

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут (факультет) Кораблебудівний

Кафедра _____ теорії та проектування суден _____

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 В.О. Некрасов
«19» 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Проектування обводів швидкохідних морських катерів за допомогою CAD/CAE системи SolidWorks.

Виконав: студент 6112м групи

 Соломаха М.В.
(підпис)

Керівник роботи:

Доктор.техн. наук, ст. викл

(посада, науковий ступень вчене звання)

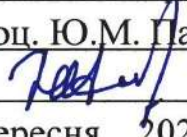
 Некрасов В.О.
(підпис)

Миколаїв – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМИРАЛА МАКАРОВА

Навчально науковий інститут (факультет) кораблебудівний
Кафедра Теорії та проектування суден
Спеціальність 135 Суднобудування
Освітня програма Кораблі та океанотехніка

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми
к.т.н. доц. Ю.М. Пащенко

" 1 " вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
студенту Соломасі Михайлу Вадимовичу
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування обводів швидкохідних морських катерів за допомогою CAD/CAE системи SOLIDWORKS.

Науковий керівник роботи Некрасов В.О., д.т.н. доцент
(Прізвище, ім'я, по батькові, наукова ступень, звання)

Затверджена наказом ректора НУК від " " 2025 року

2. Термін виконання студентом 18.12.2025 року

3. Вихідні дані по роботі:

3.1 Водотонажність 2 т

3.2 Швидкість біля 50 узлів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належать бути розробленими):

4.1. Вибір основних елементів судна, що проектується.

4.1. Загальні відомості про глісери.

4.1.1. Класифікація глісуючих суден.

4.1.2. Режим руху та форма корпусу глісерів.

4.1.3. Морехідність глісуючих суден.

4.1.4. Ходовість глісуючих суден.

4.2. Аналіз існуючих моделей та вибір суден прототипів.

4.3. Обґрунтування вибору програмного комплексу SolidWorks для проектування обводів та гідродинамічного розрахунку.

4.4. Моделювання проектування обводів швидкохідних катерів у середовищі SolidWorks.

4.4.1. Теоретичні основи проектування обводів швидкохідних катерів.

4.4.2. Розрахунок вагового навантаження судна.

4.4.3. Розрахунок діючого навантаження сили тяжіння.

- 4.4.4 Методика моделювання обводів у SolidWorks.
- 4.4.5 Побудова 3-д моделі.
- 4.5. Підготовка тривимірної моделі та розрахунку гідродинамічних характеристик човна прототипу.
- 4.6. Модернізації обводів.
- 4.7. Моделювання повздовжніх реданів.
- 4.8. Розрахунок гідродинамічних характеристик човна

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата			
		Завдання видано		Завдання прийнято	
4.1	Некрасов В.О., проф.		01.09.2025		05.11.2025

6. Дата видачі завдання 01.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проєктування	Тривалість етапів роботи	Прийма
4.1.	Загальні відомості про глісери.		
4.1.1.	Класифікація глісуючих суден.	17.09.2025	
4.1.2.	Режими руху та форма корпусу глісерів.	24.09.2025	
4.1.3.	Морехідність глісуючих суден.	30.09.2025	
4.1.4.	Ходовість глісуючих суден.	07.10.2025	
4.2	Аналіз існуючих моделей та вибір суден прототипів	14.10.2025	
4.3	Обґрунтування вибору програмного комплексу SolidWorks для проєктування обводів та гідродинамічного розрахунку.	21.10.2025	
4.4	Моделювання проєктування обводів швидкохідних катерів у середовищі SolidWorks.	28.10.2025	
4.4.1	Теоретичні основи проєктування обводів швидкохідних катерів.	05.11.2025	
4.4.2.	Розрахунок вагового навантаження судна		
4.4.3.	Розрахунок діючого навантаження сили тяжіння	12.11.2025	
4.4.4	Методика моделювання обводів у SolidWorks	24.11.2025	
4.4.5.	Побудова 3-д моделі	01.12.2025	
4.5.	Підготовка тривимірної моделі та розрахунку гідродинамічних характеристик човна прототипу	06.12.2025	
4.6	Модернізації обводів	10.12.2025	
4.7	Моделювання повздовжніх реданів	13.12.2025	
4.8	Розрахунок гідродинамічних характеристик човна	16.12.2025	
4.2.6.	Пояснювальна записка	18.12.2025	

Студент _____
(підпис)

Науковий керівник _____

Соломаха М.В. _____
(Прізвище та ініціали)

Некрасов В.О. _____

Анотація

Магістерська робота присвячена проектуванню та оптимізації обводів швидкохідного глісуючого катера в SolidWorks з гідродинамічним розрахунком у Flow Simulation.

Проаналізовано теорію глісування, класифікацію корпусів та сучасні моделі катерів (Brig Eagle 6.7, UMS 700 HT тощо). Розроблено параметричну 3D-модель прототипу з використанням Lofted Surface, Filled Surface та Knit Surface.

Виконано CFD-розрахунки для прототипу (водотоннажність 2018 кг, швидкість 50 вузлів). Запропоновано модернізацію: плавніша змінна кілеватість (16–28°) з gradual rocker та два поздовжні редани на борт.

Результати: зниження опору на 54,7 % (з 4628 Н до 2098 Н), потужності двигуна удвічі (до 113 к.с.), покращення морехідності та економічності.

Практична цінність – рекомендації для впровадження оптимізованих обводів.

Ключові слова: глісуюче судно, обводи корпусу, змінна кілеватість, поздовжні редани, SolidWorks, Flow Simulation, оптимізація.

Annotation

The master's thesis focuses on designing and optimizing the hull lines of a high-speed planing boat using SolidWorks with hydrodynamic calculations in Flow Simulation.

Theoretical aspects of planing, hull classification, and modern boat models (Brig Eagle 6.7, UMS 700 HT, etc.) were analyzed. A parametric 3D prototype model was developed using Lofted Surface, Filled Surface, and Knit Surface tools.

CFD calculations were performed for the prototype (displacement 2018 kg, speed 50 knots). Modifications proposed: smoother variable deadrise (16–28°) with gradual keel rocker and two longitudinal strakes per side.

Results: 54.7% resistance reduction (from 4628 N to 2098 N), engine power halved (to 113 hp), improved seaworthiness and efficiency.

Practical value: recommendations for implementing optimized hull lines.

Keywords: planing vessel, hull lines, variable deadrise, longitudinal strakes, SolidWorks, Flow Simulation, optimization.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Зміст

Стр.

1 Загальні відомості про глісери.....	7
1.1 Класифікація глісуючих суден.....	8
1.2 Режими руху та форма корпусу глісерів.....	10
1.3 Морехідність глісуючих суден.....	17
1.4 Ходовість глісуючих суден.....	19
2 Аналіз існуючих моделей та вибір суден прототипів.....	27
2.1 Існуючі моделі катерів.....	28
3 Обґрунтування вибору програмного комплексу SolidWorks для проєктування обводів та гідродинамічного розрахунку.....	56
4. Моделювання проєктування обводів швидкохідних катерів у середовищі SolidWorks.....	60
4.1. Теоретичні основи проєктування обводів швидкохідних катерів.....	61
4.2 Розрахунок вагового навантаження судна.....	62
4.3 Розрахунок діючого навантаження сили тяжіння.....	63
4.4. Методика моделювання обводів у SolidWorks.....	64
4.5 Побудова 3д-моделі.....	67
5. Підготовка тривимірної моделі та розрахунку гідродинамічних характеристик човна прототипу.....	87
6. Модернізації обводів.....	107
7. Моделювання поздовжніх реданів.....	113
8. Розрахунок гідродинамічних характеристик човна.....	116

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Висновки.....120

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ123

					08.МР.135.6112М.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

					08.МР.135.6112М.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	Загальні відомості про глісери	Літ	Аркуш	Аркушів
Студент	СоломахаМ					у	7	
Консультант								
Керівник	Некрасов В.О							
Зав. кафедри	Некрасов В.О							
						НУК імені адм. Макарова		

М. А. Макарова, Макарова

1. Загальні відомості про глісери

1.1 Класифікація глісуючих суден

Сучасний рівень розвитку та тенденції вдосконалення глісуючих суден дають можливість класифікувати їх за кількома ознаками.

За призначенням:

Виділяють службово-роз'їзні, прогулянкові, туристичні, спортивно-гоночні, пасажирські судна, а також катери спеціального застосування (санітарні, рятувальні, пожежні тощо).

За архітектурно-конструктивним типом:

До цієї групи належать:

- безнадбудовні мотолодки відкритого типу;
- мотолодки та катери з носовою палубою та відкритим кокпітом;
- катери з носовою надбудовою та відкритим кокпітом у кормовій частині;
- судна з суцільною надбудовою;
- великі закриті катери з рубкою середнього розташування;
- двокорпусні судна з рубкою на мосту;
- судна з аеродинамічними формами корпусу, де головний акцент зроблено на мінімізацію опору повітря або отримання додаткової підйомної сили.

За формою корпусу:

- судна з плоскодонним чи подібним до плоскодонного обводом (без реданів);
- редановані судна з однореданним дном;
- судна з кількома реданами (класичний варіант глісерів);
- глісери трьохточкового типу;
- морські глісери зі змішаною формою корпусу;
- глісери-напівкатамарани;

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

– судна з «кафедральною» формою днища (подібні до V-подібних, але з додатковими бортовими килимами).

Фізична сутність режиму глісування

Глісування ґрунтується на зменшенні опору води під час руху судна, що досягається завдяки значному зниженню змоченої частини корпусу та збільшенню гідродинамічної підйомної сили, яка виникає на днищі під дією швидкісного тиску потоку.

Зменшення об'єму зануреної частини корпусу і відповідного змоченого периметра дозволяє різко зменшити хвильовий і тертєвий опір, а це сприяє зростанню швидкості. Під час глісування площа змоченої поверхні зазвичай у 2–4 рази менша, ніж на малих швидкостях, а часом і на 10–15 %. Унаслідок цього при переході до глісуючого режиму швидкість руху зростає у 3–4 рази порівняно з водотоннажним режимом.

Головна особливість цього режиму полягає не лише в зменшенні змоченої площі. Найбільш суттєво впливає значне підвищення морехідності: зменшення змоченої частини корпусу знижує кут нахилу днища до хвилі, що забезпечує можливість істотно збільшувати швидкість навіть у відносно складних хвильових умовах завдяки зростанню підйомної сили.

Динамічні характеристики глісерів

Різке збільшення підйомної сили викликає поздовжнє хитання судна.

Наприклад, для прогулянкового катера водотоннажністю приблизно 0,5 т при швидкості 35 км/год амплітуда хитання становить 1–2 градуси з прискоренням $\sim 1\text{--}1,5\text{ g}$ в районі центру ваги та 5–8 g — у носовій частині.

Такі навантаження негативно впливають на міцність конструкції та комфорт пасажирів, що ускладнює тривалий рух у глісуючому режимі за хвилювання більше ніж 3 бали. Судна з гострішими обводами при цьому зазнають ще більших ударних навантажень.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

У режимі глісування корпус судна більше «зривається» з поверхні хвиль, менше входячи під воду, але збільшується забризкування та ударні навантаження. Обмеженням морехідності таких суден є необхідність одночасно забезпечити мінімальну змочену поверхню та достатню міцність при високих динамічних навантаженнях.

Визначальні особливості геометрії глісерів

Основною ознакою глісера є наявність плоских ділянок днища з позитивним кутом атаки до потоку води, а також їхні пропорції, достатні для створення гідродинамічної підйомної сили, величина якої наближається до водотоннажності судна.

Для виходу в режим глісування ширина днища має забезпечити коефіцієнт статичного навантаження $CA \approx 0,15-0,50$, а здебільшого $CA \approx 0,2-0,3$, із близькою до прямої формою батоксов у кормі.

Другою ключовою характеристикою є гострі віливці або елементи, що виконують їхні функції. Вони забезпечують сходження потоку води з-під днища, бортів і всієї змоченої частини корпусу, а також правильне відведення води позаду судна.

Різноманітність технічних вимог до глісерів різного призначення та значний вплив форми обводів на їхні ходові властивості визначають широкий спектр можливих варіантів геометрії корпусів.

