

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

Кафедра Суднобудування та ремонту суден

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри



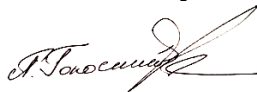
О.В. Щедролосєв

«19» грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Розробка проекту буксирного судна для використання
у внутрішніх водоймах України

Виконав: студент 6112м групи



Голосний П.І.

Керівник роботи:

доцент, к.н., доцент



Коновалова Г.В.

Херсон – 2025 р.

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

Кафедра Суднобудування та ремонту суден

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Освітня програма «Суднокорпусобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми



О.В. Щедролосєв

«17» жовтня 2025 року

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

Студенту

Голосний Павло Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка проекту буксирного судна для використання у внутрішніх водоймах України

Керівник роботи: к.н., доцент Коновалова Ганна Василівна

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

Затверджені наказом по ХННІ НУК № 20 від «17» жовтня 2025 року

2. Термін подання роботи: 05.12.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: рід робіт – для буксирування несамохідних барж; район плавання – В1; клас судна за РСУ: К(Е) + В1 буксирне судно

4. Перелік питань, що належить до розробки (найменування розділів): визначення водотоннажності та головних розмірювань; розрахунок елементів теоретичного креслення; розрахунок остійності на великих кутах крену; набір корпусу за Правилами Регістру; розрахунок повздовжньої міцності судна; розрахунок періодів хитамиці та ходовості судна; стисла специфікація за корпусною та механічною частинами; дослідження використання нових технологій на буксирах.

5. Перелік презентаційних матеріалів: теоретичне креслення; криві елементів теоретичного креслення; діаграма статичної остійності; конструктивний мідель-шпангоут; загальне розташування; демонстраційна таблиця.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
1-6	ст. викладач Соценко В.В.		17.10.2025		17.10.2025
7-8	доцент Коновалова Г.В.		17.10.2025		17.10.2025

7. Дата видачі завдання 17.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення водотоннажності та головних розмірювань	22.09.2025	
2	Розрахунок теоретичного креслення та розрахунок кривих теоретичного креслення	29.09.2025	
3	Розрахунок остійності на великих кутах крену	06.10.2025	
4	Розрахунок елементів теоретичного креслення	13.10.2025	
5	Набір корпусу за Правилами Регістру	20.10.2025	
6	Розрахунок параметрів хитавиці та ходовості судна	03.11.2025	
7	Стисла специфікація за корпусною та механічною частиною	17.11.2025	
8	Дослідження використання нових технологій на буксирах	24.11.2025	
9	Економічне обґрунтування спроектованого судна	01.12.2025	
10	Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи	05.12.2025	

Студент

П.І. Голосний

Керівник роботи

Г.В. Коновалова

АНОТАЦІЯ

У роботі розглядається процес проектування буксирного судна, призначеного для експлуатації на внутрішніх водних шляхах України. **Актуальність теми** зумовлена необхідністю оновлення технічного складу флоту внутрішнього водного транспорту, підвищення ефективності буксирних операцій, зменшення експлуатаційних витрат та впливу на довкілля. Розробка сучасного буксира сприятиме розвитку річкових перевезень, покращенню логістичних можливостей та забезпеченню сталого функціонування транспортної інфраструктури країни.

Метою роботи є створення проекту сучасного буксирного судна, адаптованого до умов експлуатації на річках, водосховищах та інших внутрішніх водоймах України, із урахуванням вимог безпеки, енергоефективності, остійності та надійності корпусу. Проект передбачає розробку буксира з невеликою осадкою, високою маневреністю, зниженим рівнем шуму і викидів, а також економічною силовою установкою.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- виконати розрахунки водотоннажності та головних розмірів буксира;
- побудувати теоретичне креслення корпусу та криві елементів плавучості;
- розрахувати остійність і непотоплюваність відповідно до вимог Регістру судноплавства України;
- розробити загальне розташування судна з урахуванням ергономіки робочих місць екіпажу та безпеки експлуатації;
- виконати конструктивний набір корпусу з використанням сучасних матеріалів і технологій зниження ваги;
- обрати тип рушійно-рульового комплексу (азимутальний, водометний або гвинто-рульовий у насадці);
- провести розрахунок потужності головних двигунів, швидкісних і маневрових характеристик;

- скласти стислу специфікацію корпусної, енергетичної та допоміжної частин;
- здійснити економічне обґрунтування проекту та оцінку будівельної вартості буксира.

Об’єктом дослідження є буксирні судна як тип транспортних засобів (службово-допоміжних суден), призначених для буксирування та маневрування в умовах внутрішніх водних шляхів (річки, канали, озера тощо).

Предметом дослідження є розробка проекту буксирного судна внутрішнього плавання, включаючи його конструктивні, енергетичні та експлуатаційні характеристики, що забезпечують ефективну та безпечну роботу в умовах внутрішніх водойм України відповідно до «Правил класифікації та побудови суден внутрішнього плавання» Регістру судноплавства України.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати роботи були представлені у доповіді на XX студентській науково-технічній конференції «Інноваційні технології в суднобудуванні та судноремонті» (12 грудня 2025 р., ХННІ НУК).

Практична значущість кваліфікаційної роботи. Результати магістерської роботи можуть бути використані при модернізації внутрішнього водного флоту України та у навчальному процесі підготовки суднобудівних інженерів.

Ключові слова: буксирне судно, внутрішні водойми, гібридна установка, проект, Правила Регістру судноплавства

ANNOTATION

This paper examines the design process for a tugboat intended for operation on Ukraine's inland waterways. The relevance of this topic stems from the need to modernise the technical composition of the inland water transport fleet, improve the efficiency of towing operations, reduce operating costs and minimise environmental impact. The development of a modern tugboat will contribute to the development of river transport, improve logistics capabilities and ensure the sustainable functioning of the country's transport infrastructure.

The aim of the work is to create a design for a modern tugboat adapted to operating conditions on rivers, reservoirs and other inland waterways of Ukraine, taking into account the requirements for safety, energy efficiency, stability and reliability of the hull. The project involves the development of a tugboat with a shallow draught, high manoeuvrability, reduced noise and emissions, and an economical power plant.

To achieve the set goal, the following tasks must be solved:

- calculate the tonnage and main dimensions of the tugboat;
- construct a theoretical drawing of the hull and buoyancy curves;
- calculate stability and unsinkability in accordance with the requirements of the Ukrainian Register of Shipping;
- develop the general layout of the vessel, taking into account the ergonomics of the crew's workplaces and operational safety;
- perform a structural design of the hull using modern materials and weight reduction technologies;
- select the type of propulsion and steering system (azimuth, water jet or propeller-steering in a nozzle);
- calculate the power of the main engines, speed and manoeuvring characteristics;
- draw up a brief specification of the hull, power and auxiliary parts;

– carry out an economic justification of the project and an assessment of the construction cost of the tugboat.

The object of the study is tugboats as a type of transport vehicle (service and auxiliary vessels) designed for towing and manoeuvring in inland waterways (rivers, canals, lakes, etc.).

The subject of the study is the development of a design for an inland waterway tugboat, including its structural, power and operational characteristics, which ensure efficient and safe operation in the conditions of Ukraine's inland waterways in accordance with the «Rules for the Classification and Construction of Inland Waterway Vessels» of the Ukrainian Register of Shipping. Approbation of research results.

The main provisions and results of the work were presented in a report at the 20th Student Scientific and Technical Conference «Innovative Technologies in Shipbuilding and Ship Repair» (12 December 2025, Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding).

Practical significance of the qualification work. The results of the master's thesis can be used in the modernisation of Ukraine's inland water fleet and in the training process for shipbuilding engineers.

Keywords: tugboat, inland waterways, hybrid installation, project, Shipping Register Rules

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Визначення водотоннажності та головних розмірювань.....	11
2. Розрахунок елементів теоретичного креслення.....	17
3. Розрахунок остійності судна на великих кутах крену.....	22
4. Набір корпусу за Правилами Регістру.....	26
5. Розрахунок періодів хитавиці та ходовості.....	40
6. Стисла специфікація судна за корпусною та механічною частинами...	44
7. Дослідження використання гібридних установок на судні.....	46
8. Економічне обґрунтування проекту. Розрахунок побудовної вартості судна.....	54
Висновки.....	62
Список використаних джерел і літератури	64

ВСТУП

На сьогодні, потрібно визнати, що український річковий флот потребує оновлення через зношеність суден, брак інвестицій та вплив повномасштабної війни РФ проти нашої держави. Актуальність розробки проєктів з проєктування буксирних суден для використання у внутрішніх водоймах України зумовлено необхідністю оновлення технічного складу флоту внутрішнього водного транспорту, підвищення ефективності буксирних операцій, зменшення експлуатаційних витрат та впливу на довкілля. Розробка сучасного буксира сприятиме розвитку річкових перевезень, покращенню логістичних можливостей та забезпеченню сталого функціонування транспортної інфраструктури країни.

В кваліфікаційній роботі передбачено розробка буксира з невеликою осадкою, високою маневреністю, зниженим рівнем шуму і викидів, а також економічною силовою установкою.

Аналогічні розробки нових проєктів буксирів дають можливість вирішити ряд ключових питань як для суднобудівного галузі так і для економіки України загалом:

- **економічна вигода:** через зниження витрат на логістику – це в свою чергу сприятиме експорту продукції (наприклад, Україна є ключовим постачальником зерна, рослинної олії тощо). Сучасні дизайни буксирів представлені з кращою маневреністю, меншим споживанням палива та адаптацією до мілководдя;

- **стратегічна важливість:** незалежність від морських шляхів, внутрішній транспорт стає альтернативним шляхом для експорту, інтегрує Україну в європейські транспортні коридори (наприклад, Дніпро, Дунай);

- **екологічна сталість:** судна внутрішнього водного транспорту є порівняно екологічним транспортом (наприклад, порівняно з автотранспортом). Впровадження екологічних двигунів дозволяє зменшити викиди CO₂, а тому,

зокрема, сприяє цілям Європейського Союзу щодо розвитку та підтримки зеленої логістики.

➤ **інновації та робочі місця:** створення проєктів суден внутрішнього водного транспорту стимулює суднобудування.

РОЗДІЛ 1 ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ РОЗМІРЮВАНЬ

1.1 Основні технічні характеристики судна-прототипу

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики судна-прототипу

Основні технічні характеристики	Поз.	Прототип
Довжина максимальна, м	L _{max}	23.11
Довжина між перпендикулярами, м	L _{пп}	22.11
Ширина, м	B	7.10
Висота борту, м	D	2.75
Осадка, м	d	1.50
Водотоннажність, т	Δ	150
Коефіцієнт загальної повноти	C _в	0.817
Коефіцієнт повноти мідель – шпангоуту	C _м	0.828
Коефіцієнт повноти вантажної ватерлінії	C _в	0.913
Експлуатаційна швидкість, вуз	V _е	12
Дальність плавання, милі	R	450
Потужність головного двигуна, кВт	Ne	600
Діаметр гребного гвинта, м	d _в	0.90
Кількість екіпажу, чол.	N _{ек}	5
Маса корпусу, т	P _к	60.00
Маса обладнання, т	P _{об}	25.00
Маса енергетичної установки, т	P _{еу}	35.00
Маса постачання, т	P _{пост}	5.00
Маса палива, т	P _п	20.00
Маса вантажу, т	P _в	5.00
Район плавання	-	Внутр. Водойм.

1.2 Визначення водотоннажності судна та потужності головного двигуна в нульовому наближенні

Водотоннажність судна в нульовому наближенні Δ_0 визначається за

формулою [1]:
$$\Delta_0 = \frac{P_e}{\eta_e}, \quad (1.1)$$

де P_e – маса вантажу, який перевозиться.

η_b – коефіцієнт водотоннажності за чистою вантажопідйомністю

$$\eta = \frac{P}{\Delta},$$

де $\bar{P}_B$ – маса вантажу судна-прототипу; $\bar{P} = 5.00$ т;

$\bar{\Delta}$ – водотоннажність судна-прототипу = 150.00 т;

$$\eta = 5/150 = 0.033$$

Таким чином: $\Delta_B = 6/0.033 = 181,81$ т.

Потужність головного двигуна в нульовому наближенні визначається за формулою [1]:

$$N_0 = \frac{\Delta_0^{2/3} \cdot V_e^3}{C_N}, \quad (1.2)$$

де V_e – експлуатаційна швидкість ходу судна, вуз; $V_e = 12$ вуз.

