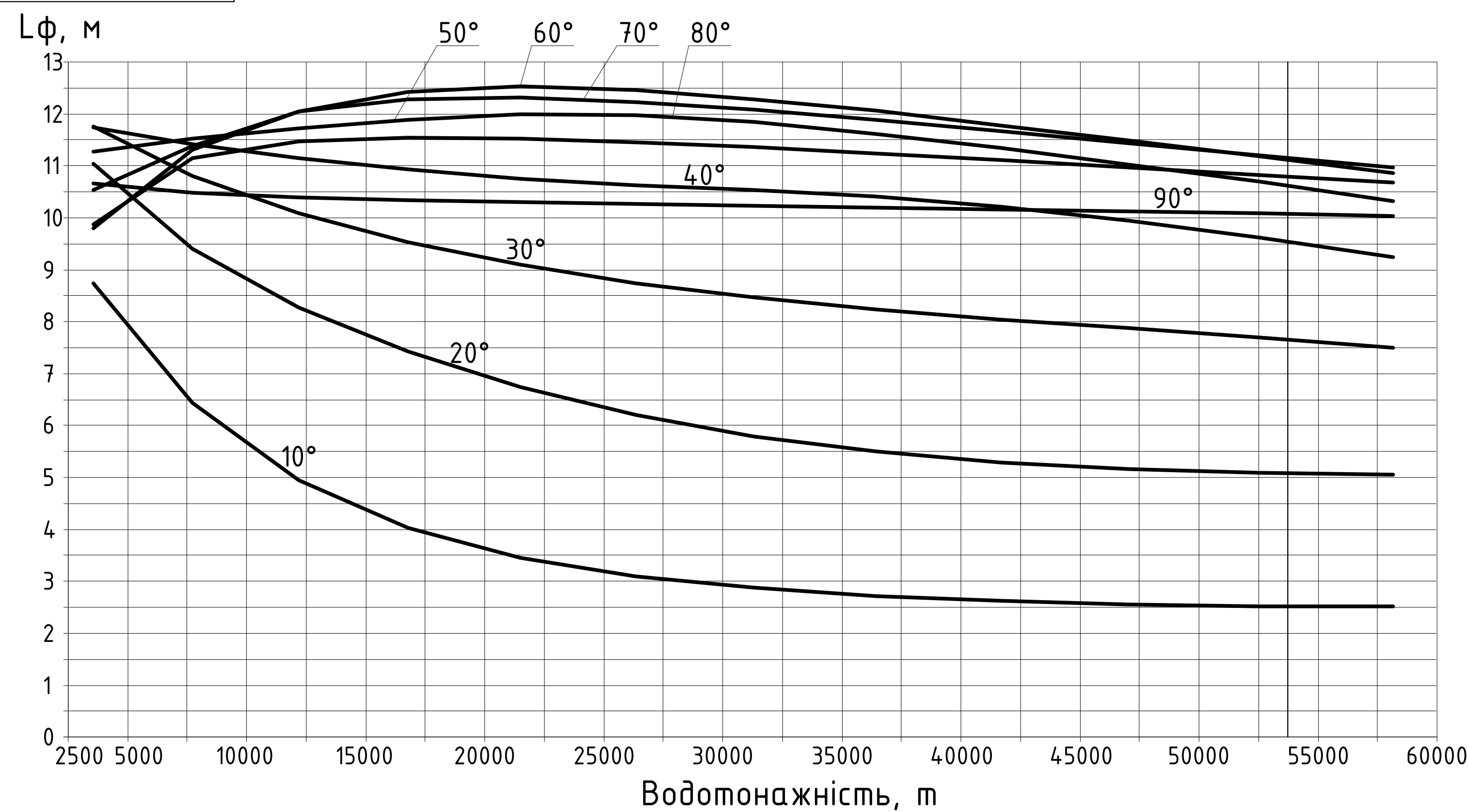


Рис.1 Плечі остійності форми

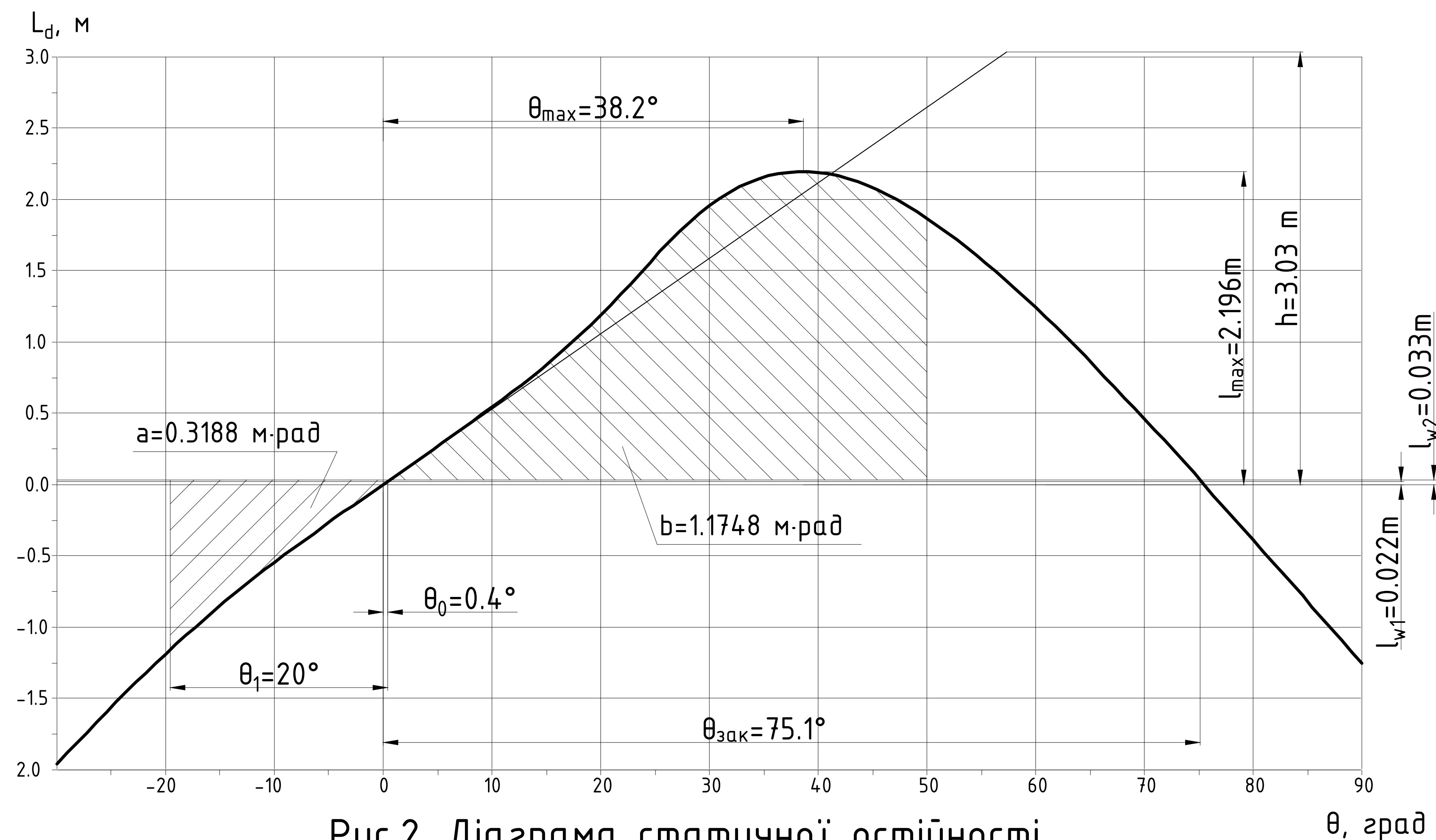


Рис.2. Діаграма статичної остійності

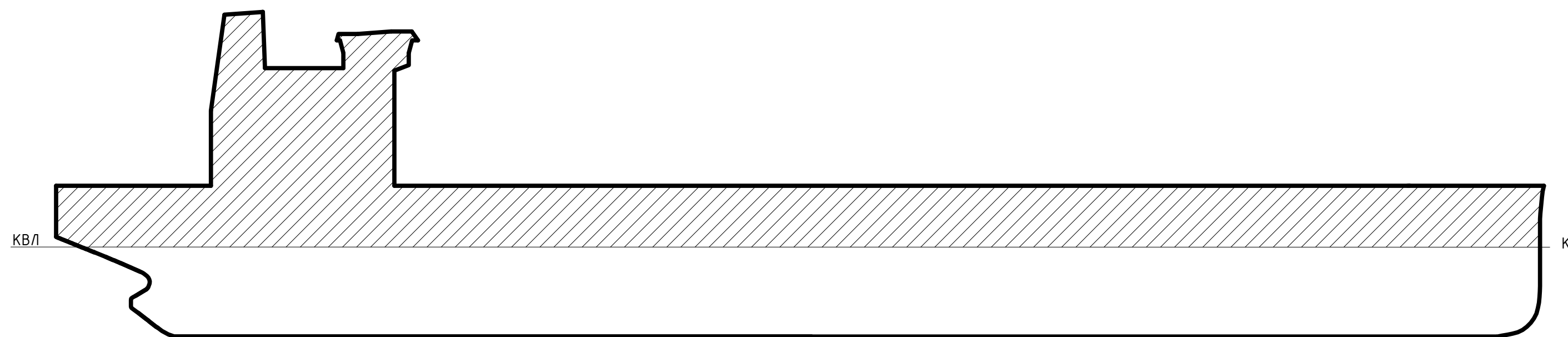


Рис.3 Схема парусності

1. Розрахунок амплітуди хитавиці :
- $$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{(r \cdot S)}$$
- $K = 1,00$ $X_1 = 0,918$ (так як $B/d = \frac{32,6}{11,2} = 2,91$) $X_2 = 1$ (так як $L/b = 0,785$)
 $Z_g = 11,384$ м
 $r = 0,73 + 0,6 \cdot (Z_g - d) / d = 0,73 + 0,6 \cdot (11,384 - 11,2) / 11,2 = 0,74$