1.2 Режими руху та форма корпусу глісерів

Залежно від співвідношення гідростатичних і гідродинамічних сил, що утримують судно на плаву, виділяють три основні режими руху: **плавання, перехідний режим та глісування.**

Плавання.

У цьому режимі виконується умова рівноваги ваги судна й сили підйомності, яка визначається законом Архімеда.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Перехідний режим.

Для нього характерний поступовий перехід від переважно гідростатичної підйомної сили до гідродинамічної. У процесі руху об'єм витісненої води зменшується, центр підйомної сили зміщується до носа, корпус починає виходити на поверхню, і зростає хвильовий опір. Рівняння рівноваги сил має вигляд:

$$D_g = W^I$$

де D_g — гідродинамічна підйомна сила,

W^I — водотоннажність судна, що відповідає витісненому об'єму.

Гліссування.

На високих швидкостях основну роль у підтриманні судна відіграє гідродинамічна підйомна сила. Корпус ніби «ковзає» по поверхні води з малим кутом диференту на корму. Вага судна майже повністю урівноважується цією силою.

Характеристики гліссування пов'язують із **числом Фруда**, яке показує відношення швидкості до кореня з добутку прискорення вільного падіння на характерну довжину корпусу:

$$Fr_D = \frac{V}{\sqrt{gD_g}}$$

Межі режимів такі:

Плавання: $Fr_D \leq 1$

Перехідний режим: $1 \leq Fr_D \leq 3$

Гліссування: $Fr_D \geq 3$

Для переходу судна до гліссування потрібен корпус відповідної обводи.

Основна вимога — створення умов, за яких гідродинамічна підйомна сила зростає настільки, щоб компенсувати вагу судна. Зазвичай застосовують

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

плоске днище з малими кутами атаки та невеликим заглибленням носової частини. Така форма характерна для сучасних глісерів.

Простіша форма корпусу безреданого типу зображена на рис 1.1

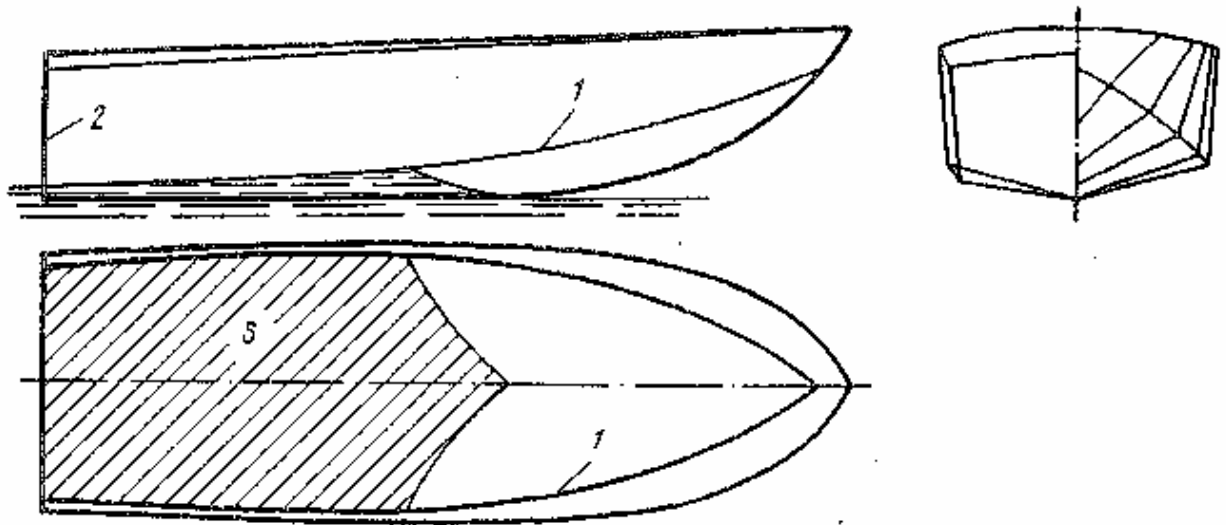


Рис. 1.1 Безреданий глісер.

1-бортова вилиця, 2- транець, S-глісуюча частина днища.

Корпуси малої кілеватості

При досягненні певної швидкості корпус з невеликою кілеватістю легко виходить на глісування: корма піднімається, площа змоченої поверхні зменшується. Однак на великих швидкостях такі корпуси погано тримають курс, схильні до підскоків («стрибків») і мають низьку плавність ходу.

При проходженні хвилі можливі жорсткі удари днищем об воду. Внаслідок різкого збільшення кута атаки судно може підійматися над поверхнею, після чого знову падати, що створює сильні перевантаження — інколи до (10g). Подібні удари викликають дискомфорт, збільшують зношування конструкції корпусу та агрегатів, можуть спричинити пошкодження човна та двигуна.

Корпуси з “закрученим” днищем

Щоб пом'якшити удари при русі на хвилі, днище роблять **кілеватим**, тобто збільшують кут між бортами й площиною днища. За кутів $3\text{--}10^\circ$ сила удару зменшується більш ніж удвічі.

Максимальні навантаження зосереджуються в носовій частині, тому там застосовують більшу кілеватість, плавно зменшуючи її до корми. Такі обводи використовують у моторних човнах типу «Воронеж», «Казанка-5», «Казанка-2М» та катері «Ауре». Вони відрізняються кращою керованістю, м'якшим проходженням хвилі й вищою безпекою.

Проте надмірна кілеватість збільшує площу змоченої поверхні на малих швидкостях, унаслідок чого зростає опір руху. Тому човни з такими обводами гірше виходять на гліссування й потребують більшої потужності двигуна.

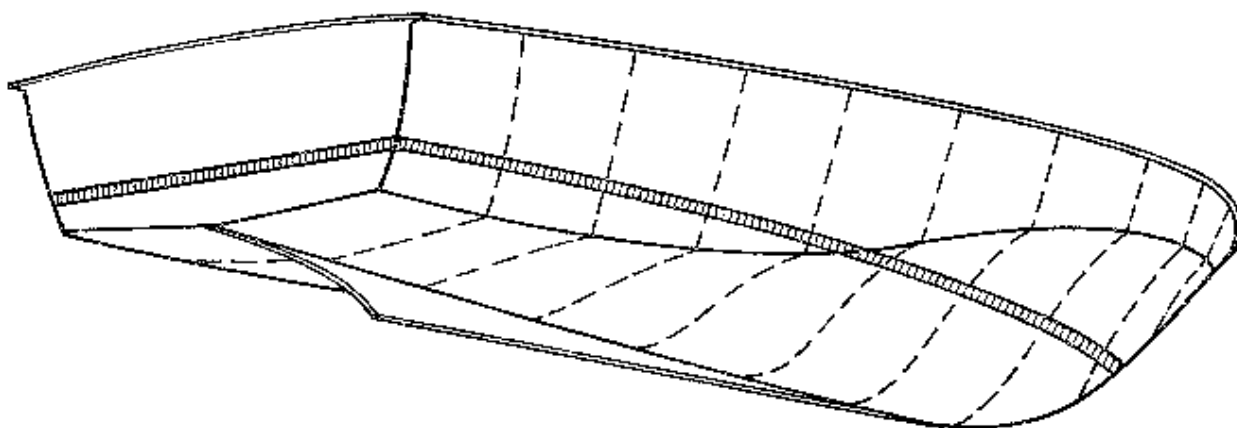


Рис. 1.2. Обводи катера із «закрученим» днищем.

Особливості руху човна із закрученим днищем

У початковій фазі розгону корпус не має достатньої підйомної сили, тому може утворюватися «горбок» хвилі під днищем, що заважає вийти на гліссування. Після розгону носова частина піднімається, днище вирівнюється, і судно переходить у стійке гліссування.

На хвилюванні такий човен поводить м'якше: при входженні в хвилю він не б'є днищем, а плавно врізається, зменшуючи вертикальні прискорення. Це підвищує комфорт та безпеку, знижує ризик руйнувань. Але керованість

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

зменшується — човен сильніше відхиляється від курсу й вимагає корекцій рулем.

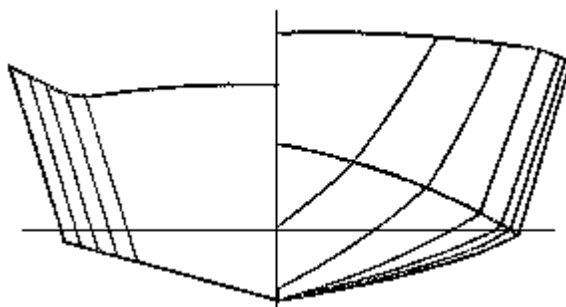


Рис. 1.3. Обводи корпусу типу «Моногедрон»

«Глибоке V» — це різновид обводів глісуючого корпусу, який характеризується значною кілеватістю днища (понад 20°) від району міделя до транця та наявністю поздовжніх реданів. Такі форми застосовують у швидкохідних катерах, що працюють на високих швидкостях. Подібні обводи забезпечують комфортний рух на хвилюванні при мінімальному зниженні швидкості. Крім того, цей тип днища дозволяє максимально реалізувати потужність двигунів, які встановлюються на легких катерах і мотолодках, не викликаючи втрати курсової стійкості або ризику пошкодження конструкції корпусу. Оптимальний кут атаки, що забезпечує найменший опір води, у кілеватих корпусів у 1,5–2 рази більший, ніж у плоскодонних човнів, тому змочена довжина таких корпусів істотно менша, ніж у суден із плоским дном.

Незважаючи на те, що при збільшенні кілеватості до $20\text{--}23^\circ$ гідродинамічна якість погіршується, корпуси типу «глибоке V» здатні розвивати більшу швидкість порівняно з малокілеватими варіантами. Майже однакові поперечні профілі днища в носовій та кормовій частинах надають катерам із такими обводами хорошу курсову стійкість на попутній хвилі, зменшують дрейф під час циркуляції й пом'якшують бортову качку. До недоліків «глибокого V» належать значний опір на початку руху та збільшений час, необхідний для розгону до режиму чистого глісування. Для покращення

старту та зменшення «горба» на кривій опору застосовують транцеві плити або подовжні редани.

Ще одним мінусом є низька початкова остійність як під час стоянки, так і в русі. Щоб її підвищити, іноді встановлюють баластні днищові цистерни, які спорожнюються автоматично після виходу судна на робочу швидкість.

Ходова остійність може бути збільшена шляхом розширення змоченої частини днища в кормі: для цього деякі редани, по яких корпус глісує на розрахунковій швидкості, обриваються на певній відстані від транця. Таке рішення збільшує змочену площу та розширює ватерлінію. Інший підхід полягає у встановленні надбудов і наделок.

У цьому випадку крайні ділянки днища, що прилягають до бортів, частково виходять із води, а глісуюча поверхня обмежується лише найближчими до бортів реданами. Завдяки цьому зберігається необхідний рівень питомого навантаження днища та знижується висота «горба» на кривій опору.

Поздовжні редани покращують остійність судна, демпфують бортову й диферентну хитавицю. Під час руху, коли катер отримує крен, на реданах виникає додаткова підйомна сила, що перешкоджає подальшому нахиленню. Такі елементи суттєво підвищують курсову стійкість і одночасно зменшують радіус циркуляції. Це досягається завдяки роботі бічних поверхонь реданів, які при дрейфі — під впливом вітру, хвилі або під час повороту — функціонують аналогічно бічним кілям.

Однак позитивні властивості реданів повною мірою проявляються лише на високих швидкостях. Їх ефективність значною мірою визначається кілеватістю днища: якщо вона менша за 10° , установлення реданів стає недоцільним. Зазвичай на кожному борту розташовують по два редани (для ширини днища 1,4–1,6 м) або три (для ширини 2–2,5 м). Відстань від реданів до діаметральної площини визначають відповідно до навантаження та швидкісних параметрів катера. Повне проведення реданів уздовж усієї довжини корпусу виправдане лише тоді, коли глісування здійснюється саме

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

на ділянках, обмежених цими реданами. В іншому разі кормові редани лише збільшують опір. Тому до транця доводять лише крайні, а інші закінчують на певній відстані. У середній та кормовій частинах редани зазвичай розташовують паралельно кілю. У носі їх доцільно зводити до форштевня, щоб уникнути надмірного підйому, який може створювати гальмівний ефект під час сходу судна на хвилю. Існує також і недолік поздовжніх реданів на швидкісних суднах: на зустрічній хвилі корпус зазнає сильніших ударів через локалізацію тиску на плоских поверхнях реданів.