C_N – адміралтейський коефіцієнт, який приймається за прототипом [1]:

$$C_N = \frac{\bar{\Delta}^{2/3} \cdot \bar{V}_e^3}{\bar{N}_e} = \frac{150^{2/3} \cdot 12^3}{600} = 81,32,$$

тоді:

$$N_0 = \frac{181,81^{2/3} \cdot 12^3}{81,32} = 685 \text{ кВт},$$

1.3 Визначення водотоннажності судна в першому наближенні

Значення водотоннажності та інших елементів судна можуть бути знайдені шляхом складання рівняння мас, яке має вигляд [1]:

$$\Delta = P_K + P_{об} + P_{ey} + P_n + P_{пост} + P_{зв} + P_v, \quad (1.3)$$

де Δ – масова водотоннажність, т;

P_K – маса за розділом «Металевий корпус»;

$P_{об}$ – маса за розділом «Обладнання»;

P_{ey} – маса за розділом «Енергетична установка»;

P_n – маса за розділом «Паливо»;

$P_{пост}$ – маса за розділом «Постачання»;

$P_{зв}$ – маса за розділом «Запас водотоннажності»;

$P_в$ – маса за розділом «Вантаж».

У першому наближенні всі розділи навантаження проекту виразимо у вигляді функції водотоннажності, після чого рівняння (1.4) матиме вигляд:

$$\Delta = a_k \cdot \Delta + a_{об} \cdot \Delta^{2/3} + a_{ey} \cdot \Delta^{2/3} + a_{пост} \cdot \Delta + a_n \cdot \Delta^{2/3} + a_{зв} \cdot \Delta + P_в \quad (1.3)$$

де a_k – вимірник маси металевого корпусу;

$a_{об}$ – вимірник маси обладнання;

a_{ey} – вимірник маси енергетичної установки;

a_n – вимірник маси палива;

$a_{пост}$ – вимірник маси постачання;

$a_{зв}$ – вимірник маси запасу водотоннажності.

1.3.1 Вимірники маси за розділами розраховуються за даними судна-прототипу за допомогою таблиці Excel:

Таблиця 1.2 – Вихідні дані судна-прототипа

$\Delta=$	150	т	Вагова водотоннажність
$P_{г=}$	5.00	т	Вантажопід'ємність
$N=$	600	кВт	Потужність СЕУ
$V_{с=}$	12	вузл.	Швидкість ходу
$L=$	22.11	м	Довжина по КВЛ
$B=$	7.10	м	Ширина по КВЛ
$D=$	2.75	м	Висота борту
$d=$	1.50	м	Осадка по КВЛ

Таблиця 1.3 – Обчислені дані судна, що проєктується

$P_{г=}$	5.0	т	$V =$	12	вуз
$\eta_{гp=}$	0,033		$C =$	81.32	
$\Delta 0=$	181.1	т	$V =$	212	вуз
$\mu_{гp} =$	6	т	$N =$	685	кВт

Таблиця 1.4 – Обчислення вимірників і мас судна, що проєктується

Розділ	Маса IV·VI	Множник	Вимірник	Значення
II	III	IV	V	VI
$P_{к=}$	72	D	$a_{к}$	0,203
$P_{об} =$	30	$D2 \square 3$	$a_{у}$	0,571
$P_{еу} =$	42	$D2 \square 3$	$a_{с}$	0,182
$P_{пос} =$	6	$D2 \square 3$	$a_{зу}$	0,778
$P_{пал=}$	25	$D2 \square 3$	$a_{эл}$	0,451
$P_{в==}$	6	$\eta_{г}$		0,279
$\Delta =$	181			0,58

V_s – швидкість судна-прототипу під час випробувань:

$$V_g = V_e + 0,5, \quad V_s = 12 + 0,5 = 12.5 \text{ вуз.}$$

N_{es} – потужність головного двигуна судна-прототипу під час випробувань;

$$N_{es} = N_e \cdot 1,1 = 685 \cdot 1,1 = 753.5 \text{ кВт.}$$

Визначимо відношення головних розмірів судна-прототипу:

$$\frac{L_{nn}}{B} = \frac{22.11}{7.10} = 3.11; \quad \frac{B}{d} = \frac{7.10}{2.50} = 2.84; \quad \frac{D}{d} = \frac{2.75}{1.50} = 1.83;$$

1.4 Визначення головних розмірювань та їх співвідношень

1.4.1 Відношення висоти борту до осадки

Відношення висоти борту до осадки у значній мірі впливає на об'єм вантажних приміщень, непотоплюваність і остійність. У першому наближенні приймаємо його за прототипом:

$$(D/d) = 1.83$$

1.4.2 Відношення ширини судна до осадки

Відношення ширини судна до осадки приймаємо за прототипом:

$$\frac{B}{d} = \frac{B'}{d'} = 2.84.$$

1.4.3 Відношення довжини до ширини

Відношення довжини до ширини (L/B) знайдемо з умови ходовості (за формулою плавучості) за допомогою відносної довжини l

$$\frac{L}{B} = \sqrt{\frac{l_1^3 \cdot C_{B1} \cdot K_{вч} \cdot \phi_{мв}}{B/d}}, \quad (1.6)$$

де $l_1 = 6.60$ – відносна довжина судна;

$$l = \left(2 + \frac{5}{\sqrt[3]{\Delta}}\right) \cdot V_s^{1/3} = \left(2 + \frac{5}{181^{1/3}}\right) \cdot 12^{1/3} = 6.60$$

$C_{B1} = 0.817$ – коефіцієнт загальної повноти;

$K_{вч} = 1.01$ – коефіцієнт, який враховує виступаючі за обводи теоретичного креслення частини корпусу (скулові кілі, зовнішню обшивку, руль, гвинт тощо);

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

$B/d = 2.84$ за прототипом;

визначимо відношення L/B за формулою

$$\frac{L}{B} = \sqrt{\frac{6.60^3 \cdot 0.817 \cdot 1.01 \cdot 1.025}{2.84}} = 9.25$$

якщо $L = 22.1$, то

$$B = \frac{L}{4.155} = \frac{22.1}{2.84} = 7.78 \text{ м},$$

тоді визначаємо осадку

$$d = \frac{B}{2.84} = \frac{7.78}{2.84} = 2.74 \text{ м}.$$

через відношення $\frac{D_1}{d_1}$ прототипу, за формулою

$$\frac{D}{d} = (1.07 \cdot 1.8 \cdot a_v + 0.16) \cdot \frac{D_1}{d_1}$$

визначимо $\frac{D}{d}$ для судна, що проектується

$$\frac{D}{d} = (1.07 \cdot 1.8 \cdot 0.279 + 0.16) \cdot 1.83 = 1.28$$

Де $a_v = 0.279$ – вимірник мас вантажу,

тоді висота борту судна, що проектується визначиться так

$$D = d \cdot 1.28 = 1.5 \cdot 1.28 = 1.92 \text{ м}.$$

1.4.4 Головні розмірювання

Маючи значення відношень головних розмірювань і водотоннажності в першому наближенні, вирішимо рівняння плавучості [1]:

$$\Delta_1 = K_{\phi} \cdot \phi \cdot C_{B_1} \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot d_1. \quad (1.7)$$

$$\Delta_1 = 181.0 \text{ т}$$

Таким чином, маємо у першому наближенні:

$$L_1 = 22.11 \text{ м};$$

$$B_1 = 7.78 \text{ м};$$

$$d_1 = 1.50 \text{ м};$$

$$D_1 = 1.92 \text{ м}.$$

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ

2.1 Розробка теоретичного креслення

Процес проектування судна розпочинається зі створення теоретичного креслення, що відображає поверхню корпусу майбутнього судна та надає узагальнену характеристику його форми. Теоретичне креслення є необхідним для виконання розрахунків елементів корпусу та визначення основних морехідних властивостей – плавучості, остійності, ходових якостей, непотоплюваності, а також для подальшої розробки конструктивної документації.

Розробка теоретичного креслення суховантажного судна здійснювалася із застосуванням програм DELFTship, Rhinoceros та AutoCAD. Для формування корпусу було використано прототип, який найбільш відповідає проектуваному судну за співвідношенням головних розмірів.

Математична модель корпусу була побудована за допомогою комп'ютерної програми.

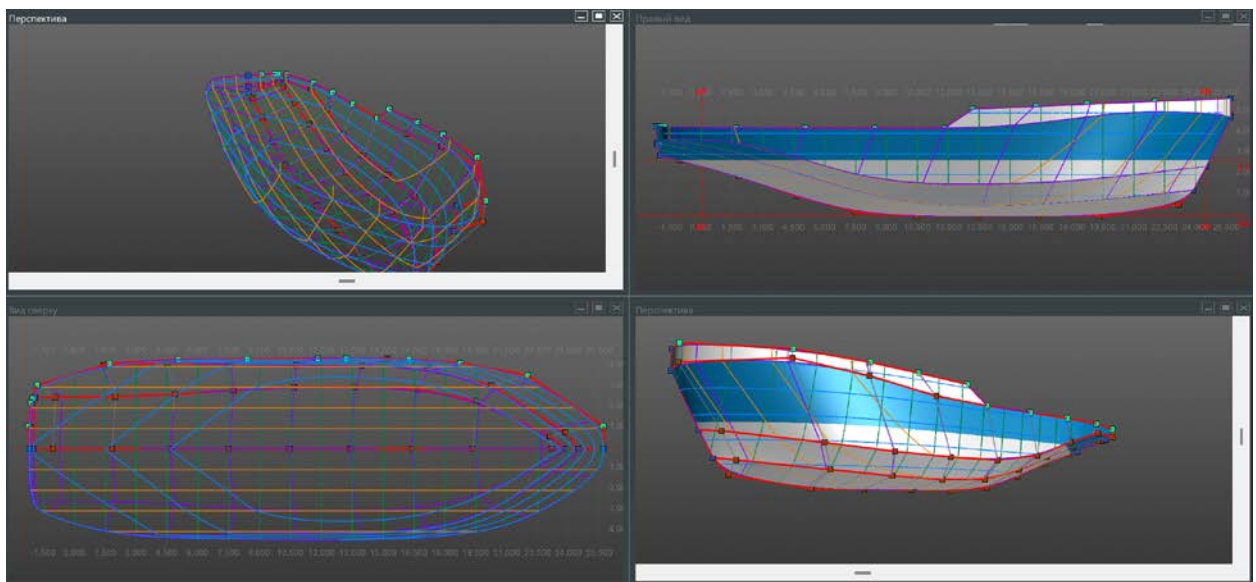


Рис. 2.1 – Суховантажне судно, що проектується

за допомогою програми DELFTship

DELFTship – це програмне забезпечення, призначене для тривимірного моделювання корпусу судна та оцінки його стійкості. Система створена на

основі сучасних технологій, що дає змогу отримувати всі необхідні розрахункові дані безпосередньо з побудованої моделі.

Основні можливості DELFTship включають:

DELFTship Free – це безкоштовна версія програмного забезпечення, що дозволяє виконувати моделювання форми корпусу судна. Вона вирізняється зручним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, містить базу даних моделей, забезпечує використання простих 3D-інструментів для проєктування та надає гідростатичні характеристики.

Розрахунок у програмі полягає у визначенні табличного значення базисного надводного борту з подальшим внесенням поправок, які враховують відхилення геометричних параметрів проєктованого судна від стандартних.

2.3. Розрахунок кривих елементів теоретичного креслення

Для розробленого теоретичного креслення корпусу суховантажного судна були виконані розрахунки його основних елементів. До складу розрахунків входило визначення стандартних характеристик зануреного об'єму та робочої ватерлінії. На основі отриманих результатів побудовано криві елементів теоретичного креслення, що відображені на відповідному кресленні.