 $c = 0,373 + 0,023 \cdot B/d - 0,043 \cdot L/100 = 0,373 + 0,023 \cdot \frac{32,6}{11,2} - 0,043 \cdot \frac{180,5}{100} = 0,362$
 $\tau = 2 \cdot c \cdot B / \sqrt{h} = 2 \cdot 0,362 \cdot 32,6 / \sqrt{3,03} = 13,6$ с
 $S = 0,055$
 $\theta_1 = 109 \cdot 1 \cdot 0,918 \cdot 1 \cdot \sqrt{(0,74 \cdot 0,055)} = 20,0^\circ$
2. Розрахунок кренувального моменту (а) в залежності від тиску повітря і перекидального моменту (b):
- $$A_v = \sum S_i = 1872,243 \text{ м}^2$$
- $$Z_B = 18,002 \text{ м}$$
- $$Z_v = Z_B - T/2 = 18,002 - 11,2/2 = 12,402 \text{ м}$$
- Тиск повітря $P_v = 504$ Па
 $g = 9,81$ м/с²
 $D = 53652$ м - водотонажність судна
 $\Delta w_1 = (P_v \cdot A_v \cdot Z_v) / (1000 \cdot g \cdot D) = (504 \cdot 1872,243 \cdot 12,402) / (1000 \cdot 9,81 \cdot 53652) = 0,0222$ м
 $\Delta w_2 = 1,5 \cdot \Delta w_1 = 1,5 \cdot 0,0222 = 0,0333$ м
3. Критерії погоди.
- $$K = b/a \geq 1$$
- $a = 0,3188$ м-рад
 $b = 1,1748$ м-рад
 $K = \frac{b}{a} = \frac{1,1748}{0,3188} = 3,685 \geq 1$