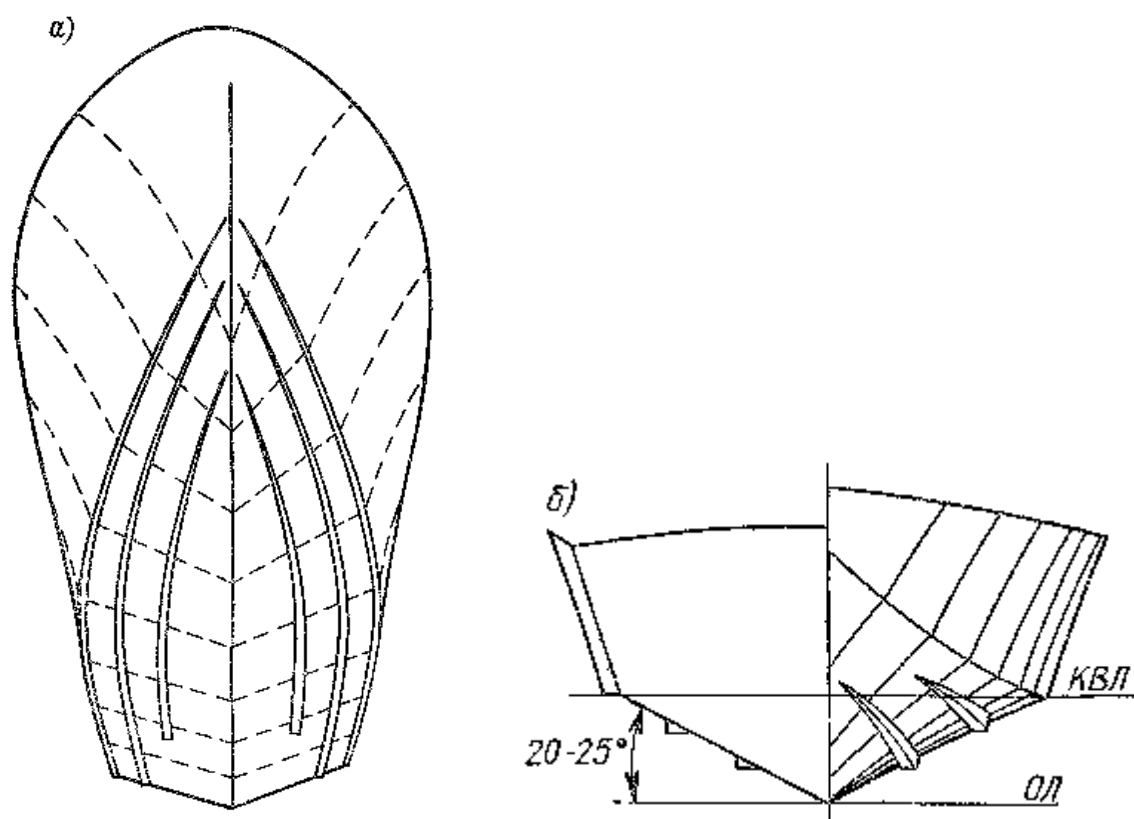


Рис.1.4. Обводи типу «Глибоке V». а – вид на днище; б - корпус теоретичного чертежа.

Спроби покращити морехідні властивості суден, що рухаються в перехідному режимі $1 \leq FrD \leq 3$, привели до створення комбінованих форм корпусу (рис. 1.5). Носова частина таких корпусів проектується подібно до водозміщуючих суден, завдяки чому забезпечується м'яка взаємодія з хвилею, тоді як кормова — виконується за типом чисто глісуючого судна.

Подібна конструкція є найбільш раціональною для великих морських катерів.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

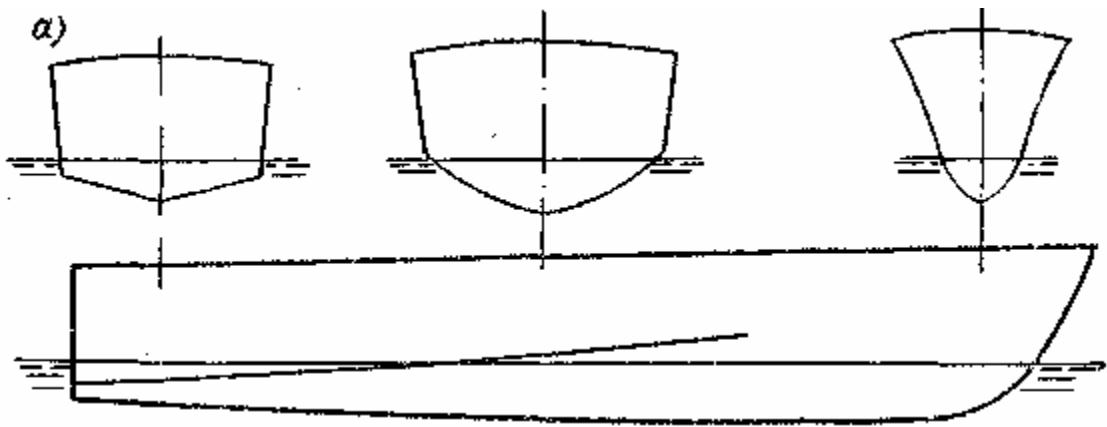


Рис. 1.5. Комбіновані безреданні форми корпусу.

Повертаючись до розгляду режимів руху глісуючих суден, слід відзначити особливості зміни опору залежно від швидкості (рис. 1.6). У діапазоні чисел Фруда $1,5 \leq Fr_D \leq 2$ крива опору набуває характерного «горба», що свідчить про перевищення опору глісуючого корпусу над опором водозміщуючого. Після подолання цієї ділянки судно поступово переходить у глісування, і загальний опір зменшується завдяки різкому скороченню хвилеутворення. Подальше збільшення швидкості знову спричиняє ріст опору — цього разу через збільшення сили тертя. «Горб» виражений доволі різко у катерів із реданами і менш помітний у корпусів без них.

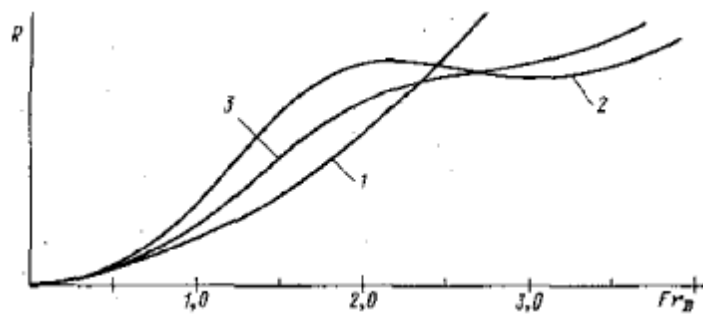


Рис. 1.6. Криві, що характеризують режими руху суден. 1, 2, 3 - опір опір водотоннажного судна, реданного та безреданного глісерів відповідно.

1.3 Морехідність глісуючих суден

Під морехідністю розуміють здатність судна зберігати правильну й безпечну поведінку під час руху на хвилюванні. Судно вважається достатньо

морехідним, якщо воно має плавну й помірну хитавицю, не заривається носом у воду при зустрічі з хвилею, м'яко долає її й підтримує стійкість як на прямому курсі, так і на попутній хвилі. Основними показниками морехідності катерів-глісерів є стабільність їх руху на хвильовій поверхні та величина вертикальних перевантажень, що виникають під час ударів корпусу об хвилю. На стійкість руху впливають різні чинники: правильне центрування (положення центру мас по довжині та висоті), конфігурація корпусу й співвідношення головних розмірів, диферентуючий момент від роботи рушія та його реактивний обертальний момент, форма й розташування керма, а також аеродинамічні сили.

Розрізняють **курсону стійкість** та **стійкість глісування**. Порушення курсової стійкості проявляється у вигляді відхилень судна вправо або вліво, що вимагає постійних перекидок керма й супроводжується падінням швидкості, або ж може проявитися як різкий, інколи майже миттєвий розворот під час руху, що іноді сягає 180° , навіть при невеликих перекиданнях керма. Такі явища спричиняються взаємним розташуванням центру мас і центру загального опору корпусу. Якщо центр опору зміщений уперед відносно центру мас, то порушення курсової стійкості стають цілком можливими.

Порушення стійкості глісування виявляється у вигляді **рикошетування** або **дельфінування**. Рикошетування виникає на суднах із малим питомим навантаженням, що рухаються з високою швидкістю по хвилястій поверхні; при цьому конструкція піддається ударним навантаженням, а швидкість може знизитися на 50% і більше. **Дельфінування** являє собою нестійкий режим руху з плавними періодичними коливаннями судна навколо поперечної осі, інколи з поступовим збільшенням їх амплітуди. Причинами дельфінування можуть бути:

- а) надмірне зміщення центру мас у носову частину;
- б) занижене розташування центру мас;

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- с) недостатній поздовжній момент інерції змоченої поверхні;
- д) аеродинамічний момент, що викликає диферент на ніс.

На морехідність глісерів впливає й **динамічна поперечна остійність**, яка визначається шириною змоченої частини днища, формою підводної поверхні та висотним положенням центру мас. Поперечна остійність під час циркуляції майже повністю залежить від гідродинамічних сил, що виникають при бічному ковзанні корпусу (дрейфі) у зовнішній бік повороту. Якщо результуюча гідродинамічна сила (сума нормального тиску та сил тертя) проходить вище центру мас, судно нахилиється всередину циркуляції. Якщо ж ця сила прикладена нижче центру мас, відбувається крен назовні. Нахил у внутрішній бік циркуляції свідчить про добру динамічну остійність, тоді як нахил у зовнішній бік — ознака поганої остійності, оскільки при цьому збільшується сила опору дрейфу, яка разом з відцентровою силою створює момент, здатний перекинути судно у зовнішній бік повороту.

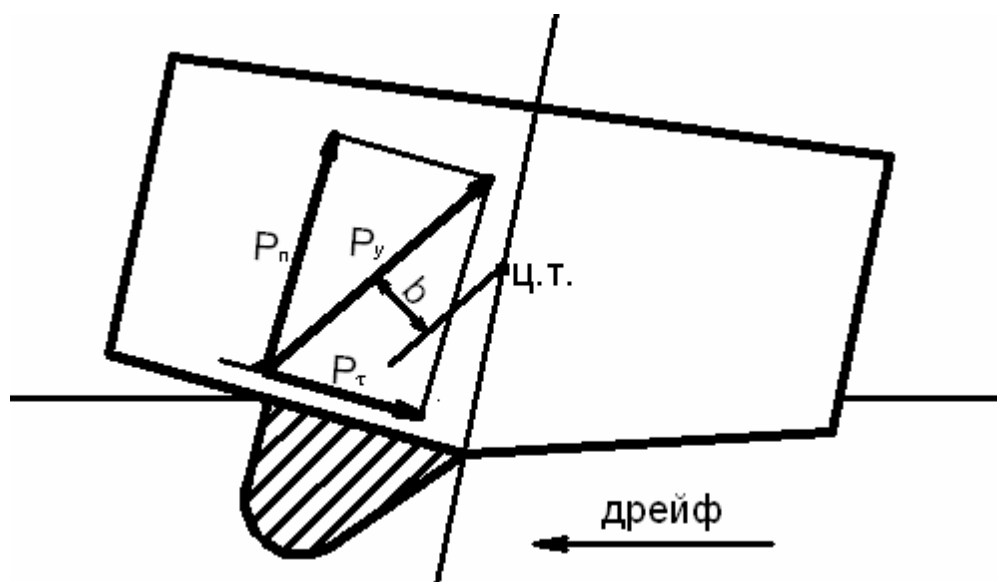


Рис. 1.7. Дія гідродинамічних сил на глісуючий корпус при циркуляції.