Отчет по гидростатике проекта

Demo tug

Разработчик

Автор Marven

Примечание Demo tug used in the FREE!ship manual Displ. 283 t

Имя файла DELFTship demo tug.fbm

Проектная длина	22,099 м	Положение миделя	11,050 м
Длина модели плавучести	25,176 м	Плотность воды	1,0250
Проектная ширина	7,779 м	Средняя толщина обшивки	0,0000 м
Максимальная ширина	7,780 м	Добавочный коэффициент	1,0000
Проектная осадка	1,499 м		

Свойства объема		Свойства плоскости ВЛ	
Теор. объем	122,143 м ³	Длина по ватерлинии	23,189 м
Общий вытесненный объем	122,143 м ³	Ширина по ватерлинии	7,443 м
Водоизмещение	125,197 t	Особые точки и проёмы	55,9 Вращать фрагмент на 1 градус вправо.
Блокирующий коэффициент	0,4722	Площадь ватерлинии	132,62 м ²
Призматический коэффициент	0,5862	Козфф. полноты ватерлинии	0,7684
Верт. призматич. коэффициент	0,6146	ЦТ плавающего тела в плоскости ВЛ	10,726 м
Площадь смоченной поверхности	153,98 м ²	Поперечный момент инерции	496,571 м ⁴
Продольный центр водоизмещения	11,803 м	Продольный момент инерции	3979,470 м ⁴
Продольный центр водоизмещения	3,251 %		
Вертикальный центр водоизмещения	0,939 м		
Общая длина погруженного копуса	23,189 м		
Общая ширина погруженного корпуса	7,443 м		

Свойства миделя		Начальная остойчивость	
Площадь миделя	8,99 м ²	Поперечн. метацентрическая высота	5,005 м
Контур	0,8056	Продольная метацентрическая высота	33,520 м

Поперечная плоскость	
S дп	26,50 м ²
Продольный центр бокового сопротивления	12,068 м
Вертикальный центр бокового сопротивления	0,839 м

Следующие свойства слоя вычислены для обеих сторон судна

Положение	Площ	Толщина	Вес	Прод. ЦТ	Поперечн. ЦТ	Верт. ЦТ
	м ²	м	t	м	м	м
Topside	10,13	0,000	0,000	17,355	0,000 (CL)	2,810
Side	70,64	0,000	0,000	13,264	0,000 (CL)	1,857
Lower side	52,82	0,000	0,000	9,837	0,000 (CL)	1,027
Bottom	106,36	0,000	0,000	8,888	0,000 (CL)	0,588
Всего	239,95		0,000	0,000	0,000 (CL)	0,000

Площади сечений									
Положение	Площ	Положение	Площ	Положение	Площ	Положение	Площ	Положение	Площ
м	м ²	м	м ²	м	м ²	м	м ²	м	м ²
-1,353	0,00	4,059	3,19	9,471	8,64	14,883	8,38	20,295	2,46
0,000	0,11	5,412	5,05	10,824	8,96	16,236	7,59	21,648	0,45
1,353	0,63	6,765	6,71	12,177	8,99	17,589	6,28	23,001	0,00
2,706	1,65	8,118	7,91	13,530	8,81	18,942	4,48		

Гидростатика

Плотность воды : 1,0250

Дифферент: 0,000 м

Осадка	Водоизм. FW	В/изм.	ПЦВ	ВЦВ	ПЦВ	KMt	KMI	MCT	TrCm
м	t	t	м	м	м	м	м	t*m/cm	t/cm
0,000	0,000	0,000	11,608	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
0,100	0,617	0,632	12,735	0,069	0,000	4,393	131,580	0,04	0,139
0,200	2,802	2,872	12,697	0,137	0,000	8,419	87,755	0,11	0,313
0,300	6,765	6,934	12,682	0,206	0,000	11,738	69,402	0,22	0,497
0,400	12,237	12,543	12,679	0,271	0,000	9,962	58,868	0,33	0,617
0,500	18,721	19,189	12,662	0,333	0,000	8,524	51,697	0,45	0,709
0,600	26,042	26,693	12,622	0,394	0,000	7,689	46,237	0,55	0,790
0,700	34,126	34,980	12,561	0,455	0,000	7,233	42,043	0,66	0,867
0,800	42,962	44,036	12,486	0,516	0,000	7,006	39,096	0,77	0,945
0,900	52,562	53,876	12,403	0,577	0,000	6,807	37,112	0,89	1,021
1,000	62,825	64,396	12,315	0,638	0,000	6,377	35,693	1,02	1,082
1,100	73,659	75,500	12,223	0,699	0,000	5,975	34,647	1,16	1,138
1,200	85,028	87,153	12,126	0,759	0,000	5,643	33,911	1,31	1,192
1,300	96,924	99,347	12,024	0,819	0,000	5,378	33,479	1,47	1,247
1,400	109,356	112,090	11,916	0,880	0,000	5,168	33,357	1,65	1,302
1,500	122,342	125,401	11,802	0,940	0,000	5,003	33,524	1,85	1,360

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Осадка (и все другие вертикальные высоты) измеряется от базы Z = 0,000.

Примеч. 2: Все вычисленные коэффициенты основаны на реальных размерах погруженного тела.

Обозначения

Осадка	Теоретическая осадка, измеренная от базовой линии
Водоизм. FW	Водоизмещение в пресной воде
В/изм.	Водоизмещение
ПЦВ	Продольный центр водоизмещения, замеренной по перпендикуляру к корме на X=0,0
ВЦВ	Вертикальный центр водоизмещения
ПЦВ	Поперечный центр водоизмещения
KMt	Поперечн. метацентрическая высота
KMI	Продольная метацентрическая высота
MCT	Момент для изм. дифферента на одну единицу
TrCm	Вес для изменения проницаемости на одну единицу



Рис. 2.2 – Площини шпангоутів по довжині судна

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСТІЙНОСТІ СУДНА НА ВЕЛИКИХ КУТАХ КРЕНУ

Метою розрахунку є перевірка відповідності характеристик остійності судна вимогам Правил Регістру судноплавства України [3].

Відповідно частині IV «Остійність» Правил Регістру остійність суден необмеженого району плавання вважається за критерієм погоди K достатньою, якщо:

1) судно перебуває під дією вітру постійної швидкості, який направлений перпендикулярно до діаметральної площини судна і якому відповідає плече вітрового моменту, що кренить, l_{w1} (рис. 3.1);

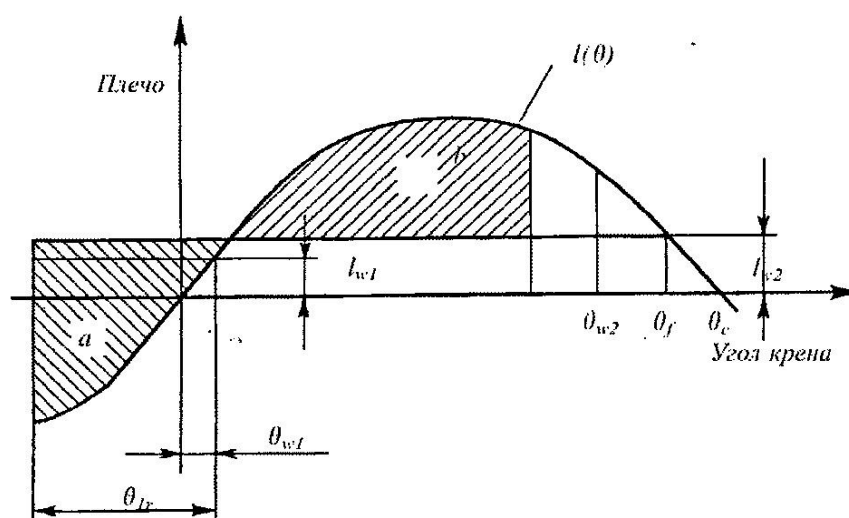


Рис. 3.1 – Діаграма статичної остійності судна

2) від статичного кута крену θ_{w1} , спричиненого постійним вітром і такого, що відповідає першій точці перетину горизонтальної прямої l_{w1} з кривою відновлюючих плеч $l(\theta)$, під дією хвиль судно крениться на борт під вітром на кут, який дорівнює амплітуді бортової хитавиці θ_{1r} ;

3) на судно, яке нахилилося, динамічно діє порив вітру, якому відповідає плече моменту, який кренить l_{w2} ;

4) розраховуються і порівнюються площі a і b , які заштриховані на рис. 3.1. Площа b обмежена кривою $l(\theta)$ відновлюючих плеч, горизонтальною прямою,

яка відповідає плечу l_{w2} моменту, який кренить, і кутом крену $\theta_{w2} = 50^0$; або кутом заливання θ_f , або кутом крену θ_c , що відповідає точці другого перетину прямої l_{w2} з кривою відновлювальних плечей, в залежності від того, який з цих кутів менше. Площа **a** обмежена кривою відновлюючих пліч, прямою l_{w2} і кутом крену, який дорівнює $\theta_1 - \theta_{1r}$;

5) остійність судна за критерієм погоди $K = b/a$ вважається достатньою, якщо площа **b** дорівнює або більша площі **a**, або $K \geq 1$. Правила рекомендують приймати цю величину не менше 1,5;

6) статичний кут крену θ_{w1} від дії постійного вітру не повинен перевищувати 16^0 , або кут, що дорівнює 0,8 кута входу у воду кромки відкритої палуби, в залежності від того, який з них менший.

7) h_0 – початкова метацентрична висота, що характеризує кут нахилу дотичної до початкової гілки діаграми.

3.1 Побудова діаграми статичної остійності

Діаграма статичної остійності (ДСО) – це графік залежності відновлюючого моменту від кута крену (рис. 3.1). Її основні характеристики:

l_{max} – максимальне плече статичної остійності;

θ_{max} – кут максимуму діаграми;

θ – кут заходу діаграми, що відповідає умові $l_{cm} = 0$;

h_0 – початкова метацентрична висота.

В магістерській роботі перевірка остійності виконується для випадку:

- судно у повному вантажу зі 100% запасів.

Пантокарені будуємо за даними таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для побудови Пантокаренів

	0.0°	2.0°	5.0°	10.0°	15.0°	20.0°	30.0°	40.0°	50.0°	60.0°	70.0°	80.0°	90.0°
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.000	0.000	0.366	0.821	1.449	1.988	2.389	2.772	2.911	2.928	<->	<->	<->	<->
20.000	0.000	0.293	0.728	1.336	1.801	2.170	2.665	2.894	<->	<->	<->	<->	<->
30.000	0.000	0.261	0.658	1.247	1.691	2.047	2.581	<->	<->	<->	<->	<->	<->
40.000	0.000	0.248	0.613	1.170	1.611	1.964	2.512	<->	<->	<->	<->	<->	<->
50.000	0.000	0.239	0.579	1.102	1.546	1.903	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
60.000	0.000	0.227	0.552	1.049	1.491	1.854	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
70.000	0.000	0.215	0.528	1.007	1.443	1.813	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
80.000	0.000	0.204	0.506	0.973	1.401	1.777	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
90.000	0.000	0.195	0.485	0.945	1.366	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
100.00	0.000	0.187	0.468	0.921	1.337	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
110.00	0.000	0.181	0.453	0.900	1.313	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
120.00	0.000	0.177	0.442	0.881	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->
125.00	0.000	0.175	0.437	0.873	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->	<->

Таблиця 3.2 – Плечі статичної та динамічної остійності

$\theta, \text{град}$	$\sin \theta$	l_f	$l_{cm} = l_f \cdot Z_g \cdot \sin \theta$	Σl_{cm}	$L_d = d\theta/2 \cdot \Sigma l_{cm}$
0	0	0	0	0	0
10	0,174	1,494	0,12	0,12	0,011
20	0,342	2,992	0,27	0,51	0,044
30	0,5	4,5	0,41	1,19	0,103
40	0,643	5,991	0,48	2,08	0,181
50	0,766	7,491	0,45	3,01	0,262
60	0,866	8,991	0,3	3,76	0,327
70	0,94	9,654	0,03	4,09	0,356
80	0,985	10,102	-0,29	3,83	0,333

3.2 Перевірка остійності за вимогами Правил Регістру

3.2.1 Вимоги Правил регістру до діаграми статичної остійності

Діаграма статичної остійності повинна відповідати наступним вимогам Регістру:

- кут закату діаграми повинен бути не менше 60^0 (для судна, яке проєктується кут закату 88^0);
- кут максимуму діаграми повинен бути не менше 30^0 (для судна, що проєктується кут максимуму діаграми складає 54^0);
- максимальне плече діаграми статичної остійності повинне бути не менше 0,2 при куті крену $\theta_m \geq 30^0$ (для судна, що проєктується максимальне плече 1,06 м).

- для пасажирських суден значення початкової метацентричної висоти повинно бути не менше 0,15 м.

3.2.2 Розрахунок критерія погоди.

Критерій погоди є одною з основних характеристик остійності судна, розрахунок якої проводиться відповідно вимогам Правил Регістру. Критерій погоди розраховується за формулою:

$$k_c = \frac{M_c}{M_v} \geq 1$$

де: M_c – мінімальний опрокидний момент, кН·м ;

M_v – момент, що кренить судно, кН·м

Показники, які повинні відповідати вимогам правил Регістру розраховується в програмі Freeship.

Діаграма статичної остійності повинна відповідати наступним вимогам Регістру:

- кут закату діаграми повинен бути не менше 60^0 (для судна, яке проектується кут закату 87^0);
- кут максимуму діаграми повинен бути не менше 30^0 (для судна, що проектується кут максимуму діаграми складає 50^0);
- максимальне плече діаграми статичної остійності повинне бути не менше 0,2 м при куті крену $\theta_m \geq 30^0$ (для судна, що проектується максимальне плече 0,882 м).
- для суховантажних суден значення початкової метацентричної висоти повинно бути не менше 0,15 м. для судна, що проектується, початкова метацентрична висота складає: $h_0 = r + Z_c - Z_g = h_0 = 2.54$

РОЗДІЛ 4 НАБОР КОРПУСА ПО ПРАВИЛАМ РЕГІСТРУ

Набор корпусу виконаний відповідно до вимог «Правил класифікації та побудови суден внутрішнього плавання» Регістру судноплавства України 2022 року (далі «Правила» та Регістр) [3, 9].