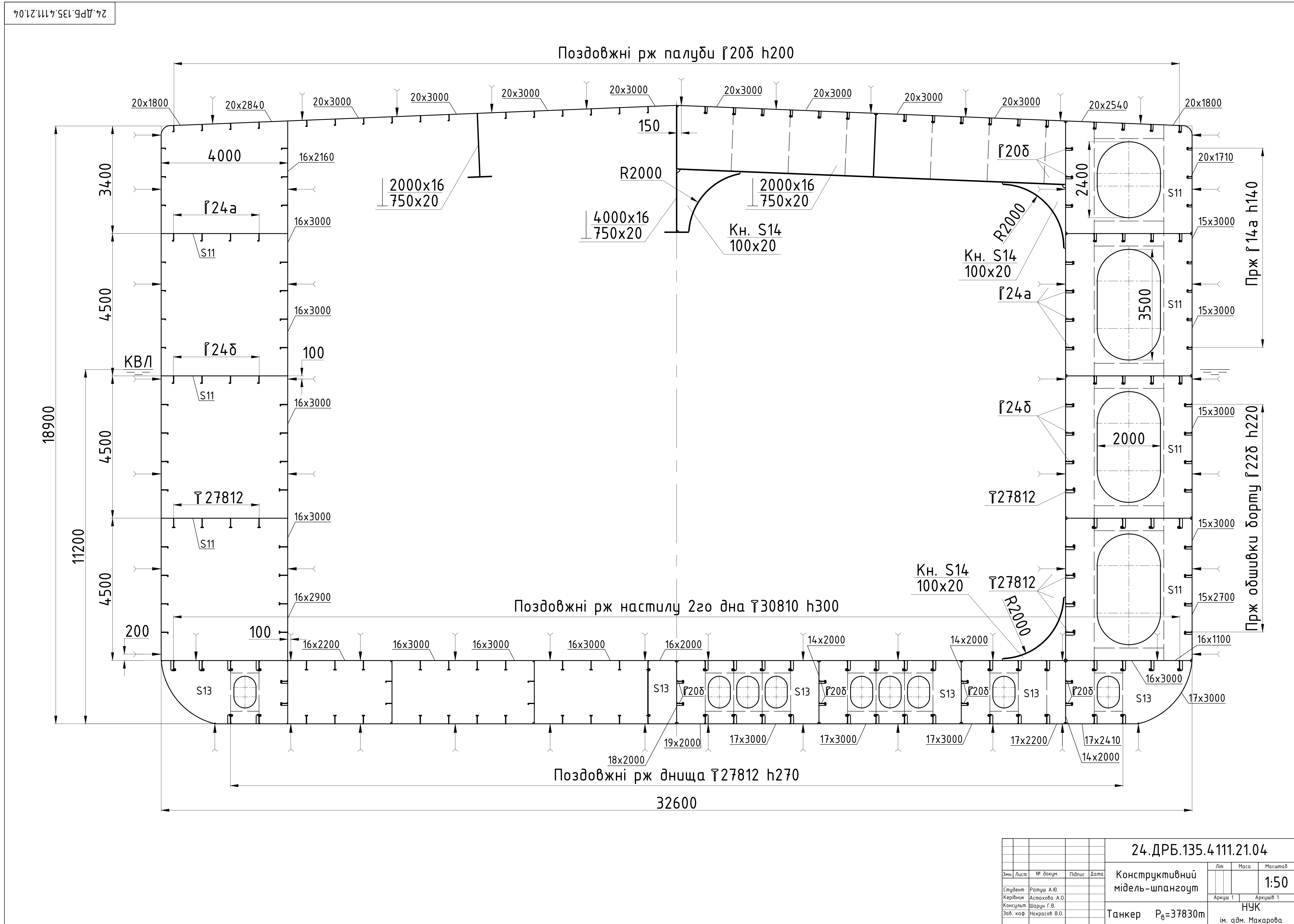
Початок координат знаходиться на носовому перпендикулярі

Згідно до вимог Правил Регістру до остійності

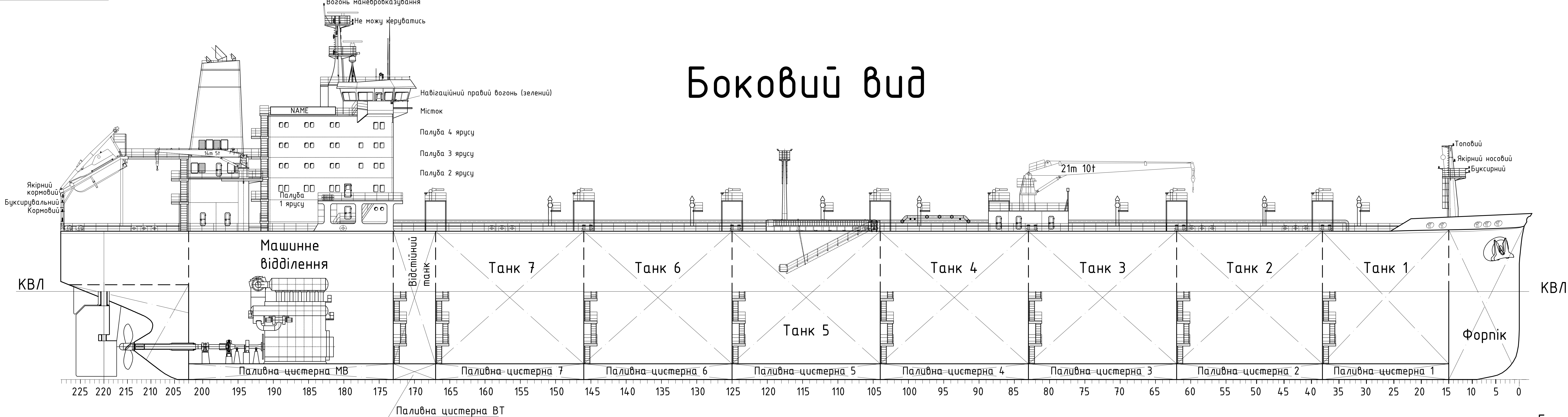
Значення	Дані судна	Регістр
K	3,685	K ≥ 1
l _{max} , м	2,196	l _{max} ≥ 0,2
θ _{max} , °	38,2°	θ _{max} ≥ 25°
θ _{ак} , °	75,1°	θ _{ак} ≥ 60°
h, м	3,03	h ≥ 0,15
S ₃₀	0,4720 м-рад	≥ 0,055 м-рад
S ₄₀	0,8434 м-рад	≥ 0,09 м-рад
S ₄₀ - S ₃₀	0,3714 м-рад	≥ 0,03 м-рад