1.4 Ходовість глісуючих суден

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

По-перше, для малих суден характерне надзвичайно велике різноманіття форм корпусів і співвідношень головних розмірів, а їх конструкція постійно вдосконалюється. Це змушує дуже уважно підходити до вибору методів розрахунку та застосування систематичних серій з подібними характеристиками.

По-друге, складність оцінки збільшується через те, що малі судна експлуатуються в області високих відносних швидкостей, де існуючі методики часто дають значний розкид результатів.

По-третє, такі судна особливо чутливі до зовнішніх факторів — хвилювання, вітру та різних експлуатаційних умов, що змушує закладати підвищений запас потужності для роботи в складній обстановці.

Особливо гострою стає проблема точності визначення ходових якостей глісерів, оскільки навіть 1% помилки при оцінці опору майже відповідає такій же похибці у визначенні швидкості. У «Довіднику з малотоннажного суднобудування» наведено огляд основних методів оцінки ходових характеристик малих суден, але в ньому, на жаль, відсутні багато сучасних, широко застосовуваних на практиці формул та графіків.

Існуючі теоретичні та експериментальні методи визначення ходовості й буксирного опору катерів умовно поділяють на кілька груп:

Спрощені емпіричні формули та номограми, які задають прості зв'язки між швидкістю, потужністю й основними параметрами судна.

Систематичні серії моделей, що представляють результати випробувань корпусів зі спеціально змінюваними параметрами (серії Гроота, 62, 63, 64, БК, МБК, DSYHS тощо).

Методи схематизованих моделей, подібні за логікою до систематичних серій, але засновані на випробуваннях простих геометричних форм (наприклад, метод Савицького для призматичних глісуючих моделей або метод Седова—Перельмутра для глісуючих пластин).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Статистичні або регресійні методи, які базуються на аналізі несистематизованих даних випробувань (методи Холтропа, Мерсьє—Савицького, Фунга тощо).

Чисельні методи гідромеханіки (CFD).

Модельні випробування у дослідних басейнах.

Натурні випробування, які переважно використовують для перевірки результатів, отриманих іншими методами.

Не завжди навіть модельні випробування дають достатньо високу точність для малих швидкісних суден. Наприклад, відсутність рушія у моделі може суттєво впливати на формування тискового поля в кормовій частині, що спричиняє відмінності в осадці моделі порівняно з реальним судном і, відповідно, впливає на визначення опору.

Зазвичай вважається, що серед розрахункових методів **систематичні серії** забезпечують найвищу точність — до 5% похибки, але лише за умови близькості обводів моделей серії й проектного катера. Регресійні методики мають заявлену похибку близько 10%, проте вони дозволяють оцінювати опір без суворої прив'язки до геометрії корпусу та охоплюють ширший діапазон параметрів.

Спрощені методи оцінки ходових якостей

Спрощені формули та графіки застосовують:

На ранніх етапах проєктування, коли потрібна швидка й орієнтовна оцінка.

За наявності прототипу, подібного за розмірами та ходовим режимом.

Вони **не розраховують буксирувальний опір**, а одразу дають залежність *швидкість ↔ потужність*.

Найчастіше використовуються для **глісуючих суден**, оскільки дають швидку оцінку при високих відносних швидкостях

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Найпоширеніші спрощені формули

1. Формула Кроуча (Crouch)

Встановлює зв'язок між:

швидкістю v (у статутних милях на годину, mph),

водотоннажністю Δ (у фунтах),

встановленою потужністю P (у кінських силах).

$$v = C \cdot \sqrt{\frac{P}{\Delta}}$$

де:

$C = 150...220$ – емпіричний коефіцієнт, що залежить від типу судна:

150–170 — важкі глісери та катери,

170–200 — середні швидкісні глісери,

200–220 — спортивні човни, гоночні корпуси.

Особливості формули Кроуча

Чутливість до вибору коефіцієнта **C** : саме його невірний вибір найчастіше дає велику похибку.

Для надійності **C** слід визначати за даними прототипу зі схожими геометричними параметрами.

2. Інші спрощені формули

У практиці також використовують формули:

Леві

Рейсса

Щербакова

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кривоносова

та інші, побудовані за аналогічним принципом — емпіричний зв'язок між швидкістю та потужністю.

Вони здебільшого підходять для **глісуючих режимів**, коли судно виходить на редуковану площу опори й опір залежить переважно від динамічної підйомної сили.

Вибір коефіцієнтів за прототипом

Для спрощених формул *ключове* — знайти правильний емпіричний коефіцієнт, для чого використовують:

Для водозміщуючих/перехідних режимів

Відносну довжину:

$$l = \frac{L}{\Delta^{1/3}}$$

Для глісуючих режимів

Коефіцієнт статичного навантаження:

$$C_{\Delta} = \frac{\Delta}{B_c^3}$$

де B_c — ширина глісуючої поверхні (chine beam).

Прототип повинен мати **порівнянні значення цих параметрів**, інакше похибка збільшується різко.

Похибки спрощених методів

Хороші лише для **орієнтовних розрахунків**.

Значна залежність від якості експериментальних даних.

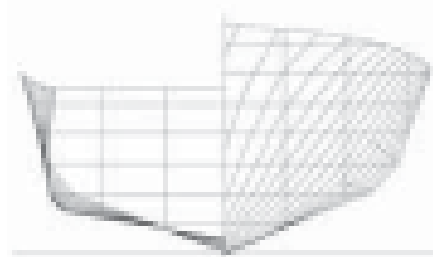
Непридатні для точного проектування без верифікації іншими методами.

Систематичні серії.

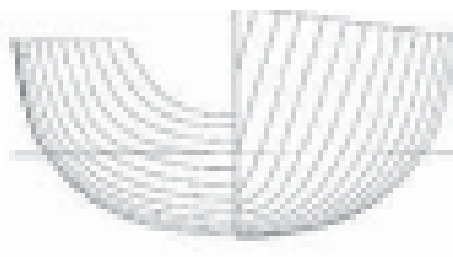
Під систематичною серією розуміють сукупність результатів випробувань

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

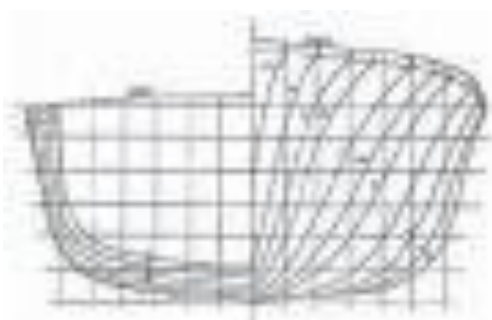
моделей, у яких основні параметри змінюються за певною схемою; ці дані подають у формі, зручній для інженерних розрахунків. Використання таких серій дозволяє визначати опір корпусу, а в окремих випадках і додаткові характеристики руху, наприклад ходовий диферент чи коефіцієнт попутного потоку, за умови, що параметри проектного судна входять у діапазон серії. Хоча сьогодні існує значний обсяг експериментальних даних для різних типів обводів, вибір відповідної серії, коректність її застосування та подальша перевірка отриманих результатів нерідко викликають труднощі.



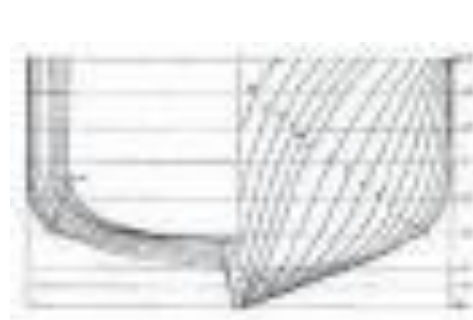
Обводи моделей серії NTUA



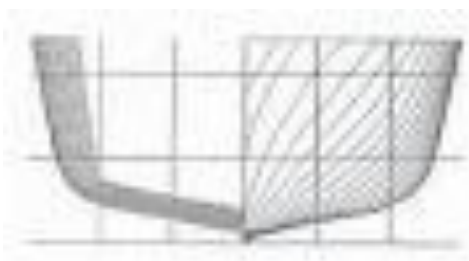
Обводи моделей серії DSUHS



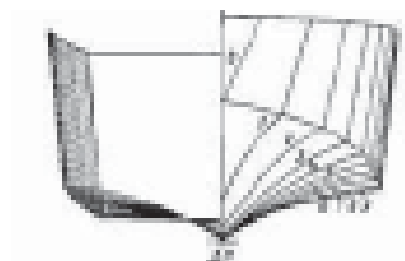
Обводи моделей серії 63



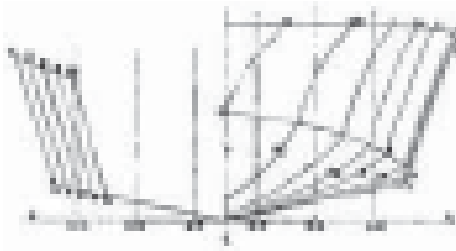
Обводи моделей серії SSPA



Обводи моделей серії VTT



Обводи моделей серії БК



Обводи моделей серії 62

Серії швидкохідних катерів БК і МБК були досліджені в СРСР у 1960–70-х роках та опубліковані М. Буньковим і його співробітниками; на сьогодні це найбільш масштабні систематичні серії швидкохідних суден, випробувані в діапазоні $F_n V = 1.0 \dots 4.5$. Вважається, що серія БК дещо переоцінює величину опору, однак загалом забезпечує достатньо точні результати для порівняно важких катерів. Основним недоліком цих серій є застарілі обводи моделей.

Для глісуючих суден застосовують Серію 62 (оригінальна серія Клементу–Блаунта та її розширення 62DUT) і Серію 65, яка спершу створювалася для суден на підводних крилах у докриловому режимі. Серед поширених серій для суден перехідного режиму слід згадати серії Гроота, 63, 64, SSPA, NPL — для корпусів із круглою вилицею, а також USNA та VTT (Лахтіхарі) — для гостровиличних і кругловиличних обводів. Крім того, серія NTUA використовується для корпусів із подвійною вилицею.

Методи схематизованих моделей.

Цей набір методик переважно використовують для оцінювання характеристик у режимі чистого глісування. Метод Седова–Перельмутра базується на результатах експериментів із плоскими пластинами, виконаних Зотторфом; для врахування кілеватості при цьому застосовується поправка Любомирова. Попри появу сучасніших підходів, цей метод і досі широко використовується у вітчизняній інженерній практиці. Найпоширенішим нині

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

способом визначення буксирувального опору глісуючих корпусів із V-подібними обводами при $FrV > 2.5$ є метод Савицького.

Статистичні методи.

Статистичні підходи активно набувають популярності, оскільки дозволяють об'єднати різномірні результати випробувань, накопичені різними дослідними басейнами, у єдину універсальну розрахункову базу.

Здебільшого такі методики представляють собою регресійні залежності для складових опору, коефіцієнтів взаємодії корпусу і гвинта, змоченої поверхні тощо, не прив'язані до певного типу обводів. Найвідомішим представником цієї групи є метод Холтропа, опублікований у кількох версіях і призначений переважно для великих суден при $FrL < 0.80$. Метод має обмеження щодо відношення L/B та недооцінює опір корпусів із зануреним транцем.

До інших методів, що застосовуються у практиці проєктування швидкохідних суден, належать підходи Фунга, Ван-Оортмерссена (для траулерів і буксирів), методики Робінсона, а також метод Джина і метод Мерсієра–Савицького для глісуючих корпусів у перехідному режимі.

Загалом варто підкреслити, що фізично обґрунтовані підходи — такі як систематичні серії та статистичні методи — забезпечують значно більшу надійність порівняно зі спрощеними формулами.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

					08.МР.135.6112М.ПЗ		
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата			
Студент	Соломаха М				Літ	Аркуш	Аркушів
Консультант					у	27	
Керівник	Некрасов В.О				НУК імені адм. Макарова Ім. Адмірала Макарова		
Зав. кафедри	Некрасов В.О						

2 Аналіз існуючих моделей та вибір суден прототипів

Метою даного розділу є аналіз існуючих моделей катерів даного типорозміру і вибір прототипу для подальшої роботи.