Система координат і правила знаків

За центр координат прийнята точка перетину площин мидель-шпангоута, діаметральної (ДП) і основний (ОП).

За вісь абсцис ОХ – лінія перетину ДП і ОП. Позитивний напрямок - в ніс (від площини мидель-шпангоута).

За вісь аплікату ОZ – лінія перетину ДП і площині мидель-шпангоута. Позитивний напрямок - вгору (від ОП).

За вісь ординат ОY – лінія перетину ОП і площині мидель-шпангоута. Позитивний напрямок - на правий борт (від ДП).

Правило знаків для дифферента: «+» – на ніс, «-» – на корму.

Правило знаків для крену: «+» – на правий борт; «-» – на лівий борт.

Таблиця 4.1 – Набір конструкції корпусу судна за правилами Регістру судноплавства України

№	Зміст (формула)	Позн	Має	Є	Примітка
ЧАСТИНА І КЛАСИФІКАЦІЯ					
1.1.5	Валова місткість				
		GT		45,86	
2	Клас судна			K(E) B1	Буксир
	район плавання			B1	
ЧАСТИНА II КОРПУС					
1.1.1.1	Головні розміри, осадка				
	Висота борта, м	D		1.92	
	Довжина, м	L		22.11	
	Осадка, м	d		1.50	
	Ширина, м	B		7.78	
1.2	МАТЕРІАЛИ				
	... вуглецевої сталі з межею плинності 235 МПа				Сталь категорії А
1.3	ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ				
1.3.7	Мінімальні товщини і шпация				Для судна класу B1 довжиною L = 24,00 м
1.3.7.1	Товщини листів повинні бути не менше:				табл. 1.3.7.1
1.	Зовнішня обшивка в середній частині судна і кормовій частині		3,0	5,0	
2.	Скуластий пояс зовнішньої обшивки в середній частині судна і кормовій частині		4,5	5,0	

4.	Ширстрека і палубний стрінгер в середній частині судна		4,5	5,0	.
5.	Настил палуби суховантажних суден між бортом і поздовжнім ко-мінгсом і в середній частині інших судо (крім нафтоналивних)		4,0	5,0	
11.	Обшивка непроникних перегородок, за винятком форпикової		3,0	5,0	
12.	Обшивка перегородки форпіка		3,0	5,0	
13.	Нижній пояс непроникних перегородок суховантажних суден		3,0	6,0	
16.	Настил верхньої палуби в кряях на відкритих ділянках, настил і палубний стрінгер міцних палуб надбудов, які беруть участь в об-щем вигин		3,0	6,0	
17.	Настил верхньої палуби в кряях на ділянках, закритих надбудовами		3,0	5,0	
20.	Зовнішня обшивка в носовій частині		4,0	5,0	
23.	Безперервні поздовжні комінгси вантажних люків		5,5	6,0	
24.	поперечні комінгси		4,0	5,0	
1.3.7.2	Шпація повинна прийматися не більше:				

	між балками поздовжнього набору	a	650	650	Виконується
	між балками поперечного набору	a	650	500	Прийнята шпація 500 мм.
	Рекомендована шпація	a	550	500	Прийнята шпація 500 мм.
1.3.7.4	Якщо шпація прийнята менше 550 мм, то товщини листів, зазначені в п.п. 1 - 8, 11 - 14 і 16 - 20 табл. 1.3.7.1, можуть бути зменшені пропорційною зменшенню шпації. Зменшення товщини листів не повинно перевищувати 10%.				
2	ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ				
2.1	ЗОВНІШНЯ ОБШИВКА				
2.1.1	Обшивка днища				
2.1.1.1	При поперечній системі набору днища товщина листів днищевої обшивки s, мм, повинна бути не менше визначеної за формулами:				
.4	на буксирах і судах технічного флоту в межах 0,5L середній частині судна				
	$s = 1,7a\sqrt{((L + N/L)(d + 0,3h_B)/D)}$	s	3,75	5,00	
	відстань між флорами, але не менше 0,5 м	a	0,55		
	висота 5% хвиль в зоні експлуатації, м	h_B	0,60		
	сумарна специфікаційна потужність головних двигунів, кВт	N	622		

	Поза зазначеного району, в напрямку до країв судна, товщина листів може поступово зменшуватися по 1 мм до товщини рівної s, мм, що визначається відповідно до 2.1.1.1.1....				
.6	Прийнята товщина листів днищевої обшивки в середній частині судна повинна бути не менше визначеної за формулою:				
	для буксирів і суден технічного флоту				
	$s = 1,7a\sqrt{L} + 0,5$	s	3,54	5,00	
2.1.1.2	$s_0 = 5,5a\sqrt{(d + 0,5h_B)}$	s ₀	2,87	5,00	
		s ₀	3,00	5,00	мінімальне значення
2.1.1.3	Якщо по днищу встановлені днищеві стрингери, виконані згідно 2.2.4.5, то товщина s, визначена за вказаним в 2.1.1.1 формулами може бути зменшена на 6% при трьох днищевих стрингерах і на 3% для кожного наступного днищевого стрингера.				По днищу встановлені стрингера
2.1.1.5	На всіх типах суден і при будь-якій системі набору товщина днищевої обшивки не повинна бути менше s ₀ , певної в 2.1.1.2.	s ₀	3,00	5,00	
2.1.2	Місцеве потовщення обшивки днища				
2.1.2.2	Товщина листів днищевої обшивки s, що з'єднуються з фундаментами під головні двигуни, повинна бути не менше визначеної за формулою, мм				
	$s = 0,8\sqrt{L(1 + 16,3N_1/nL)}$	s	2,90	5,00	
2.1.3	скуласті листи				
2.1.3.1	Товщина скулових листів s вантажних судів повинна бути не менше визначеної за формулою, мм				

	$s = 1,15 \sqrt{L}$	s	3,74	5,00	
	але не менше товщини суміжних листів днищевої або бортової обшивки, в залежності від того, що більше.				
2.1.3.3	За межею циліндричної вставки корпусу судна товщина скулових листів може бути зменшена до фактично прийнятої товщини днищевих листів.				Товщина зовнішньої обшивки по всій довжині корпусу прийнята однаковою.
2.1.4	Обшивка бортів				
2.1.4.1	Товщина обшивки борту s вантажних судів повинна бути не менше визначеної за формулою, мм				
	$s = 1,55a \sqrt{L}$	s	4,93	5,00	
2.1.4.2	Ширстрек				
	Ширина ширстрека в середній частині судна або в межах вантажних трюмів вантажних судів повинна бути не менше визначеної за формулою				
	$b_{ш} = 0,1D$	$b_{ш}$	0,12		Виконується
	Товщина ширстрека s повинна бути не менше визначеної за формулою, мм				
	$s = 2,8a \sqrt{L}$	s	15,04	5,00	Виконується з урахуванням скруглення п.1.3.7.6
	Товщина ширстрека в середній частині судна повинна бути не менше товщини прилеглих листів обшивки борту чи палубного стрингери (що більше).	s		5,00	
2.2	ДНИЩЕВИЙ НАБІР НА СУДАХ БЕЗ ПОДВІЙНОГО ДНА І В МІСЦЯХ, ДЕ ДРУГЕ ДНО ВІДСУТНЄ				

2.2.1.5	Коефіцієнт k_1				
	$k_1 = k_0 (1 + 0,25 (I_p/I_n - 0,83))$	k_1	0,57		
де	коефіцієнт, визначений за графіком 2.2.1.5	k_0	0,55		
	момент інерції флора, см^4	I_p	625,91		
	момент інерції днищового стрингера, см^4	I_n	625,91		
2.2.1.8	Момент опору суцільних флорів W в машинному відділенні, повинен бути не менше визначеного за формулою, см^3				
	Момент опору ... повинен бути не менше, см^3				
	$W = 6,5adB^2 + 20$	W	99,73	192,34	Двутавр 20
2.2.4	Днищевой стрингери і вертикальний кіль				
2.2.4.2	На судах, не зазначених в 2.2.4.1, мають ширину B менше 6 м, незалежно від системи набору днища, досить встановити тільки вертикальний кіль в діаметральної площині судна.				По днищу встановлені два стрингера
2.2.4.3	Вертикальний кіль повинен йти вздовж судна від форштевня до ахтерштевня ...				Вертикальний кіль встановлений
	Профіль вертикального кіля відповідає флору				Виконується
2.4	ПАЛУБИ				
2.4.1	Настил розрахункової палуби				
2.4.1.1	При поперечної системі набору товщина настилу розрахункової палуби s повинна бути не менше визначеної за формулами, мм:				
.1	на вантажних судах, буксирах, Толкачов та судах технічного флоту в межах 0,5L середній частині судна, а також в межах вантажних трюмів				
	$s = 1,2 k \sqrt{[(L + N/L)(d + 0,3h_B)/D]} \sqrt[3]{[a^2(1 + l/L)]}$	s	4,09	5,00	Виконується

де	для буксирів, штовхачів і суден технічного флоту, а також для гру-зових судів при послідовності завантаження "В"	k	1,00		
	Загальна довжина: вантажного трюму, м, для вантажних суден; машинного відділення, м, для інших судів.	l	11,00		
	сумарна специфікаційні потужність головних двигунів, кВт	N	154,00		
	висота 5% хвиль в зоні експлуатації, м	h _B	0,60		
2.4.1.3	Товщина настилу палуби s при будь-якій системі набору в межах 0,5L середній частині судна повинна бути, однак, не менше, мм				
	$s = k \sqrt{L}$				
	але не менше 3 мм, а для нафтоналивних суден не менше 5 мм,	s	2,28	5,00	
		k	0,70		Виконується
2.4.1.4	Якщо є палубні вирізи шириною більше 0,2 В, то товщина настилу палуби, визначена за 2.4.1.1 і 2.4.1.2, повинна бути збільшена в районі вирізів пропорційно величині:				
	$3\sqrt{[0,8B / (B - C)]}$		1,23	5,00	
де	ширина палубного вирізу, м	C	1,98		
	збільшення товщини листів можна замінити установкою поздовжніх підкріплень або комингсов, довжина яких повинна бути не менше 3 - кратної довжини вирізу або 2D, залежно від того, що менше.				
2.4.1.5	Товщина настилу палуби, необхідна для середньої частини судна, в напрямку до країв судна може плавно				

	зменшуватися до мінімальної товщини, яка вимагається згідно з 2.4.1.3.				
2.6	КОМІНГСИ ПАЛУБНИХ ВИРІЗІВ				
2.6.1	Вирізи вантажних люків ...				
	Висота комінгса, як правило, повинна бути не більше 90 товщини стінки комінгса. При більшій висоті ...		<450	200	Виконується. Підкріплення стінки комінгса горизонтальним ребром не потрібно.
2.6.2	Поздовжні комінгс				
2.6.2.2	Лист стінки поздовжнього безперервного комінгса повинен мати товщину, рівну товщині суміжного палубного стрингери згідно 2.4.2.1.	s	5,00	5,00	Виконується.
	Полку верхньої кромки комінгса, виконана з профілю, відносно прийнятої конструкції для укладання кришок люків або пересування їх, повинна мати ...				Оскільки комінгс не призначений для укладання кришок і їх пересування і має висоту всього 200 мм, а тільки виконує роль ватервейс, полку на ньому не встановлюється.
	Момент опору поперечного перерізу полиці комінгса відносно вертикальної осі W з урахуванням приєднаного паска шириною, рівній 25s, повинен бути не менше, см ³				
	$W = 2s^2$	W	50,00		
де	товщина стінки комінгса, мм	s	5,00		

	Полку комінгса повинна бути встановлена ближче до верхньої кромки комінгса і приварена до нього безперервним двостороннім швом.				
2.6.2.3	Полка комінгса...				Комінгс вирізу не має полки.
2.6.2.4	Поздовжні комінгси довжиною менш 4D, які беруть до загальної поздовжньої міцності судна, повинні мати момент опору відносно горизонтальної осі W не менше визначеного за формулою, см ³	4D	4,00	2,50	
	$W = kpl^2 (B - b)$	W	1,49	105,83	ПБ 120x8
де	k - коефіцієнт при з'єднанні поздовжніх комінгсів з поперечними ... без підкріплення пілерсів	k	0,14		
	p - середнє навантаження на палубу, але не менш 4 кПа	p	5,00		
	l - довжина люка	l	2,50		
	b - ширина люка	b	1,98		
2.6.3	Поперечні комінгси				
2.6.3.1	Товщина листів поперечних комінгсів повинна бути дорівнює товщині стінок поздовжніх комінгсів ...		5,00	5,00	Виконується.
	Якщо поперечні комінгси приєднуються без застосування пілерсів до поздовжніх комінгса, що забезпечує загальну поздовжню міцність судна ...				Поздовжні комінгси не забезпечують загальну поздовжню міцність.
2.6.3.2	Верхня кромка комінгсів вантажних люків повинна бути підкріплена-на горизонтальній смугою ...				Вантажний люк відсутній.
2.7	ПЕРЕГОРОДКИ				
2.7.1	Розташування перегородок				

2.7.1.1	На всіх судах повинна бути встановлена непроникне форпікове перебирання ..				Виконується
	Відстань форпікового перебирання до носового перпендикуляра має бути не менше 0,04L і не більше 0,04L + 2 м.				
	0,04L =		0,424		
	0,04L + 2 =		2,424		
				1,10	Форпікова перебірка
2.7.1.2	На всіх суднах довжиною понад 25 м повинна бути встановлена непроникна ахтерпікове перебирання ...				Виконується.
2.7.1.3	На самохідних і несамохідних судах з машинним відділенням в корпусі судна, машинне відділення повинно бути обмежено водонепроникними перегородками.				Виконується.
2.7.1.4	На суховантажних судах...				Не застосовується. Судно не суховантажне.
2.7.1.5	Всі поперечні непроникні перегородки повинні йти від днища до палуби надводного борту.				Виконується.