Висновок: Спроектоване судно відповідає всім вимогам Регістру України

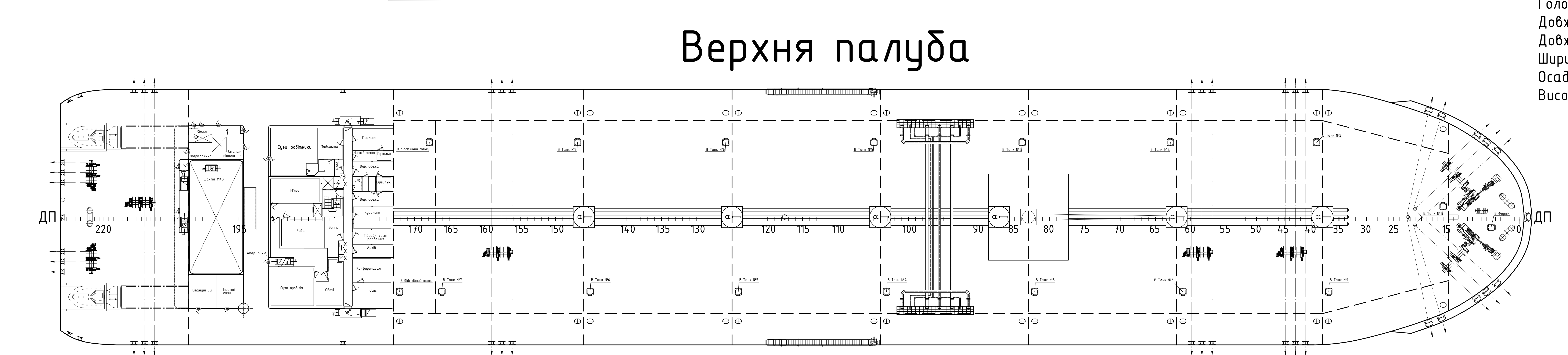
				24.ДРБ.135.4111.21.03		
				Діаграми остійності неущкодженого судна		
				Танкер P ₀ =37830 м		
				ім. адм. Макарова		
				Формат А1		



				24.ДРБ.135.4111.21.04			
				Конструктивний мідель-шпанзоут			
Эмн. лист		№ докум.		Підпис		Дата	
Студент		Ратуш А.Ю.		Літ		Маса	
Керівник		Астахова А.О.		Масштаб		1:50	
Консульт.		Шарін Г.В.		Архив 1		Архив 1	
Зав. каф.		Некрасов В.О.		Танкер $P_0=37830\text{т}$ НУК ім. адм. Макарова			



Боковий вид



Верхня палуба

Головні розміри судна:
Довжина найбільша $L_{нд}=185,0$ м
Довжина між перпендикулярами $L_{пп}=180,5$ м
Ширина $B=32,6$ м
Осадка по КВЛ $T=11,2$ м
Висота борта $H=18,9$ м

24.ДРБ.135.4.111.21.05					Загальне розташування			Лист	Маса	Масштаб
										1:200
					Танкер $P_0=37830$ т			НУК		
								ім. адм. Макарова		
								Формат 1235x535		