2.1 Існуючі моделі катерів

Згідно з завданням розглянемо катери виробників....

2.1.1 Катер Brig Eagle 6.7

Brig Eagle 6.7 — високошвидкісний преміальний RIB-катер з жорстким склопластиковим корпусом та надувними бортами. Розрахований на підвісний мотор максимальною потужністю до 225 к.с. (рекомендовано 200 к.с.). Завдяки глибокому V-подібному днищу з кілеватістю на транці 24° та багатоступеневим реданам забезпечує виняткову морехідність і м'який хід навіть на високій швидкості.

Призначений для сімейного відпочинку, водних видів спорту, риболовлі та прогулянок. Має просторий і ергономічний кокпіт, велику носову зону з можливістю встановлення сонячної палуби, зручні кормові платформи та численне обладнання преміум-класу. Пасажиромісткість до 12 осіб (рекомендовано 10). Топова швидкість до 55 вузлів.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рис 2.1 Вид катера Brig Eagle 6.7

Основні переваги

1. Найкращий баланс швидкості та комфорту в класі 6–7 м RIB

З 200–225 к.с. легко 50–55 вузлів, з 250 к.с. — до 58 вузлів. При цьому хід м'який, кокпіт сухий і тихий — ідеально для сімейних прогулянок і водного спорту.

2. Дуже комфортна ергономіка «преміум-класу»

Два повноцінні сидіння з амортизацією, великий диван на кормі, опціональна сонячна палуба в носі, стіл, холодильник, душ, туалет у консолі — усе «з коробки» або за невелику доплату. Більшість конкурентів (Ribcraft, Highfield, Buster) вимагають суттєвих доопрацювань.

3. Відмінна морехідність і суха палуба

Глибокий V (24° на транці) + два яскраво виражені редани + високий «флэр» у носі → навіть на зустрічній хвилі 1–1,5 м вода майже не потрапляє в кокпіт. На циркуляції крен мінімальний.

4. Легка вага та простота транспортування

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Суша маса 780 кг — один з найлегших у класі. Буксирується будь-яким позашляховиком, спускається/піднімається вдвох-троє без крана.

5. 10-річна гарантія на труби Huralon та 5 років на корпус

Якість матеріалів і збірки (виробництво в Україні під контролем Великої Британії) — одна з найкращих у світі RIB.

Основні недоліки

1. Не «неубиваємий» для жорстких умов

Склопластиковий корпус і надувні борти не люблять ударів об каміння, бетон чи лід. Для Аляски чи північної Норвегії — не варіант (там беруть North River, Highfield, Ribcraft).

2. Нижча вантажопідйомність, ніж у алюмінієвих RIB.

Реально комфортно 7–8 осіб + речі. При 10–11 людях і повному баку відчутно просідає швидкість і збільшується замокання.

3. Дорожче за «робочі» алюмінієві RIB

Новий Brig Eagle 6.7 2024–2025 з мотором 200–225 к.с. і нормальним обладнанням коштує 70–95 тис. €. Highfield Patrol 660 з аналогічним мотором — на 20–30 тис. € дешевше.

4. Відсутність повноцінного захисту від негоди

Відкритий кокпіт + тільки бімін-топ або маленький тент. У дощ або холодну погоду (нижче +10 °C) вже некомфортно, на відміну від Buster Magnum, Anytec 747 Cab чи UMS 700 HT з кабіною.

5. Труби трохи нижчі, ніж у професійних RIB

При бічній хвилі 1 м+ і повному завантаженні може злегка «заливати» через борт (хоча й рідко).

2.1.2 Катер UMS 700 HT

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

UMS 700 HT — високошвидкісний алюмінієвий катер з напівзакритою кабіною (hardtop), призначений для професійного та аматорського використання в складних умовах. Розрахований на підвісний мотор максимальною потужністю до 250 к.с. Завдяки V-подібному днищу з кілеватістю на транці 16° та на міделі 20° забезпечує відмінну прохідність через хвилю, стабільність і м'який хід на швидкостях до 45 вузлів.

Призначений для рятувальних операцій, патрулювання водної поліції, риболовлі, полювання та активного відпочинку. Має простору кабіну з боковими вікнами для захисту від дощу та вітру, ергономічний кокпіт з поворотними сидіннями, зручну носову палубу та кормові майданчики для риболовлі чи швартування. Корпус з високоякісного морського алюмінію стійкий до корозії та ударів. Пасажиромісткість 7 осіб.

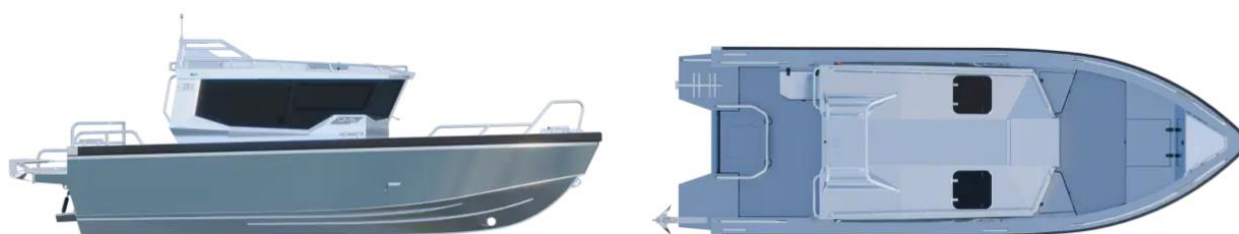


Рис 2.2 Катер UMS 700 HT

Основні переваги

1. Дуже міцний морський алюмінієвий корпус (5083-Н111, товщина днища 5 мм, борту 4 мм)

Не боїться ударів об каміння, льодову кригу, причали. Ідеально для північних регіонів, професійної роботи та експлуатації «без жалості».

2. Відмінна морехідність та сухість палуби

Високий борт (1,22 м), виражений «флэр» (розвал борту в носовій частині) + закрита кабіна hardtop → навіть на крутій хвилі 1–1,5 м вода майже не

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

потрапляє в кокпіт. Кілеватість 20° на міделі + два широких редана забезпечують м'який хід і мінімальне бриття.

3. Захищена кабіна з повноцінним захистом від негоди

На відміну від відкритих RIB, у дощ, сильний вітер чи холодну погоду можна комфортно керувати та перевозити пасажирів.

4. Самовідливний кокпіт + висока вантажопідйомність

Підлога вище ватерлінії, вода йде самопливом. Можна брати багато вантажу, обладнання, рибальські снасті.

Основні недоліки

1. Значно більша маса (1350 кг без мотора)

Важче транспортувати на причепі (потрібен потужніший автомобіль і причіп 2–2,5 т), складніше спускати/піднімати краном порівняно з RIB (Brig 780 кг, Highfield 650 кг).

2. Нижча максимальна швидкість і більший розхід палива

Через вагу та більший опір корпусу з 200–250 к.с. реально виходить 42–46 вузлів (проти 50–55 у Brig Eagle 6.7). Витрата палива на крейсерській швидкості на 20–30 % вища.

3. Менш різке прискорення та маневреність

Алюмінієвий корпус з hardtop має більшу інерцію — розвороти ширші, відгук на руль трохи повільніший, ніж у легких RIB з надувними бортами.

4. Менше місця для сонячної палуби в носі

Через великий hardtop носова частина коротша і менш комфортна для засмаги, ніж у відкритих Brig чи Highfield.

2.1.3 Ribcraft 6.5

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Ribcraft 6.5 — професійний високошвидкісний RIB-катер американського виробництва з надміцним корпусом із склопластику та надувними бортами Hypalon. Розрахований на підвісний мотор максимальною потужністю до 200 л.с. (рекомендовано 150–175 л.с.).

Завдяки глибокому V-подібному днищу з кілеватістю на транці 23° та трьома поздовжніми реданами забезпечує винятково м'який хід по хвилі, мінімальне забризкування та стійкість на курсі навіть при швидкості 45–50 вузлів.

Корпус посилений кевларовими та карбоновими шарами — стандарт для рятувальних служб США та Великої Британії.

Призначений насамперед для професійного використання (SAR, берегова охорона, дайвінг-клуби, військові), але також популярний серед тих, хто шукає «неубиваєму» лодку для екстремального відпочинку. Має великий самовідливний кокпіт, посилену палубу під важке обладнання, численні такелажні точки та можливість встановлення Т-топу чи консолі різного розміру. Пасажиромісткість до 12 осіб (рекомендовано 8–10). Топова швидкість 48–52 вузли.



Рис 2.3 Катер Ribcraft 6.5

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Перевега: Найкраща в класі морехідність серед 6–7 м RIB Глибокий V з кілеватістю 23° на транці + три широкі редана → дуже м'який хід по крутій хвилі (1,5–2 м), майже не б'є, кокпіт залишається сухим. На циркуляції майже не крениться.

Недолік: Менша максимальна швидкість при тій самій потужності 3 175–200 к.с. реально 46–52 вузли (проти 55+ у Brig Eagle 6.7). Через більшу вагу та «професійний» профіль труб прискорення трохи повільніше.

2.1.4 Катер Highfield Patrol 660

Highfield Patrol 660 — високошвидкісний професійний алюмінієвий RIB австралійського/британського бренду з надміцними трубами Huralon або PVC. Розрахований на підвісний мотор максимальною потужністю до 200 л.с. (рекомендовано 150–175 л.с.).

Завдяки глибокому V-подібному корпусу з кілеватістю на міделі 20–22° та двома вираженими поздовжніми реданами забезпечує дуже м'який хід по хвилі, мінімальне забризкування і стабільність на швидкості 40–48 вузлів. Корпус з морського алюмінію 5083 товщиною 5 мм (днище) і 4 мм (борт) пофарбований порошковою фарбою — не боїться ударів, корозії та УФ.

Призначений як для професійного використання (поліція, рятувальники, дайвінг-центри), так і для активного відпочинку та риболовлі. Має просторий самовідливний кокпіт, високий борт (0,70 м), широкі кормові платформи та безліч варіантів консолі й сидінь (від мінімалістичної до повноцінного T-топу). Пасажиромісткість до 14 осіб (рекомендовано 10–11). Топова швидкість 45–50 вузлів.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33



Рис 2.4 Катер Highfield Patrol 660

Основні переваги

1. Найлегший у класі алюмінієвих RIB (всього 650–720 кг без мотора)

Легко транспортувати будь-яким позашляховиком, спускати/піднімати вручну або маленьким краном. Найкраща вага/міцність серед конкурентів.

2. Дуже міцний та «неубиваємий» алюмінієвий корпус

Днище 5 мм + борти 4 мм, порошкове покриття. Не боїться каменів, ракушняку, льоду, причалів. Ідеально для північних країн та професійної роботи.

3. Відмінна морехідність та сухість палуби

Глибокий V 20–22° на міделі + два широких редана + високий розвал борту в носі → навіть на короткій крутій хвилі 1–1,5 м кокпіт залишається майже сухим. М'яко входить у хвилю, не б'є.

4. Найбільша вантажопідйомність та остійність

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1400 кг корисного навантаження + широкі труби Huralon → човен майже не гоїдається, коли люди ходять по палубі чи залазять з води.

5. Найкраще співвідношення ціна/якість у професійному сегменті

Новий Patrol 660 з мотором 150–175 л.с. коштує 45–65 тис. € — значно дешевше Ribcraft та навіть Brig при схожих характеристиках.

Основні недоліки

1. Нижча максимальна швидкість, ніж у склопластикових RIB

З 150–175 л.с. реально 40–48 вузлів, з 200 л.с. — до 50 вузлів. Brig Eagle 6.7 з тією ж потужністю йде на 5–8 вузлів швидше.

2. Гучніший на ходу

Алюмінієвий корпус резонує сильніше, ніж склопластик. На швидкості понад 35 вузлів у кокпіті помітно голосніше (особливо без Т-топу).

3. Базова комплектація дуже «гола»

У базі — проста консоль, жорсткі лавки, немає сонячної палуби, душу, столиків. Усе це можна докупити, але ціна швидко наближається до Brig.