2.7.1.6	Пристрій дверей і лазів ...				Виконується. У форпикових перегородках встановлені квадратні горловини на часто розташованих болтах для забезпе-чення доступу в період побудови.
2.7.1.7	Всі труби, кабелі ... проходять через непроникні перегородки ...				Виконується. Через непроникні перегородки не проходять труби і кабелі.
2.7.1.8	На судах з подвійним дном і подвійними бортами ...				Не застосовується. Подвійного дна і подвійних бортів немає.
2.7.2	Листи обшивки перегородок				
2.7.2.1	Товщина листів обшивки перегородок s повинна бути не менше визначеної за формулою, мм				
	$s = 0,9az + k$		4,04	5,00	Виконується
где	a - шпация стоек, м		0,60		
	z - висота, м		1,00		
	k - коефіцієнт		3,50		для форпикової перебірки
2.7.2.2	На вантажних судах ...				Не застосовується. Судно не вантажне.

2.7.2.3	У машинному відділенні пояс обшивки перегородок, що примикає до днища ...				Насосне відділення обмежена в носовій частині зовнішньої обшивкою і горловинами
2.7.2.4	Товщина горизонтальної ділянки - уступу ...				Не застосовується. Перебирання не мають уступів.
2.7.3	Стійки перегородок				
2.7.3.1	Відстань між стійками перебирання не повинно перевищувати 0,5 м для таранної перегородки і 0,6 м для інших перегородок. При поздовжній системі набору днища або палуби вертикальні стійки перегородок слід розташовувати в площинах дніщевих або підпис-Лубни балок.				Як стійок прийняті вертикальні куточки горловини в перебиранні форпіка.
2.7.3.2	Момент опору стояків перегородок з кінцями, обрізаними "на вус", повинен бути не менше визначеного за формулою, см ³				
	$W = k a z l^2 + 3$	W	4,74	32,66	ПБ 120x8
де	k - коефіцієнт, що дорівнює для форпікової перебирання	k	5		
	z - висота від середини довжини до верхньої палуби, м	z	0,61		
	l - найбільший проліт стійки між опорами, м	l	1,20		
	a - шпация стійок, м	a	0,60		
2.7.4	Верхня балка переборки				Всі переборки примикають до палубі.
2.7.5	Гофровані переборки				Всі переборки плоскі.
2.11	ФУНДАМЕНТИ ПІД МЕХАНІЗМИ ТА КОТЛИ				

2.11.1	Фундаменти під головні двигуни				Головні двигуни відсутні.
2.11.2	Фундаменти під допоміжні та інші механізми				
	Товщина поздовжніх стінок балок повинна дорівнювати товщині флори. А площа перетину пасків балок повинна бути на 50% більше площі пасків флори.				Виконується
2.11.3	Перехід від повної висоти фундаментів до нормальної висоті набору корпусу повинен виконуватися плавно за допомогою книць.				Виконується

РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ПЕРІОДІВ ХИТАВИЦІ ТА ХОДОВОСТІ

5.1 Розрахунок періодів хитавиці

Розрахунок проводиться для судна у повному вантажу зі 100% запасів. Період власних коливань судна при бортовій хитавиці визначається за формулою [2, 3]:

$$\tau = 0,58 \cdot B \cdot \sqrt{\left[1 + 4 \cdot (Z_g^2 / D^2)\right] / \sqrt{h_0}}; \quad (5.1)$$

де B – ширина судна, м; $B = 5.30$ м;

D – висота борту, м; $D = 2.70$ м;

Z_g – апліката центру тяжіння судна, м; $Z_g = 1.00$ м;

Z_c – апліката центру величини судна, м; $Z_c = 1.15$ м (за кривими елементів теоретичного креслення);

h_0 – поперечна метацентрична висота, м; $h_0 = r + Z_c - Z_g$, м (5.2)

r – поперечний метацентричний радіус, м; $r = 4,5$ м (за кривими елементів теоретичного креслення);

$$\tau = 0,58 \cdot 5.30 \cdot \sqrt{\left[1 + 4 \cdot (1^2 / 2.70^2)\right] / \sqrt{2.54}} = 3.57 \text{ сек.}$$

Період власних коливань при кильовій хитавиці визначається за формулою [2]:

$$\tau_\varphi = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{g} \cdot \frac{C_B}{C_W} \cdot d \cdot \left(1 + \frac{B}{(3 - 2 \cdot C_W) \cdot (3 - C_W) \cdot d}\right)}, \quad (5.3)$$

де $C_B = 0.817$ – коефіцієнт загальної повноти;

$C_W = 0.828$ – коефіцієнт повноти ВВЛ;

$d = 1.50$ м – осадка судна;

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

$$\tau_{\phi} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{1}{9,81} \cdot \frac{0,817}{0,828} \cdot 1,3 \cdot \left(1 + \frac{7,78}{(3-2 \cdot 0,828) \cdot (3-0,817) \cdot 1,50}\right)} = 3,78 \text{ сек.}$$

Період власних коливань при вертикальній хитавиці визначається за формулою [2]:

$$\tau_{\psi} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{g} \cdot \frac{C_B}{C_w} \cdot d \cdot \left(1 + \frac{0,85 \cdot C_w \cdot B}{(3-2 \cdot C_w) \cdot (3-C_w) \cdot d}\right)}, \quad (5.4)$$

$$\tau_{\psi} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{1}{9,81} \cdot \frac{0,817}{0,828} \cdot 1,3 \cdot \left(1 + \frac{0,85 \cdot 0,828 \cdot 7,78}{(3-2 \cdot 0,828) \cdot (3-0,817) \cdot 1,3}\right)} = 3,54 \text{ сек.}$$

5.2 Розрахунок ходовості судна

Ходовість судна визначається його здатністю підтримувати задану швидкість під дією рушійної сили, що створюється судновими пропульсивними установками. Величина цієї сили обумовлюється опором, який чинить навколишнє середовище під час руху корпусу.

Рівень опору залежить від основних розмірів судна, конфігурації його обводів, стану та характеристик обшивки, швидкісного режиму руху, параметрів посадки, а також умов експлуатації.

5.2.1. Визначення опору

Визначення опору води здійснюється за методом Голландського дослідного басейну на персональному комп'ютері із застосуванням програми **Delftship**. Вихідними даними для розрахунків є головні розміри судна L, B, d у другому наближенні, коефіцієнти повноти C_v, C_m, C_w , кут входу вантажної ватерлінії та швидкість руху.

У процесі розрахунків швидкість судна була прийнята на 5% більшою за експлуатаційну. Це дозволяє врахувати додатковий опір, що виникає внаслідок поступового обростання підводної частини корпусу мікроорганізмами.

Таблица 5.1 – Розрахунок опору Delft Series

Delft Series ('98).

Сопротивление в соответствии с Delft Series ('98)						
Скорость	Скорость	Номер Фруд	Фрикционное сопротивление	Остаточная устойчивость	Полное сопротивление	Эффективная мощность
kn	m/sec		kN	kN	kN	кВт
0,00	0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
1,00	0,51	0,037	0,0507	0,0000	0,0507	0,03
2,00	1,03	0,074	0,1796	0,0000	0,1796	0,18
3,00	1,54	0,111	0,3775	0,0000	0,3775	0,58
4,00	2,06	0,147	0,6403	0,0000	0,6403	1,32
5,00	2,57	0,184	0,9654	0,1542	1,1195	2,88
6,00	3,09	0,221	1,3508	0,5659	1,9166	5,92
7,00	3,60	0,258	1,7951	1,2549	3,0500	10,98
8,00	4,12	0,295	2,2970	2,3996	4,6966	19,33
9,00	4,63	0,332	2,8555	4,3716	7,2271	33,46
10,00	5,14	0,368	3,4697	7,8664	11,3360	58,32
11,00	5,66	0,405	4,1388	13,3862	17,5250	99,17
12,00	6,17	0,442	4,8622	22,7370	27,5992	170,38

Таблица 5.2 – Розрахунок опору John Winters

John Winters (KAPER).

Сопротивление в соответствии с John Winters (KAPER)					
Скорость	Скорость	Номер Фруд	Фрикционное сопротивление	Остаточная устойчивость	Полное сопротивление
kn	m/sec		kN	kN	kN
0,00	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
1,00	0,514	0,037	0,0476	0,0001	0,0477
2,00	1,029	0,074	0,1691	0,0009	0,1701
3,00	1,543	0,111	0,3562	0,0038	0,3600
4,00	2,058	0,147	0,6050	0,0087	0,6137
5,00	2,572	0,184	0,9130	0,0144	0,9274
6,00	3,087	0,221	1,2785	0,0189	1,2974
7,00	3,601	0,258	1,7001	0,0279	1,7280
8,00	4,116	0,295	2,1767	0,0680	2,2447
9,00	4,630	0,332	2,7072	0,1577	2,8649
10,00	5,144	0,368	3,2909	0,3447	3,6356
11,00	5,659	0,405	3,9270	0,6559	4,5829

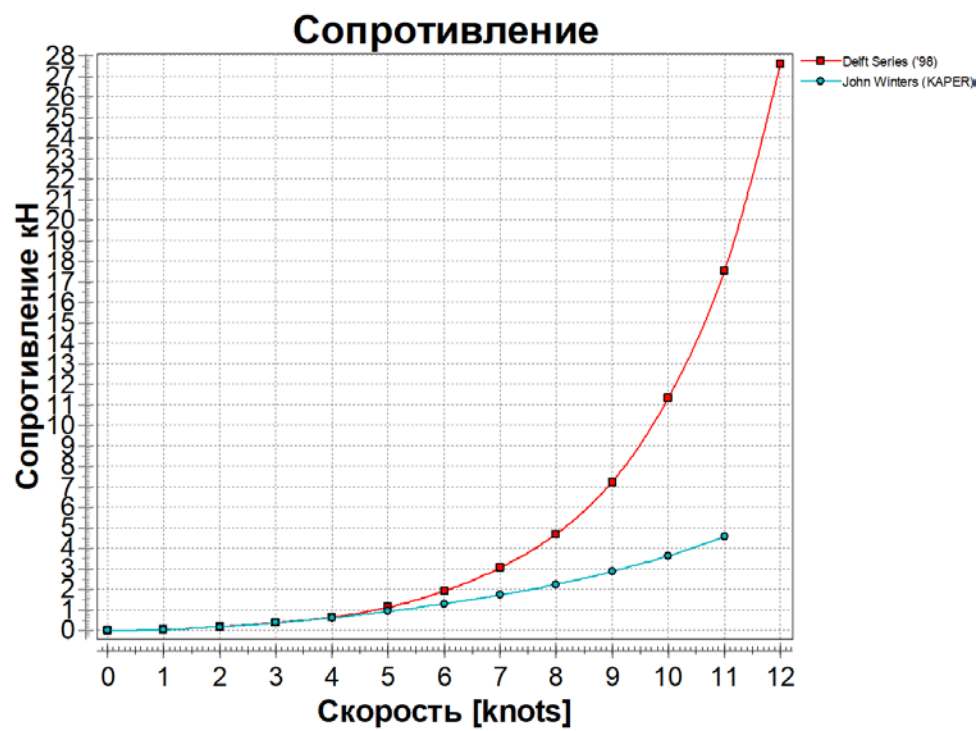


Рис. 5.1 – Графік розрахунку опору

РОЗДІЛ 6 СТИСЛА СПЕЦИФІКАЦІЯ СУДНА ЗА КОРПУСНОЮ ТА МЕХАНІЧНОЮ ЧАСТИНАМИ

6.1 Загальні відомості

В маневрових та буксирних операціях на внутрішніх водних шляхах та у прибережних районах морів. Воно забезпечує надійну та безпечну роботу під час буксирування барж і інших плавзасобів, маневрування у портах та прибережних акваторіях, а також відповідає сучасним вимогам безпеки та експлуатаційної ефективності.

Архітектурно-конструктивний тип судна:

Самохідне, однопалубне, двогвинтове, виготовлене зі сталі морського застосування. Корпус – з обводами, оптимізованими для експлуатації на мілководді та забезпечення мінімального хвилювання. Судно належить до класу малого пасажирського флоту та відповідає вимогам Регістру судноплавства України щодо району плавання В1 – на внутрішніх водних шляхах.

Корпус буксира – однокорпусний, із водонепроникними перегородками, що утворюють ізольовані відсіки та забезпечують непотоплюваність судна при затопленні будь-якого одного відсіку. Конструкція включає основну палубу з робочими місцями екіпажу та технічним обладнанням, а також верхню палубу, що використовується для управління буксиром, розміщення навігаційного обладнання та рятувальних засобів. Кормова частина формує робочу платформу для приєднання буксированих плавзасобів та виконання маневрових операцій у портах і на водних шляхах.

Судно має рульову рубку з круговою оглядовістю, розташовану на верхній палубі. У кормовій частині передбачені технічні приміщення, машинне відділення та відсіки для паливних танків. Розміщення обладнання забезпечує простоту доступу при обслуговуванні та ремонті.

Конструкція корпусу проєктована відповідно до поперечної системи набору. Розрахунок елементів конструкції виконано відповідно до вимог

класифікаційного товариства з урахуванням впливу гідродинамічних та експлуатаційних навантажень [3, 9].

Непотоплюваність судна забезпечується водонепроникністю зовнішнього корпусу, перегородок та наявністю аварійних відсіків.

Основні технічні характеристики

- Довжина на ПП: 22.11 м
- Ширина габаритна: 7.78 м
- Осадка: 1.50 м
- Матеріал корпусу: сталь категорії А
- Екіпаж: 5 особи
- Тип рушія: два гвинти
- Швидкість ходу: 12 вузлів
- Дальність плавання: до 400 миль
- Автономність: 1–3 доби

Судно обладнане навігаційними системами та засобами зв'язку, включаючи радіостанції УКХ-діапазону, радіолокаційний комплекс, GPS-навігацію та систему AIS. Усі рятувальні засоби та обладнання відповідають міжнародним нормам безпеки та вимогам Регістру.

Суднові системи включають:

- системи прісної та технічної води
- вентиляцію пасажирських приміщень
- систему кондиціонування
- пожежну систему та системи аварійного осушення
- систему збору стічних вод

Для підвищення комфорту пасажирів передбачено герметичні вікна, шумо- та віброізоляцію, сучасні пасажирські сидіння, санітарні вузли та майданчики для розміщення багажу та колясок [13-16].

РОЗДІЛ 7. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯХ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА БУКСИРАХ

7.1 Автономні та дистанційно керовані буксири

В даний час в різних країнах реалізується безліч проектів, спрямованих на досягнення автономної швартування суден за допомогою буксирів. В рамках цих проектів досліджуються різні операційні сценарії з урахуванням технологій, що використовуються для розпізнавання, оцінки, моделювання та управління автономними буксирами. Крім того, дослідницькі зусилля зосереджені на розробці конкретних елементарних технологій, які забезпечать безпечну та ефективну швартування суден навіть за відсутності оператора-людини на буксирі. Таким чином, сфера автономної швартування суден швидко розвивається, і очікується, що подальший прогрес у розробці цих технологій матиме значний вплив на морську галузь у найближчі роки.

На рисунку 7.1 показані глобальні зусилля, що вживаються для автоматизації процесу швартування суден за допомогою автономних/дистанційно керованих буксирів. Багато країн представили концептуальні моделі автономних буксирів і досягли повного дистанційного керування та інтелектуалізації буксирів. Автоматизацію буксирів можна розділити на кілька рівнів залежно від ступеня їх автономності. Ці рівні забезпечують стандартизовану основу для розробки та оцінки автономних буксирів. Перший рівень передбачає автоматизований процес та підтримку прийняття рішень, другий і третій рівні дозволяють дистанційне керування з екіпажем на борту або без нього, а четвертий рівень представляє повністю автономні буксири, здатні самостійно приймати рішення та вживати заходів. В даний час різні країни проводять науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, спрямовані на досягнення різних рівнів автоматизації в області експлуатації буксирів [18, 19].

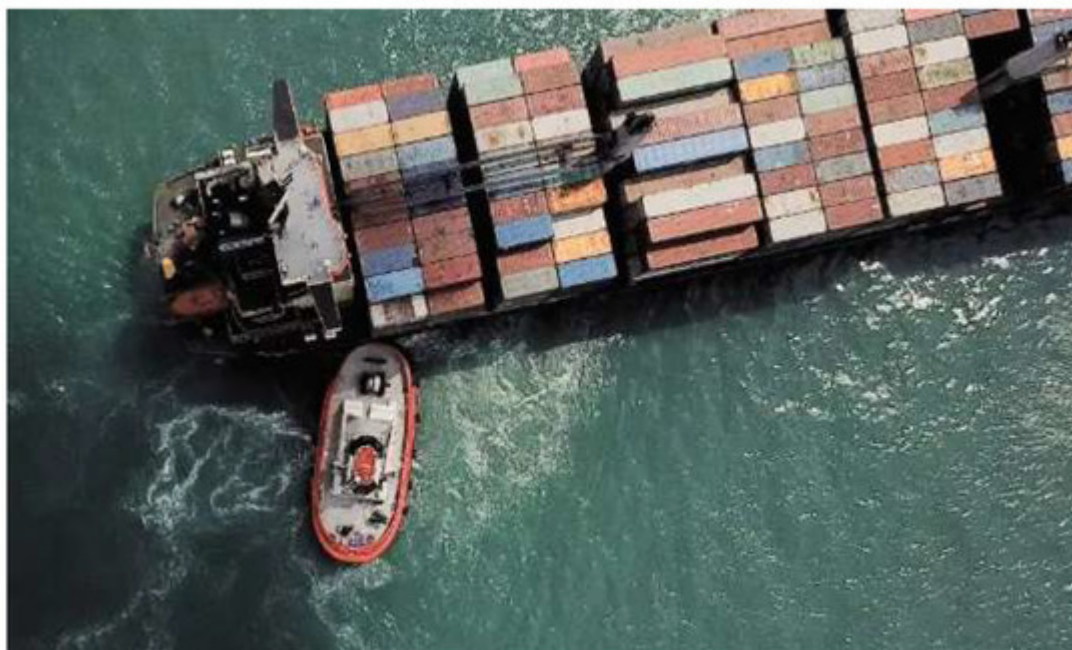


Рис. 7.1 – Процес швартування суден за допомогою системи Intellitug, розробленої компанією Wartsila

У листопаді 2017 року данська судноплавна компанія Maersk Line у співпраці з Rolls-Royce досягла значної віхи в морській галузі. В порту міста Копенгагена було дистанційно керованим першим у світі буксиром під назвою «Svitzer Hermod». Під час навігаційних випробувань судно дистанційно керувалося Центром дистанційного керування (ROC), розташованим на пірсі. Судно успішно пройшло вздовж пірсу, пришвартувалося в цільовій точці та обернулося на 360 градусів, після чого безпечно повернулося до пірсу та пришвартувалося, як показано на рисунку 7.2. Система дистанційного керування стала можливою завдяки системі динамічного позиціонування (DPS), яка є ядром системи, та ROC, як показано на рисунках 7.2 і 7.3. Варто зазначити, що хоча операція була успішною, через присутність екіпажу на борту вона не була повністю безпіотною [18, 19].

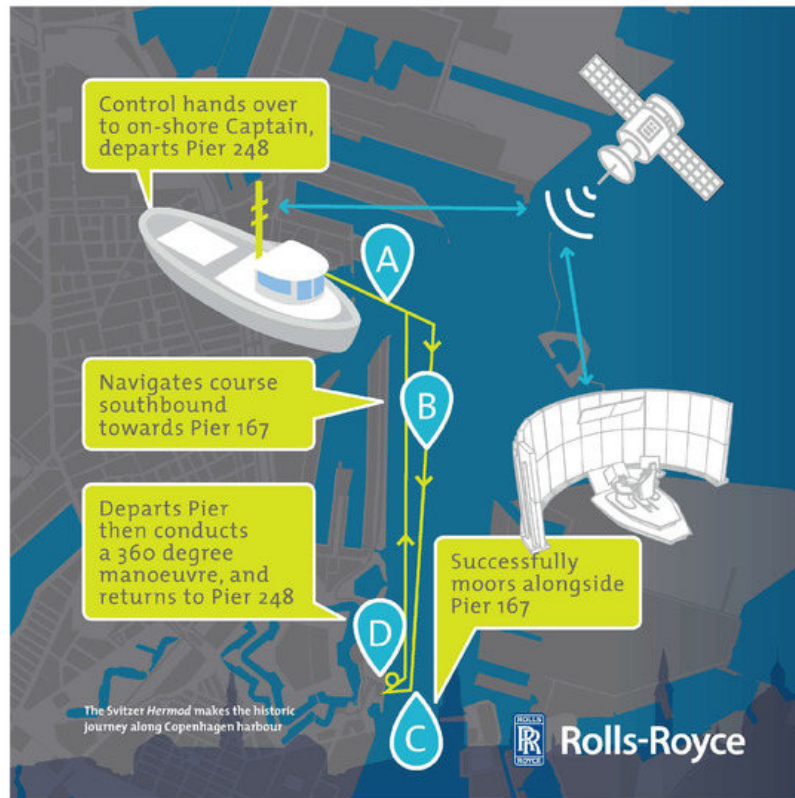


Рис. 7.2 – Опис сценарію пілотного випробування буксира «Svitzer Hermod»



Рисунок 7.3 – Буксир «Svitzer Hermod» (ліворуч) та
Центр дистанційного керування (ROC) (праворуч),
що використовуються в проекті

Компанія Maersk Line та її дочірня компанія Svitzer у співпраці з Kongsberg та American Bureau of Shipping (ABS) спільно розробили RECOTUG, перший у світі повністю дистанційно керований буксир. Цей прорив призвів до значного збільшення досліджень у цій галузі. Завдяки дистанційному керуванню буксиром можна значно зменшити ризики для життя людей, пов'язані з

буксирувальними операціями, а також підвищити ефективність і надійність послуг буксирів. Проект ABB/KEPPEL є ще одним прикладом успішного дистанційно керованого проекту. Сінгапурські компанії Keppel O&M (Keppel Offshore & Marine) та ABB (Asea Brown Boveri) співпрацювали над дистанційним керуванням буксиром за допомогою джойстика, що було вперше здійснено в Південній Азії в Сінгапурі. Цифрове рішення ABB Ability™ Marine Pilot Vision, показане на рисунку 7.4, було використано для забезпечення сенсорної інтеграції в бортовій системі, що підвищило цифрову обізнаність про ситуацію. Крім того, система ABB Ability™ Marine Pilot Control, показана на рисунку 7.5, була використана для досягнення дистанційного керування шляхом виконання інтелектуальних команд запуску та керування. Оскільки щорічно через порт Сінгапуру проходить понад 130 000 суден, це одне з найскладніших автономних портових середовищ у світі. Як результат, цей тест є важливим кроком у напрямку демонстрації безпеки та ефективності використання цифрових рішень, які вже доступні для буксирувальних операцій суден [18, 19].



Рис. 7.4 – Цифрове рішення ABB Ability™ Marine Pilot Vision



Рис. 7.5 – ABB Ability™ Marine Pilot Control system

7.2 Використання гібридних установок

Наразі доступні два типи електрифікованих буксирів: повністю електричні та гібридні електричні. У повністю електричних буксирах енергія надходить від акумулятора, який заряджається підключенням до док-станції, як у випадку з електромобілями. Повністю електричні буксири часто оснащені невеликим бортовим генератором, який можна використовувати в екстрених випадках. Обмеження терміну служби акумулятора означає, що повністю електричні буксири оптимальні для коротких відстаней, таких як портові та гавані. Для буксирів, яким потрібна більша дальність, гібридні буксири поєднують двигуни з акумуляторним електричним приводом, що дозволяє їм використовувати будь-який вид енергії, збільшуючи дальність і одночасно зменшуючи загальне споживання палива. Їх використання не обмежується дальністю акумулятора до портів або припортових районів.