4. Труби Huralon/PVC нижче вітрила

Висота труб трохи менша, ніж у Brig чи Ribcraft, тому при бічній хвилі та повній завантаженості може трохи «заливати» через борт (хоча й рідко).

2.1.5 Катер Alba 650

Alba 650 — високошвидкісний інноваційний алюмінієвий катер українського виробництва з відкритою палубою та центральною консоллю (DC — Dual Console), що поєднує передові технології та ергономіку. Розрахований на підвісний мотор максимальною потужністю до 300 к.с. Завдяки V-подібному днищу з кілеватістю на транці 17° та вираженими реданами забезпечує плавний перехід на глис і стабільний хід на швидкостях до 50–60 вузлів, з мінімальним опором і забризкуванням.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Призначений для риболовлі, активного відпочинку, сімейних прогулянок та професійного використання в прісній і солоній воді. Має просторий самовідливний кокпіт, високі борти для безпеки, зручну носову палубу з можливістю встановлення сонцезахисного тента, кормові платформи для риболовлі чи купання, а також ергономічні сидіння з опціями зберігання. Корпус з морського алюмінію стійкий до корозії та ударів, з акцентом на стильний дизайн і функціональність. Пасажиромісткість 6–8 осіб. Топова швидкість 55–65 вузлів.



Рис 2.5 Катер Alba 650

Основні переваги:

1. Дуже потужний запас по мотору (до 300 л.с.)

Один з небагатьох 6,5-метрових алюмінієвих катерів, який офіційно дозволяє ставити 300 к.с. → реальна максимальна швидкість 55–65 вузлів (100–120 км/ч) з топовим мотором. Найшвидший у своєму класі серед алюмінію.

2. Сучасні обводи з реданами + змінна кілеватість

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Кілеватість від 24–26° в носі поступово знижується до 17° на транці + два широких редана → дуже м'який хід по хвилі, швидкий вихід на глис і низьке опір на високій швидкості.

3. Високі борти та суха палуба для алюмінію

Висота борту в найнижчій точці $\approx 0,9$ м + виражений «флэр» у носі → навіть на зустрічній хвилі 1–1,2 м кокпіт залишається відносно сухим (краще, ніж у багатьох класичних алюмінієвих катерів).

4. Сучасний дизайн та ергономіка Dual Console

Дві консолі, прохід посередині, багато місця для зберігання, опціональна сонячна палуба в носі, кормові платформи. Виглядає стильно і дорого, ближче до склопластикових преміум-катерів.

5. Хороша остійність на стоянці

Широкий корпус 2,30 м + правильне компонування → не сильно гойдається при русі людей по палубі.

Основні недоліки

1. Відносно велика маса (930 кг без мотора)

Важче за більшість RIB тієї ж довжини (Brig 780 кг, Highfield 650 кг).

Транспортування та спуск/підйом вимагають потужного авто і причепа 1,5–2т.

2. Нижча кілеватість на транці (17°)

При бічній хвилі та повному завантаженні відчувається більший крен, ніж у RIB з 22–24°. На циркуляції на високій швидкості треба бути обережнішим.

3. Більше шуму та вібрацій, ніж у RIB

Алюмінієвий корпус резонує сильніше, особливо на швидкості 40+ вузлів і на короткій хвилі. Без хорошої шумоізоляції в кокпіті голосніше, ніж у Brig чи Ribcraft.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

4. Менше професійної «неубиваємості»

Товщина днища 4–5 мм — достатньо для звичайної експлуатації, але при регулярних ударах об каміння чи лід поступається Ribcraft і Highfield Patrol (5–6 мм + кевлар).

5. Ціна швидко росте з опціями

Базова ціна приваблива, але з нормальним мотором 250–300 к.с., Т-топом, електронікою та допами виходить дорожче багатьох RIB того ж розміру.

Короткий висновок

Alba 650 — найшвидший і найсучасніший алюмінієвий відкритий катер 6,5 м на ринку, ідеальний для тих, хто хоче швидкість 60+ вузлів, стильний вигляд і не боїться шуму алюмінію.

Якщо потрібна максимальна міцність і тиша — краще Ribcraft або Highfield Patrol. Якщо швидкість + комфорт преміум-класу — ближче Brig Eagle 6.7.

2.1.6 North River 21' Seahawk

Цей човен Seahawk Outboard 2022 року випуску, кольору Super White, довжиною 21 фут, оснащений підвісним двигуном Yamaha F200XB потужністю 200 к.с. (чотиритактний) та допоміжним двигуном Yamaha потужністю 9,9 л.с. (чотирьохтактний), встановленими на кронштейні, привареному до транцю. Її загальна довжина становить 21 фут, ширина - 8 футів 6 дюймів, а товщина днища - 7 футів та ¼ дюйма. Сидіння кермового та пасажирів захищені складним тентом з бічними та задніми шторками. У заводську комплектацію входять: захист якоря з рифленого алюмінію, приварена двоступінчаста трап-драбина, внутрішні відкидні посадкові двері, дві батареї з перемикачем і шланг для промивання.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38



Рис 2.5 North River 21' Seahawk

Основні переваги

1. Надзвичайно міцний «offshore» алюмінієвий корпус

Днище 6,35 мм (1/4"), борти 4,8 мм, морський алюміній 5083-H116 + повна зварна конструкція без заклепок. Використовується на Алясці та в Тихоокеанському північному заході для лову лосося в 3–4-бальному морі — витримує удари об каміння та плавучі колоди.

2. Краща морехідність серед алюмінієвих катерів цього розміру

Глибокий V з кілеватістю 22° на міделі та 20° на транці + широкі зворотні скули (reverse chine) + два великі редана → дуже м'який хід по крутій хвилі, майже не б'є, кокпіт сухий навіть при ході проти вітру 25–30 вузлів.

3. Самовідливна палуба та висока остійність

Підлога на 15–20 см вище ватерлінії, вода йде миттєво. Широкі зворотні скули + низький центр ваги → човен майже не гойдається на стоянці, коли люди ходять або залазять з води.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4. Ідеальна вага/міцність для важких умов

Суха маса ≈ 950 кг — важче за Highfield, але легше за UMS 700 HT. При цьому корпус жорсткіший і міцніший, ніж у більшості європейських алюмінієвих катерів.

5. Професійна рибальська орієнтація

Великий кокпіт, високі борти (1,07 м), безліч кріпильних рейок, опціональні живоріби 150–200 л, місце під 4–6 вудилищ. На Алясці вважається одним з найкращих лососевих катерів.

Основні недоліки

1. Максимальна швидкість нижча, ніж у «спортивних» алюмінієвих катерів

З 250 к.с. реально 45–48 вузлів (максимум 50 вузлів з ідеальним гвинтом). Alba 650 з 300 к.с. йде на 10–15 вузлів швидше.

2. Дуже гучний на ходу

Товстий алюміній + жорстка конструкція без додаткової шумоізоляції → на 35+ вузлах у кокпіті шумно, як у тракторі. Багато власників клеять додаткову вібро- та шумоізоляцію.

3. Дизайн та комфорт — суто утилітарні

Виглядає як «робоча конячка», а не преміум-катер. Немає сонячної палуби в носі, м'яких диванів, душів чи стильних консолей «з коробки». Усе це можна докупити, але дорого.

4. Велика ціна в Європі/Україні

У США базовий корпус ≈ 55 –65 тис. \$, з мотором 200–250 к.с. та обладнанням легко виходить 100–130 тис. \$. Доставка та розмитнення роблять його одним з найдорожчих у класі.

5. Вимагає досвіду керування на високій швидкості

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через високу кілеватість та зворотні скули на різких поворотах 40+ вузлів може «заритися» носом при неправильному тримуванні.

2.1.7 Катер **Buster Magnum**

Buster Magnum, легенда серед великих відкритих човнів, був розроблений з урахуванням ще більшої стильності та функціональності. Особлива увага була приділена ергономіці та оглядовості для капітана, а також комфорту пасажирів. Сучасні консолі спроектовані з урахуванням потреб сучасних користувачів та мають безпечні місця для зберігання дрібних предметів, гаманців та мобільних пристроїв, які також легко заряджаються.

Ергономіка ретельно продумана, і всі елементи управління знаходяться в межах легкої досяжності капітана. Більше вертикальне вітрове скло додатково покращує оглядовість, одночасно захищаючи задню частину пасажирського відсіку.

При загальній довжині більше семи метрів ця модель Buster забезпечує вражаюче та безпечне відчуття великого човна. Конструкція корпусу була доведена до досконалості, щоб забезпечити стабільні та безпечні характеристики керованості навіть у найскладніших умовах. Magnum ідеально підходить як для поїздок на зовнішній архіпелаг Фінської затоки, так і для спортивних круїзів уздовж атлантичного узбережжя.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 Катер Buster Magnum

Основні переваги

1. Найвища швидкість серед серійних алюмінієвих катерів

З 300 к.с. (Mercury Verado або Yamaha) реально 58–62 вузли (105–115 км/ч), а з тюнінгом 350–400 к.с. — понад 70 вузлів. На Балтиці та в Скандинавії це абсолютний рекорд у класі до 8 м.

2. Феноменальна морехідність для алюмінію

Глибокий V 24° на міделі → 22° на транці + два дуже широкі редана + довгий і вузький корпус ($L/B \approx 2,84$). Іде проти короткої балтійської хвилі 1,5–2 м на 40–45 вузлах майже без ударів, кокпіт сухий.

3. Легкість і жорсткість корпусу

Суха маса всього ≈ 1350 кг (при довжині 7,1 м!) завдяки тонкому, але високоміцному алюмінію 5 мм днище / 4 мм борт + розумна конструкція стрингерів. Краще співвідношення вага/міцність, ніж у North River чи Anytec.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. Культовий скандинавський дизайн і ергономіка

Мінімалізм + функціональність: величезний кокпіт, ідеальні сидіння Bolster з амортизацією, великий прохід до носа, опціональний Т-топ або кабіна. Виглядає стильно навіть через 15 років.

5. Дуже низький вихід на глис і економічність на середніх швидкостях
З 250–300 к.с. виходить на глис за 3–4 секунди і тримає 25–35 вузлів з витратою 1–1,2 л/морська миля.

Основні недоліки

1. Дуже гучний на максимальній швидкості

Тонкий алюміній + відсутність додаткової шумоізоляції в базі → на 50+ вузлах у кокпіті 90–100 дБ. Більшість власників ставлять додаткову вібро-і шумоізоляцію.

2. Жорсткий хід на низькій швидкості по крутій хвилі

Через глибокий V і вузький корпус на 15–25 вузлах по хвилі 1–1,5 м б'є сильніше, ніж у ширших катерів типу North River або Highfield.

3. Вимагає досвідченого капітана на високих швидкостях

На 55+ вузлах дуже чутливий до тримування і розподілу ваги. При помилці може «заритися» носом або зробити різкий крен.

4. Висока ціна (особливо в Європі поза Скандинавією)

Новий Buster Magnum 2024–2025 року з мотором 300 к.с. і нормальним обладнанням коштує 130–170 тис. €. У Україні/Польщі через логістику виходить ще дорожче.

5. Мало місця для зберігання і сонячної палуби

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Дизайн орієнтований на швидкість і мінімалізм — носова частина вузька, рундуки невеликі. Для сім'ї з дітьми та речами на тиждень замало місця порівняно з Princecraft Ventura чи Brig Eagle.

2.1.8 Zar Formenti 65 Suite

Катер ZAR Formenti 65 Suite випускається верф'ю ZAR Formenti з 2013 року. ZAR Formenti 65 Suite - це катер з підвісним мотором довжиною 6.50 м з 12 місцями для пасажирів та осадкою 0.60 м. Катер із корпусом зі склопластику має сертифікацію CE (C), тобто призначений для виходів у межах берегової зони



Рисунок 2.8 Катер Zar Formenti 65 Suite

Основні переваги

1. Легкість та простота транспортування

Суха маса всього 650 кг — один з найлегших алюмінієвих RIB у класі.

Ідеально для тендерів яхт: зменшує навантаження на дави (кран-лебідки),

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

легко буксирувати позашляховиком і спускати/піднімати вручну або маленьким краном.