Електричні буксири допомагають зменшити вуглецевий слід морської галузі, сприяючи глобальним зусиллям у боротьбі зі зміною клімату, а також забезпечують додаткові переваги у вигляді зменшення шуму та споживання палива [18, 19].

Перший повністю електричний буксир HaiSea

HaiSea Marine – партнерство, що стоїть на чолі морських інновацій, – це спільне підприємство, більшу частину акцій якого володіє народ хайсла у

партнерстві з Seaspan ULC. Організація потрапила на перші шпальти газет завдяки впровадженню повністю електричних буксирів у квітні 2023 року. Ця ініціатива не тільки підкреслює технологічний прогрес, але й підкреслює прихильність організації до примирення з корінним населенням та екологічної свідомості.



Рис. 7.6 – The HaiSea Wamis

Демонструючи свою прихильність до екологічної відповідальності, компанія HaiSea Marine тепер має три електричні портові буксири ElectRA 2800 і два більші ескортні буксири RAstar 4000-DF, які працюють на зрідженому природному газі (ЗПГ) або дизельному паливі. ElectRA 2800 може розвивати тягове зусилля приблизно 70 тонн, тоді як ескортні буксири RAstar 4000-DF мають тягове зусилля 100 тонн і здатні розвивати силу до 200 тонн, що робить їх одними з найпотужніших буксирів на західному узбережжі Канади [18, 19].

Переваги електричних буксирів

Електричні буксири зменшують забруднення повітря, споживання палива та рівень шуму. Хоча компанія HaiSea Marine була першою в Канаді, яка запровадила електричні буксири, компанія SAAM Towage також придбала два

буксири такої ж конструкції, створені канадським морським архітектором Robert Allan Limited, для використання в порту Ванкувера.

Електрифікація зменшує викиди парникових газів та забруднюючих речовин, забезпечуючи відповідність світовим стандартам. Гібридні буксири зменшують викиди на 30-60% порівняно зі звичайними буксирами. Повністю електричні буксири не виробляють викидів під час плавання, тому якщо електроенергія, яка використовується для заряджання їхніх акумуляторів, походить з повністю відновлюваних джерел (таких як електромережа BC Hydro), вони можуть бути справжнім рішенням з нульовими викидами.

Наприклад, буксири серії ElectRA 2800, які використовують HaiSea і SAAM, оснащені акумулятором ємністю 5288 кВт·год, що в десять разів перевищує ємність акумулятора електромобіля. Акумулятори були розроблені компанією Corvus Energy на її заводі у Ванкувері, Британська Колумбія. Вони мають такі розміри, що дозволяють буксирувальним суднам виконувати звичайні операції, використовуючи 100% електроенергію від акумуляторів. Це запобігає утворенню твердих частинок, викидів оксиду сірки та оксиду азоту. Кожне буксирувальне судно зменшує викиди еквіваленту вуглекислого газу на суму, порівнянну з викидами майже 1000 бензинових автомобілів на рік [18, 19].

Обмеження сучасних електричних буксирів

Поява електричних буксирів обіцяє перспективні зміни в морській технології, але перехід не є найпростішим.

Найбільш помітною перешкодою є початкові інвестиції, необхідні для електричних буксирів. Ці судна, як правило, дорожчі – на 50% – за свої традиційні аналоги через високу вартість електричних силових установок. Ці витрати включають не тільки саме судно, але й інфраструктуру, необхідну для заряджання та технічного обслуговування. Крім того, відсутність широкого впровадження означає, що є мало можливостей для економії за рахунок масштабу, щоб знизити витрати. Оператори повинні зважити ці початкові витрати та довгострокові вигоди, такі як економія енергії та зниження витрат на паливо.

Крім того, фізичний розмір і вага акумуляторів становлять виклики для проектування. Акумулятори повинні бути розміщені без шкоди для функціональності буксира, включаючи простір для екіпажу та необхідного обладнання. Проектувальники повинні знайти баланс, щоб розмістити електричну силову установку без шкоди для універсальності та експлуатаційної ефективності буксира.

Пожежі, спричинені літій-іонними батареями в побутових пристроях, викликають занепокоєння щодо їхньої безпеки. Літій-іонні батареї зберігають велику кількість енергії в невеликому просторі, забезпечуючи високу енергетичну щільність. Однак це також означає, що якщо батарейний елемент пошкоджений або неправильно заряджений, це може призвести до значного вивільнення енергії в неконтрольованому режимі, що зазвичай називається тепловим розгоном, коли внутрішні компоненти елемента руйнуються і вивільняють газу, які можуть спалахнути під впливом кисню. У обмеженому просторі на борту корабля це може мати катастрофічні наслідки.

На щастя, розробники акумуляторів використовують систему, яка називається пасивним захистом від теплового розгону одного елемента, що означає, що навіть якщо один з елементів акумулятора вступає в тепловий розгін, пошкодження не поширяться на інші елементи. Інші заходи для забезпечення безпеки включають навчання персоналу безпечному поводженню з акумуляторами та виявлення і видалення пошкоджених літій-іонних акумуляторів. Оператори прагнуть забезпечити безпечну експлуатацію і проводять регулярний огляд системи для виявлення та реагування на будь-які ризики [18, 19].

РОЗДІЛ 8 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНОК ПОБУДОВНОЇ ВАРТОСТІ СУДНА

8.1 Основні положення

Після завершення розрахунків основних характеристик проєктованого судна здійснюється визначення його економічних показників. Як правило, вони розглядаються у вигляді сукупності витрат, що у завданнях суднобудівного проєктування традиційно подаються як сума вартості проєктування, будівництва, експлуатації та утилізації судна.

У загальному вигляді будівельна вартість має відображати сукупні витрати суспільної праці на виробництво, включаючи галузеву собівартість та вартісний еквівалент додаткового продукту. Вже на початковій стадії проєктування при виборі основних елементів судна особливо важливо визначити вартість будівництва кожного варіанта, адже вона формує обсяг капіталовкладень, витрати на поточні та середні ремонти, а також впливає на річні експлуатаційні витрати й інші економічні показники.

Будівельна вартість судна може визначатися різними методами. У практиці економічних розрахунків морського транспорту застосовують один із таких способів:

- визначення вартості будівництва за групами конструктивного розбиття; звичайно приймають стандартне розбиття водотоннажності порожнем й встановлюють для кожної групи свої статистичні нормативи;
- укрупнений спосіб розрахунків вартості будівництва за допомогою розбиття на елементи;
- складання кошторисної калькуляції, у яку включають такі статті витрат, як матеріали, контрагентські постачання, заробітна плата, податки, накладні та інші витрати.

Перший метод переважно застосовується на початкових етапах проєктування та під час виконання науково-дослідних робіт. Другий метод використовується для складання попередньої калькуляції у процесі розробки

технічних проєктів, а третій – для формування кошторису на основі робочих креслень.

Метод визначення вартості будівництва судна за групами конструктивного розбиття належить до основних наближених підходів. У цьому випадку вихідними характеристиками виступає маса окремих конструктивних груп корпусу. Вартість кожної групи визначається на основі даних про її масу та вартості одиниці маси, встановленої за аналогічним або близьким за типом судном.

Завдяки простоті та можливості швидкого отримання результатів для великої кількості варіантів цей метод широко застосовується при економічних обґрунтуваннях.

Для більш точного наближеного визначення вартості будівництва судна, у випадках коли неможливо виконати диференційований розрахунок маси за конструктивними групами, застосовуються нормативи вартості за тонну водотоннажності, одиницю потужності головної енергетичної установки, а також різні емпіричні залежності. Серед відомих емпіричних підходів найбільшого поширення набули параметричні методи, у яких будівельна вартість судна визначається через його основні технічні параметри [22, 23].

8.2. Розрахунок побудовної вартості судна

8.2.1 Розрахунок побудовної вартості судна (K_c) виконується за залежністю [22]:

$$K_c = (K_{ко} + K_{гд} + K_{мо}) \cdot \mu \cdot \mu_l,$$

де $K_{ко} = k_{ко} \cdot D_{пор}$ - вартість корпусу з обладнанням, млн. грн;

$K_{гд}$ – вартість головного двигуна;

$K_{мо}$ – вартість механічного обладнання;

μ – коефіцієнт, що враховує інші витрати при побудові судна;

μ_l – поправний коефіцієнт, який залежить від льодової категорії судна

Вимірник $k_{ко} = f(D_{пор})$ для суховантажних суден дорівнює [22]:

$$k_{ко} = 0,575;$$

$$K_{ГД} = k_{ГД} \cdot N_{ВП}, \text{ грн.}$$

де $N_{ВП}$ – потужність головного двигуна, кВт.

$$\text{Вимірник } k_{ГД} = 182 \cdot N_{ВП}^{-0,25} \text{ грн/кВт } (N_{ВП}, \text{ тис. кВт});$$

$$K_{МО} = K_{МО} \cdot N_{ВП} \text{ грн. } (N_{ВП}, \text{ кВт}).$$

$$\text{Вимірник } k_{МО} = 408 \cdot N_{ВП}^{0,4} \text{ грн/кВт } (N_{ВП}, \text{ тис. кВт}).$$

$$\text{Значення } \mu = 1,3 D_{пор}^{-0,03} - \text{для суховантажних суден } (D_{пор}, \text{ тис. т}).$$

Значення коефіцієнта μ_L залежить від льодової категорії судна; для судна, що проектується, $\mu_L = 1,0$.

8.2.2. Розрахунок елементів рейсу. Час (тривалість) рейсу T_p складається з ходового T_x і стоянкового $T_{ст}$ часу:

$$T_p = T_x + T_{ст}.$$

Ходовий час рейсу без заходу в проміжні порти визначається як:

$$T_x = Z / 24 v_e, \text{ діб}$$

де Z – довжина кругового рейсу, милі;

v_e – експлуатаційна швидкість ходу, вуз.

Стоянковий час дорівнює загальному часу перебування судна в обох портах. У порту відправлення судно приймає вантаж, а в порту призначення вивантажує його, а потім приймає вантаж для зворотного рейсу, який вивантажує у порту відправлення. Стоянковий час визначається як:

$$T_{ст} = \sum \frac{(P_e)_i}{(p_e)_i \cdot (M_{вал})} \text{ діб},$$

де $(P_e)_i = \alpha_i \cdot P_v$ – кількість вантажу, що завантажується і вивантажується в портах;

P_v – вантажопідйомність судна;

α – коефіцієнт завантаження судна в прямому і зворотному рейсах (100%);

$(M_{вал})$ – валові норми вантажних робіт з урахуванням простоїв, бункерування, оформлення документів, швартування, закріплення вантажу тощо, т/зміну.

Робота може виконуватися в одну, дві або три зміни на добу n_z , тоді:

$$(T_{\text{ст}})_i = (P_{\text{в}})_i / (n_3) \cdot (M_{\text{вал}})_i \text{ діб.}$$

Визначення кількості рейсів за навігацію: $n_p = T_e / T_p$ одиниць,

де T_e – експлуатаційний період, діб (за завданням);

T_p – тривалість кругового рейсу, діб.

Провозоспроможність одного судна за навігаційний період $Q^{\text{рік}} = P_{\text{в}}^p \cdot n_p$

де $P_{\text{в}}^p$ – кількість вантажу, який перевезено за круговий рейс, т.

8.3 Розрахунок експлуатаційних і питомих зведених витрат

Враховуючи, що мінімальні витрати від експлуатації судна є одним з основних економічних критеріїв, розглянемо як вони визначаються.

8.3.1. Визначення експлуатаційних витрат C . Вони складаються з трьох частин: постійних витрат C_1 , які розраховуються одразу за весь навігаційний період, витрат на паливо і мастило на ходу C_2 та витрат на стоянці в портах C_3 , які визначаються за кожний круговий рейс.

Розрахунок постійних річних витрат здійснюється як:

$$C_1 = S_1 + S_2 + S_3,$$

де S_1 – утримання екіпажу (з накладними витратами);

S_2 – амортизаційні відрахування, витрати на ремонт і забезпечення;

S_3 – навігаційні витрати (на питну воду, на дегазацію, дезінфекцію, технічний огляд судна, придбання навігаційних карт, лоцій, інструментів, оплати буксирів, криголамів, портових зборів та ін.).

У свою чергу $S_1 = s_1 \cdot n_{\text{ек}} \cdot T_e$, грн. де $s_1 = 300$ грн. (на суховантажних судах) – витрати на утримання 1 представника екіпажу;

$n_{\text{ек}}$ – кількість екіпажу; T_e – експлуатаційний період, діб (332 доби).

Амортизаційні відрахування: $S_2 = s_2 \cdot K_{\text{ср.с.}}$,

де $K_{\text{ср.с.}}$ – середньосерійна вартість судна, млн. грн.;

$s_2 = 0,06$ (для суховантажних суден) – норматив амортизаційних відрахувань.