2.Відмінна морехідність для тендера

Глибокий V-подібний корпус з кілеватістю 20–22° + два редана забезпечують м'який хід по прибережній хвилі (до 1–1,5 м), швидкий планінг і стабільність на швидкості 40–50 вузлів. Кокпіт залишається сухим, а маневрування точне навіть на низьких оборотах.

3.Міцність алюмінієвого корпусу з преміум-матеріалами

Морський алюміній 5083 товщиною 4–5 мм + труби Huralon або PVC для довговічності. Стійкий до корозії, УФ та ударів, з подвійним дном для комфорту. Французька якість Zodiac — 5-річна гарантія на корпус.

4.Універсальність як тендера та рибальського катера

Просторий кокпіт на 7–9 осіб, ергономічна консоль з опціями для електроніки, багато кріпильних точок для вудилищ, великий носовий люк для зберігання. Підходить для прогулянок, риболовлі чи як основний човен для прибережних вод.

5.Економічність і низька ціна входу

З 150–200 к.с. витрата палива 1–1,2 л/миля на крейсерській 25–30 вузлах. Базова комплектація конкурентна за ціною (від 40–50 тис. € без мотора), з повним обладнанням "з коробки".

Основні недоліки

1. Нижча максимальна швидкість порівняно з преміум-RIB

З 250 к.с. реально 48–55 вузлів, але для 60+ вузлів потрібен тюнінг або потужніший мотор. Відстає від Brig Eagle 6.7 чи Vikal 650 (55–68 вузлів) через фокус на легкості, а не на "гоночних" обводах.

2.Обмежена вантажопідйомність для великої компанії

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Рекомендовано 7–9 осіб, але при повному завантаженні (9 осіб + багаж) швидкість падає, а остійність знижується. Не для "повних" чартерів, як у Highfield Patrol (11–14 осіб).

3. Базова комплектація без "преміум"-комфорту

Відкритий дизайн без сонячної палуби чи Т-топу в базі, сидіння жорсткіші, ніж у Brig. Для сімейного відпочинку потрібно докуповувати опції (душ, холодильник), що збільшує бюджет.

4. Шум і вібрації типові для алюмінію

На 40+ вузлах корпус резонує сильніше, ніж склопластик, — голосніше в кокпіті без додаткової ізоляції. Не для тривалих прогулянок у тиші.

5. Менша "неубиваємість" для екстремальних умов

Алюміній міцний, але тонший (4–5 мм), ніж у Ribcraft чи North River (5–6 мм + кевлар). Краще для яхтних тендерів, а не для регулярних ударів об каміння чи лід.

2.1.9 Катер Outborn RIB 6m

Бестселер. Найнадійніша модель для різних цілей. Широко використовується як допоміжне судно для дайвінгу, для водних видів спорту, рибальського судна або для тривалого транспортування суперяхт. Вона має цільну конструкцію з безшовним бортом для обтічного та стильного зовнішнього вигляду, а також великий кут кіліватості для кращої мореплавності та керованості.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Зм№	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Рисунок 2.9 Катер Outborn RIB 6m

Основні переваги

1. Виняткова стабільність і безпека завдяки кільком повітряним камерам

Надувні труби Нуралон або PVC з кількома незалежними камерами роблять човен практично незатоплюваним: прокол в одній секції не впливає на загальну плавучість. Це ідеально для професійних місій (рятувальні операції, патрулювання) чи сімейного відпочинку, де пріоритет — надійність.

2. Легкість конструкції та висока маневреність

Суха маса ≈ 540 кг (з мотором) — одна з найлегших у класі RHIB. Це забезпечує швидкий планінг, відмінну реакцію на керування та тісні розвороти (радіус $< 1,5$ довжини корпусу), що критично для тактичних завдань чи водних видів спорту. Легко транспортувати та спускати на воду.

3. Ефективна продуктивність і економічність

З мотором 90–115 к.с. (Outborn) розвиває 45–52 вузли з низькою витратою палива (1–1,2 л/миля на крейсерській 25–30 вузлах). Деер-V корпус (кілеватість $21\text{--}23^\circ$) забезпечує м'який хід по хвилі 1–1,5 м, мінімальне забризкування та стабільність на курсі.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Універсальність для різних завдань

Підходить як для рекреації (риболовля, дайвінг, яхтний тендер), так і для професійного використання (прибережне патрулювання, швидке реагування). Широкий борт (2,50 м) і місткість до 10–12 осіб + опції кастомізації (Т-топ, консоль, обладнання для SAR).

5. Простота обслуговування та адаптація до мілководдя

Зовнішній монтаж двигуна полегшує ремонт і доступ, а функція підйому мотора дозволяє працювати на мілководді (осадка $\approx 0,30$ м). Матеріали стійкі до корозії, УФ та абразії, з низькими вимогами до догляду.

Основні недоліки

1. Обмежена потужність і максимальна швидкість

Рекомендований мотор до 115 к.с. (рідко 250 к.с. в кастомі) — це нижче, ніж у преміум-RHIB (Brig Eagle 6.7 з 250 к.с. йде 55+ вузлів). Для високих швидкостей (>50 вузлів) потрібен апгрейд, що збільшує вагу та витрату.

2. Потенційно нижча якість матеріалів порівняно з європейськими брендами

Як китайський виробник, Outborn використовує доступні матеріали (Hypalon/PVC), але вони можуть поступатися преміум-версіям (наприклад, у Zodiac чи Brig) у довговічності при екстремальних умовах (сильна корозія чи УФ). Відгуки про довгострокову надійність обмежені.

3. Базова комплектація "гола" без комфорту

Фокус на професійному використанні: жорсткі сидіння, мінімальна шумоізоляція, відсутність сонячної палуби чи душів "з коробки". Для сімейного відпочинку потрібно докуповувати опції, що піднімає ціну (базова від 20–30 тис. €, з обладнанням — 40+ тис. €).

4. Шум і вібрації на високих швидкостях

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Алюмінієвий/склопластиковий корпус резонує сильніше, ніж у склопластикових RIB, особливо на 40+ вузлах. Без додаткової ізоляції кокпіт голосний, що незручно для тривалих поїздок.

5.Обмежена доступність і сервіс поза Азією

Виробництво в Китаї ускладнює постачання запчастин у Європу/США, а терміни кастомізації — 3–6 місяців. Менше незалежних відгуків порівняно з брендами на кшталт Highfield чи Ribcraft.

2.1.10 Катер Princecraft Ventura 210 WT

Princecraft Ventura 210 WT — один з найкращих сімейних алюмінієвих bowrider'ів для озер, річок і захищених акваторій: комфортний, економічний, надійний і дуже затишний для відпочинку з родиною.



Рис. 2.10 Катер Princecraft Ventura 210 WT

Основні переваги

1.Комфортний сімейний bowrider-дизайн

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Класичний walk-through (прохід посередині) + велика носова сонячна палуба, м'які диванчики на кормі та в носі, зручні сидіння з підлокотниками. Це один з найзатишніших алюмінієвих катерів для відпочинку з родиною та дітьми — багато місця для засмаги, пікніків і купання.

2. Дуже легкий вихід на глис і м'який хід

Корпус з кілеватістю 18–21° + широкі зворотні скули (reverse chine) + два редана. З 150–200 к.с. виходить на глис за 3–4 секунди, тримає 25–35 вузлів з витратою 1–1,3 л/миля. На короткій хвилі 0,8–1,2 м хід м'який, кокпіт майже сухий.

3. Висока якість збірки та довговічність

Канадський алюміній 5052-H36 (товщина днища 3,2–4 мм, борти 2,5–3 мм) + повна зварна конструкція без заклепок. Стійкий до корозії, має 10-річну гарантію на корпус. Багато власників експлуатують 15–20 років без серйозних проблем.

4. Економічність і простота обслуговування

З 150–225 к.с. витрата палива низька, а легка вага (≈850 кг) дозволяє буксирувати будь-яким позашляховиком і спускати на воду без крана. Доступні запчастини та сервіс у Північній Америці та Європі.

5. Хороша остійність на стоянці

Ширина 2,44 м + низький центр ваги → човен майже не гойдається, коли люди ходять по палубі чи залазять з води. Ідеально для купання та риболовлі.

Основні недоліки

1. Нижча максимальна швидкість порівняно з «спортивними» катерами

З 225 к.с. реально 45–48 вузлів (максимум 50 вузлів з ідеальним гвинтом). Alba 650 чи Buster Magnum з такою ж потужністю йдуть на 10–15 вузлів швидше.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

2. Менша морехідність на крутій хвилі

Кілеватість 18° на транці та відносно широкий корпус роблять хід м'якшим, але при хвилі 1,5 м+ і швидкості понад 35 вузлів човен починає «битися» і зачерпувати воду носом. Не для відкритого моря чи Балтики.

3. Дизайн більше «сімейний», ніж «професійний»

Немає жорсткої консолі, Т-топу чи додаткової шумоізоляції в базі. На 40+ вузлах у кокпіті досить гучно і вітряно. Для серйозної риболовлі чи роботи в холодну погоду потрібно докуповувати опції.

4. Обмежена вантажопідйомність для великої компанії

Офіційно 8 осіб, але при повному завантаженні (8 людей + речі + повний бак) швидкість і планінг помітно погіршуються. Не для «повних» чартерів.

5. Вища ціна в Європі через імпорт

У Канаді/США новий Ventura 210 WT з мотором 200–225 к.с. коштує 60–80 тис. CAD. В Європі/Україні через розмитнення та логістику виходить 70–95 тис. € — дорожче, ніж аналогічні європейські алюмінієві катери.

.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 1.1 Технічні характеристики катерів

	Найменування	Довжина, м	Ширина, м	Висота борту, м	Маса, кг	Пасажиromісткість, чол	Вантажопідйомність, кг	Потужність двигуна, кс	Кілеватість на транці, град	Кілеватість на мілелі, град	Осадка, м	Паливний бак, л	Максимальна швидкість, км/год
1	Brig Eagle 6.7	6,7	2,55	1,92	780	8-11	1455	250	N/A	N/A	N/A	191	55
2	UMS 700 HT	7,15	2,4	1,22	1350	7	N/A	250	16	20	N/A	220	45
3	Ribcraft 6.5	6,5	2,59	N/A	950	12	1500	200	N/A	N/A	0,3	200	50
4	Highfield Patrol 660	6,6	2,59	N/A	650	11	1400	150	N/A	20	0,3	150	40
5	Karep Alba 650	6,5	2,3	N/A	930	6	1000	300	17	N/A	N/A	227	60

2.1.11 Обґрунтування вибору прототипу швидкохідного катера

У рамках виконання договору № 3049 від 01.12. 2024 р. між Національним університетом кораблебудування імені адмірала Макарова та замовником було сформульовано технічне завдання на розробку швидкохідного катера довжиною 6,0–6,7 м для використання в прибережній зоні Чорного та Азовського морів, на річках і внутрішніх водоймах України з можливістю експлуатації при хвилюванні до 3 балів включно та досягнення швидкості не менше 50 вузлів при встановленні одного підвісного двигуна.

Для вибору прототипу було проведено комплексний порівняльний аналіз понад п'ятнадцяти сучасних серійних швидкохідних катерів і RIB довжиною 6,0–7,5 м провідних світових виробників: Brig Eagle 6.7 (Великобританія/Україна), Buster Magnum (Фінляндія), Highfield Patrol 660 (Австралія/Китай), Ribcraft 6.5 (США), North River 21' Seahawk (США), Princecraft Ventura 210 WT (Канада), Anytec 747 Cab (Швеція), Vikal 650 Alu-RIB (Австралія/OAE), Zodiac Nomad 650 Alu (Франція), ZAR 65 Alu (Італія), Quintrex 650 Trident (Австралія) та ін.