Навігаційні витрати: $S_3 = s_3 \cdot T_e$, грн., де s_3 – питомі навігаційні витрати, грн/добу [22, 23].

Для пасажирських суден:

$$s_3 = 62,6 + 4,229DW - 0,0482DW^2 + 0,0002267DW^3,$$

де DW – дедвейт судна, тис. т.

Витрати на паливо і мастило на ходу за рейс визначаються за виразом:

$$C_2 = T_x \cdot \omega_n \cdot (P_n^{\partial ob})_x, \text{ грн.}$$

де T_x – сумарний ходовий час за рейс, діб;

ω_n – вартість однієї тонни палива і мастила, грн./т;

$(P_n^{\partial ob})_x = 24k_{мз} \cdot q_n \cdot Ne \cdot 10^{-6}$ – добові витрати палива і мастила на ходу судна, т/добу;

Ne – потужність головного двигуна, кВт;

q_n – питомі витрати палива і мастила на ходу судна на всі потреби, г/(кВт·год); для двигунів типу МОД $q_n = 190$ г/(кВт·год).

$k_{мз} = 1,1 \dots 1,15$ - коефіцієнт морського запасу.

Визначення витрат на паливо і мастило на стоянках за круговий рейс виконується за формулою: $C_3 = \omega_n (P_n^{\partial ob})_{ст} T_{ст}$, грн.

де $T_{ст} = T'_{ст} + T''_{ст}$ – час, що складається зі стоянкового часу судна з вантажними операціями $T'_{ст}$, тобто часу, коли працюють судові крани або насоси, і стоянкового часу судна без вантажних операцій $T''_{ст}$, коли вантажні операції виконуються вантажними засобами порту.

Відповідно до цього розрізняють добову витрату палива і мастила на стоянці з вантажними операціями $(P_n^{\partial ob})_{ст}'$ і без вантажних операцій $(P_n^{\partial ob})_{ст}''$, які визначаються в частках від $(P_n^{\partial ob})_x$.

$$(P_n^{\partial ob})_{cm}' = \chi_1 (P_n^{\partial ob})_x; \quad (P_n^{\partial ob})_{cm}'' = \chi_2 (P_n^{\partial ob})_x;$$

Значення χ_1 і χ_2 знаходяться за залежностями:

- для суховантажних суден на стоянці з вантажними операціями:

$$\chi_1 = 0,27997 - 0,042987Ne + 0,003474Ne - 0,000126566Ne^3;$$

- для суховантажних і наливних на стоянці без вантажних операцій:

$$\chi_2 = 0,2654 - 0,04609Ne + 0,0038069Ne^2 - 0,0001377Ne^3,$$

де Ne – потужність головного двигуна, тис. к. с.

Таким чином розрахунковий вираз для C_3 набуває такого вигляду:

$$C_3 = \omega_n [(P_n^{\partial ob})_{cm}' T'_{cm} + (P_n^{\partial ob})_{cm}'' T''_{cm}] \text{ грн.}$$

11.3.2. Розрахунок оборотних коштів у вантажах і питомих зведених витратах виконується за залежністю: $K_6 = k_6 \cdot Q_6^{rik}$, грн, де через k_6 позначені оборотні кошти, які припадають на 1 т вантажу за час його доставки, грн/т;

Q_6^{rik} – загальна кількість вантажу, яка перевезена судном за навігацію, т [22, 23].

Вимірник k_6 (питомі оборотні кошти) визначається як: $k_6 = C_v \cdot T_6 / 365$, де C_v – ціна 1 т перевезеного вантажу за навігацію, грн/т;

T_6 – сумарний час доставки вантажу за навігацію, діб.

Для суховантажних суден $T_v = (T_x + 0,5T_{ст}) \cdot \text{пр.}$

Питомі зведені витрати на транспортування тонни вантажу, що перевозиться, з урахуванням капітальних вкладень та оборотних коштів у вантажах розраховуються таким чином:

$$З_n = \frac{C + E_1 K_{\text{ср.с}} + E_2 K_{\text{в}}}{Q_{\text{в}}^{rik}} \text{ грн/т}$$

де $E_1 = 0,15$ і $E_2 = 0,12$ – нормативні коефіцієнти ефективності капітальних вкладень та оборотних коштів у вантажах [22, 23]. Всі розрахунки зведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахунок побудовної вартості

Показник	Значення	Одиниці
Тип судна	Буксир	-
Довжина корпусу	22.11	m
Макс. довжина (LOA)	22.00	m
Двигуни	2 × 400	kW
Сумарна потужність головна	800	kW
SFC головного двигуна	200	g/(kW·год)
SFC (т/kW·год) головн.	0.00020	t/(kW·год)
SFC генератора	210	g/(kW·год)
SFC (т/kW·год) аух	0.00021	t/(kW·год)
Споживання головних двигунів	0.16000	t/год
Споживання hotel	0.03200	t/год
Загальне споживання палива	0.19200	t/год
Швидкість	12	kn
Відстань між портами	450	nm
Час проходження (1-кін)	37.50	год
Паливо на рейс (1-кін)	7.20000	t
Паливо на круговий рейс	14.4000	t

Операційні години (332 дні)	3984	год
Річне споживання палива	764.93	t
Ціна палива	12 500	грн/т
Вартість палива на рейс (1-кін)	90 000	грн
Вартість палива на круговий рейс	180 000	грн
Річна вартість палива	9 561 625	грн
Паливо на 1 нм	0.016	t/nm
Паливо на 1 нм	16.00	kg/nm
Вартість палива на 1 нм	200.0	грн/nm

ВИСНОВКИ

Відповідно до завдання на магістерську роботу було спроектовано буксирне судно, призначення якого – штовхання барж на прибережних маршрутах та внутрішніх водних шляхах протяжністю до 450 морських миль.

Морехідні якості судна – остійність, непотоплюваність і міцність корпусу – у всіх розрахункових та експлуатаційних випадках завантаження відповідають вимогам Регістру судноплавства України згідно з класом судна.

Архітектурно-конструктивний тип судна: самохідне, двогвинтове. Корпус має суцільнозварну конструкцію з морської сталі, подвійне дно в машинному відділенні та водонепроникні перегородки, що забезпечують необхідну живучість судна при можливих аварійних ситуаціях.

У кормовій частині розміщено машинне відділення з двома головними дизельними двигунами потужністю по 400 кВт кожен, які забезпечують швидкість 12 вузлів. Судно має допоміжний дизель-генератор потужністю 150 кВт для забезпечення електроспоживачів і систем життєзабезпечення. Автономність за запасами палива, води та провізії складає до 2 діб, що відповідає вимогам для прибережних і каботажних перевезень.

Основні розміри судна становлять:

- Довжина найбільша _____ $L_{max} = 22,11 \text{ м}$
- Ширина _____ $B = 7,78 \text{ м}$
- Висота борту _____ $D = 1,92 \text{ м}$
- Осадка _____ $d = 1,50 \text{ м}$
- Потужність головних двигунів _____ $2 \times 400 \text{ кВт}$
- Автономність плавання _____ 4 доби

Проведені розрахунки підтвердили, що судно має достатні запаси міцності та остійності, відповідає вимогам щодо живучості, енергетичної ефективності та стабільності на курсі. Паливна ефективність судна становить близько 0,21 т палива/год, що забезпечує низькі експлуатаційні витрати при збереженні необхідної швидкості руху.

Судно проєктується на клас KE B1 «буксирне судно» під наглядом Регістру судноплавства України. Район плавання – прибережний, категорія «річка–море». Отже, проєкт буксирного судна повністю задовольняє вимоги завдання на магістерську роботу, а також норми і правила Регістру судноплавства України. Судно забезпечує необхідний рівень безпеки, економічності та зручності експлуатації, що дозволяє рекомендувати його для подальшої реалізації у виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.** Кротов О. І., Голіков В. І., Єганов О. Ю., Бондаренко О. В. Проектування морських транспортних суден : Навчальний посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 156 с.
- 2.** Кротов О. І., Голіков В. І., Єганов О. Ю., Бондаренко О. В. Проектування малотоннажних суден. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 192 с.
- 3.** Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден внутрішнього плавання. Т. 2. Київ : Регістр судноплавства України, 2022. 304 с.
- 4.** Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден внутрішнього плавання. Т. 3. Київ : Регістр судноплавства України, 2022. 416 с.
- 5.** Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден внутрішнього плавання. Т. 4. Київ : Регістр судноплавства України, 2022. 547 с.
- 6.** Регістр судноплавства України. Правила про вантажну марку. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 81 с.
- 7.** Бондаренко О. В., Кротов О. І., Матвєєв Л. О., Прокудін С. О. Особливості проектування морських транспортних суден : Навчально-методичний посібник. Миколаїв : НУК, 2007. Ч. 3. 75 с.
- 8.** Некрасов В. О., Кротов О. І., Шестопад В. П., Потай І. Ю. Розрахунки статички судна. Частина І. Плавучість та початкова остійність : навчальний посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 56 с.
- 9.** Матвєєв В. Г. Кузнєцов А. І., Мартинець Б. М., Михайлов Б. М., Узлов О. М., Цибенко М. О., Шарун Г. В. Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден : Методичні вказівки. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 74 с.
- 10.** Коростильов Л. І., Щедролосєв О. В. Міцність суднового корпусу і його елементів при побудові, спуску та докуванні : навчальний посібник / за ред. д-ра техн. наук, проф. Л. І. Коростильова. Миколаїв : НУК, 2019. 68 с.
- 11.** Лугінін О. Є., Дудченко О. М., Терлич С. В. Розрахунок загальної та місцевої міцності корпусу судна : методичні вказівки до курсового і дипломного

проектування з дисципліни «Будівельна механіка корабля»; 2-е видання. Херсон : Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С. 2022. 69 с.

12. Сердюченко А. М., Лугінін О. Є., Коршиков Р. Ю., Дудченко О. М., Коршиков Ю. С. Основи теорії пружності, будівельної механіки, міцності, та вібрації суден : навчальний посібник / за ред. А.М. Сердюченка. Миколаїв : НУК, 2012. 422 с.

13. Зайцев В. В., Еганов А. Е., Коробанов Ю. Н., Толышев Э. В., Зайцев Вал. В. Якорно-швартовные устройства : Учебное пособие. Николаев : издательство ЧП «Шамрай», 2002. 163 с.

14. Зайцев В. В., Еганов А.Е., Коробанов Ю. Н., Толышев Э. В., Зайцев Вал.В. Проектирование общесудовых устройств : Учебное пособие. Николаев : ЧП «Илион», 2004. 305 с.

15. Іванов В. П., Грищенко О. С. Суднове обладнання та морські технології. Розділ 4.5 Якірно-швартовні системи. С. 156–178.

16. Babicz J. Ship Systems and Machinery : Introduction to Marine Engineering. Gdansk: Baobab Naval Consultancy, 2015. 172 p.

17. Gerr D. Boat mechanical systems handbook: how to design, install, and evaluate mechanical systems in boats. London: Adlard Coles Nautical, 2009. 416 p.

18. M. Nuran, Simulation of a Hybrid Propulsion System on Tugboats Operating in the Strait of Istanbul, Sustainability (MDPI), 2025. [MDPI](#).

19. S. B. Roslan et al., Rule-Based Control Studies of LNG–Battery Hybrid Tugboat, Journal of Marine Science & Engineering (MDPI), 2023. [MDPI](#).

20. Технологія корпусобудівних робіт: Підручник / Рашковський О.С., Щедролюсєв О.В., Фаріонов А.М., Цикало Н.В., Перов В.М., Сліжевський С.М.; за заг. ред. проф. О.С. Рашковського (Рекомендовано Вченою радою НУК, протокол № 13 від 29.12.2017 р.). – Миколаїв: НУК, 2018. – 516 с.

21. Технологія виготовлення деталей корпусу судна: Навчальний посібник / О.С. Рашковський, С.І. Жигуліна, В.М. Перов, С.М. Сліжевський; Під заг. ред. проф. О.С. Рашковського. – Миколаїв: НУК, 2009. – 136 с.

22. Технологія виготовлення конструкцій корпусу судна: Підручник / О.С. Рашковський, В.М. Перов, С.М. Сліжевський, Н.В. Цикало; за заг. ред. проф. О.С. Рашковського (Рекомендовано Вченою радою НУК імені адмірала Макарова як підручник, протокол № 10 від 28.10.2016 р.). – Миколаїв: НУК, 2017. – 304 с.

23. Жигуліна С.І. Технічне нормування праці в суднобудуванні / Жигуліна С. І., Рашковський О. С., Фаріонов А. М. // методичні вказівки. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 68 с.

24. Лісова І. Д. Проектування суден. Методичні вказівки щодо економічного обґрунтування дипломного проекту. Одеса : ОНМУ, 2005. 16 с.