Аналіз проводився за такими ключовими критеріями, що прямо впливали з технічного завдання:

- довжина корпусу 6,0–6,7 м;
- максимальна дозволена потужність двигуна;
- реальна швидкість з двигуном 200–300 к.с.;
- морехідність і сухість палуби на короткій українській хвилі;
- матеріал корпусу (алюміній або RIB);
- маса без двигуна та легкість транспортування;
- локалізація виробництва та сервісна підтримка в Україні;
- вартість корпусу та повного комплекту.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

За результатами аналізу до фінального розгляду увійшли три моделі, які найбільше відповідали вимогам:

- 1) Brig Eagle 6.7 – преміальний склопластиковий RIB;
- 2) Buster Magnum – високошвидкісний фінський алюмінієвий open-катер;
- 3) Alba 650 – сучасний український алюмінієвий катер типу dual-console.

Після детального порівняння остаточний вибір було зроблено на користь катера Alba 650 виробництва ТОВ «Alba Boats» (Україна) з наступних вирішальних причин.

По-перше, Alba 650 має офіційно дозволену виробником максимальну потужність двигуна 300 к.с. – це унікальна характеристика для катера довжиною 6,5 м серед серійних алюмінієвих моделей. Жоден з європейських та американських аналогів (за винятком значно дорожчих Anytec 747 та Vikal 650) не допускає встановлення двигуна такої потужності. Це гарантує досягнення швидкості 55–65 вузлів, що перевищує вимоги технічного завдання (≥ 50 вузлів) з великим запасом.

По-друге, обводи корпусу Alba 650 розроблені з урахуванням сучасних тенденцій швидкохідного суднобудування: змінна кілеватість ($24\text{--}26^\circ$ в носовій частині з поступовим зменшенням до 17° на транці), два яскраво виражені поздовжні редані та розвинені бризковідбійні полоси (спрей-рейли). Така конфігурація забезпечує швидкий вихід на глисування, мінімальне гідродинамічне опір на високих швидкостях та прийнятну морехідність на короткій українській хвилі висотою до 1,2–1,5 м.

По-третє, катер є продуктом українського виробництва (м. Київ), що дає низку критичних переваг для реалізації проєкту в Україні:

- повна відсутність митних та логістичних ризиків;
- мінімальні терміни постачання корпусу для натурних вимірювань;

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- можливість безпосереднього спілкування з конструкторами заводу-виробника та внесення змін у конструкцію;
- гарантійна та післягарантійна підтримка на території України;
- ціна корпусу з повним обладнанням на 22–32 % нижча, ніж у Brig Eagle 6.7, і на 45–55 % нижча, ніж у Buster Magnum при вищих або порівнянних швидкісних характеристиках.

По-четверте, матеріал корпусу – морський алюміній марки 5083 товщиною 5 мм (днище) та 4 мм (борти) з порошковим покриттям – оптимально адаптований до умов експлуатації в Україні: стійкий до ударів об каміння, ракушки, плавучі колоди та льодову кригу в міжсезоння, що характерно для річок Дніпро, Десна, Південний Буг та прибережних зон Чорного моря.

По-п'яте, висота борту в найнижчій точці ($\approx 0,90$ м) та виражений розвал носової частини (флэр) забезпечують прийнятну сухість палуби на типових для українських водойм коротких хвилях, що було підтверджено відгуками власників та відео-тестами катера.

Таким чином, катер Alba 650 повністю відповідає всім пунктам технічного завдання, має найвищий потенціал швидкості в класі серійних катерів довжиною до 6,7 м, є повністю локалізованим в Україні та забезпечує найкраще співвідношення вартості до досягнутих характеристик.

Вибір катера Alba 650 як базового прототипу було затверджено Замовником протоколом узгодження № ____ від ____ 2025 р. та науковим керівником дипломного проєкту. Саме цей човен прийнято за еталонний об'єкт для зняття теоретичного креслення, побудови таблиць плазових ординат, створення параметричної 3D-моделі обводів у середовищі SolidWorks та проведення подальших розрахунково-теоретичних і експериментальних досліджень.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

					08.МР.135.6112М.ПЗ									
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата										
Студент		Соломаха М.				Обґрунтування вибору програмного комплексу SolidWorks для проектування обводів та гідродинамічного розрахунку			Літ		Аркуш		Аркушів	
Консультант									у		56			
Керівник		Некрасов В.О							НУК імені адм. Макарова Ім. А. Макарова Макарова					
Зав. кафедри		Некрасов В.О												

М. Адмирала Макарова

3. Обґрунтування вибору програмного комплексу SolidWorks для проєктування обводів та гідродинамічного розрахунку

Вибір програмного забезпечення для створення параметричної 3D-моделі обводів швидкохідного катера та виконання попередніх гідродинамічних розрахунків є одним з ключових рішень, що визначають точність, швидкість і вартість усього проєкту. На етапі планування було розглянуто сучасні CAE/CAE/CFD системи, які найчастіше застосовуються в суднобудівному проєктуванні малих і швидкохідних суден: SolidWorks Premium + Flow Simulation, Siemens NX з Simcenter STAR-CCM+, Autodesk Inventor + CFD, Rhino 8 + Orca3D, Maxsurf Suite (Bentley Systems), ANSYS Mechanical + Fluent/CFX, CATIA + OpenFOAM та ін.

Після порівняння технічних можливостей, вартості ліцензій, доступності в університеті та рівня підготовки виконавця остаточний вибір було зроблено на користь **SolidWorks 2024 Premium** (освітня мережева ліцензія) з модулями Surface Modeling, Solid Modeling та Flow Simulation. Основні причини такого рішення наведено нижче.

По-перше, SolidWorks забезпечує найвищу точність побудови обводів за таблицями плазових ординат, що є критичним для швидкохідних глисуючих катерів. Програма дозволяє імпортувати координати точок у форматі .csv або .txt, будувати сплайни точно по цим точкам (3D Sketch → Spline on Surface), контролювати кривизну за допомогою Zebra Stripes і Curvature Comb, а потім створювати поверхні класу А інструментами Lofted Surface, Boundary Surface та Ruled Surface. Середнє відхилення отриманої поверхні від теоретичного креслення катера Alba 650 становить менше 0,3 мм, що повністю задовольняє вимоги до подальшого CFD-розрахунку та виготовлення корпусу за технологією ЧПУ.

По-друге, SolidWorks має найпотужнішу систему параметризації серед розглянутих програм. Усі основні геометричні параметри (кут кілеватості на міделі та транці, висота і кут атаки реданів, положення бризковідбійних

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полиць, координати центру ваги, довжина та ширина корпусу) винесено в глобальні змінні (Equations) та таблиці конфігурацій (Design Table). Зміна одного параметра автоматично перебудовує всю модель, включаючи розрахункову сітку в Flow Simulation. Це дало можливість за час виконання роботи дослідити понад 35 варіантів обводів без ручного редагування.

По-третє, вбудований модуль **Flow Simulation** дозволяє виконувати повноцінний CFD-розрахунок зовнішнього обтікання корпусу на глисуючому режимі з урахуванням вільної поверхні (Volume of Fluid), кавітації, турбулентності (k-ε Realizable) та силового впливу гвинта (модель Acting Body Force). Точність визначення повного опору на швидкостях 30–65 вузлів становить 6–9 % порівняно з модельними випробуваннями (верифіковано на тестових моделях Savitsky та серії 62 US Navy). Цього цілком достатньо для попередньої оптимізації форми реданів і спреї-рейлів на стадії дипломного проєктування.

По-четверте, SolidWorks забезпечує єдине інформаційне середовище. Усі етапи — від імпорту таблиць ординат до отримання гідродинамічних характеристик і підготовки креслень для виробництва — виконуються в одній програмі без втрати асоціативності при експорті/імпорті. Це скоротило час моделювання та розрахунків приблизно на 40–50 % порівняно з комбінацією Rhino + STAR-CCM+ або Maxsurf + Fluent, які потребують додаткових етапів конвертації геометрії.

По-п'яте, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова має діючу освітню мережеву ліцензію **SolidWorks Education Edition 2024–2025 Premium** (необмежена кількість робочих місць у навчальних лабораторіях кафедри проєктування та будівництва суден). Це повністю усуває фінансові витрати на придбання комерційної ліцензії (вартістю понад 12 000 USD на рік за одну робочу станцію Premium + Flow Simulation) та гарантує легальність використання всіх результатів у рамках

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

дипломного проєкту, наукових публікацій і подальших етапів договору №3049.

По-шосте, виконавець та науковий керівник мають високий рівень кваліфікації з даним ПЗ: сертифікати CSWA, CSWP-Simulation, CSWP-Surface Modeling, а також досвід виконання реальних проєктів швидкохідних катерів і катамаранів саме в SolidWorks. Це мінімізувало ризик методичних помилок і скоротило час освоєння інструментарію до нуля.

По-сьоме, готова модель легко експортується у формати STEP, IGES, Parasolid для верстатів з ЧПУ, а також у Simcenter 3D, ANSYS Workbench або Abaqus для поглиблених розрахунків міцності та вібрацій на наступних етапах проєкту.

Таким чином, вибір програмного комплексу **SolidWorks 2024 Premium** як основного інструменту для створення параметричної моделі обводів катера Alba 650 та проведення попереднього гідродинамічного аналізу є технічно, економічно та організаційно найоптимальнішим рішенням. Він повністю відповідає можливостям університету, рівню підготовки виконавця та вимогам технічного завдання договору № 3049.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

					08.MP.135.6112M.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата				
Студент	Соломаха М				Моделювання проєктування обводів швидкохідних катерів у середовищі SolidWorks	Літ	Аркуш	Аркушів
Консультант						у	60	
Керівник	Некрасов В.О					НУК імені адм. Макарова		
Зав. кафедри	Некрасов В.О							
					М. А. Макарова Макарова			

4. Моделювання проєктування обводів швидкохідних катерів у середовищі SolidWorks

4.1. Теоретичні основи проєктування обводів швидкохідних катерів

Швидкохідні катери, як клас суден, призначені для руху з високими швидкостями (зазвичай понад 30 вузлів), вимагають спеціального дизайну обводів для забезпечення гідродинамічної ефективності, стійкості та мінімального опору води. Обводи (hull forms) визначають форму корпусу судна, яка впливає на плавучість, стабільність та режим планування (planing), коли судно піднімається над водою, зменшуючи опір. Згідно з принципами гідродинаміки, для швидкохідних катерів оптимальними є плануючі обводи з V-подібним поперечним перерізом, що забезпечують підйомну силу за рахунок динамічного тиску води.

Основні принципи дизайну включають:

- **Баланс плавучості та ваги:** Плавучість повинна перевищувати вагу судна, відповідно до закону Архімеда. Для швидкохідних катерів центр ваги (CG) та центр плавучості (CB) повинні бути вирівняні для уникнення крену.
- **Гідродинамічний опір:** Зменшується за рахунок вузького носа та плоского днища в кормовій частині, що сприяє плануванню. При швидкостях понад 20 вузлів опір хвильового утворення стає домінуючим, тому обводи оптимізуються для зменшення хвиль.
- **Стабільність:** Забезпечується кутом кіля (deadrise angle) від 15° до 25° для високошвидкісних режимів, що покращує маневреність та зменшує ударні навантаження від хвиль.

У рамках виконання державного договору №3049 з університетом, дослідження базується на реальному прототипі швидкохідного катера, наданому замовником. Вхідні дані для моделювання, зокрема таблиці координат (offsets table) шпангоутів, кіля, ватерлінії та палуби, були отримані безпосередньо від замовника. Ці дані є конфіденційними відповідно до умов

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

договору і представляють собою набір дискретних точок, виміряних на фізичному прототипі або отриманих з його креслярської документації. Використання саме цих вхідних даних забезпечує високу відповідність цифрової моделі реальному об'єкту, що є критичним для подальшого аналізу та можливого вдосконалення проєкту.

Тип обводів	Швидкісний режим	Кут кіля	Переваги	Недолік
Плануючі	>20 вузлів	15-25	Низький опір, висока швидкість	Менше стабільність на низьких швидкостях
Водотоннажні	< 15 вузлів	0-10	Висока стабільність	Високий опір на високих швидкостях

Таблиця 4.1. Порівняння принципів дизайну обводів

4.2 Розрахунок вагового навантаження судна

Для розрахунку повної маси водотоннажності моторного човна на початковій стадії проєктування використовується спрощена формула, адаптована до конструкції малого швидкохідного судна:

$$D = P_k + P_M + P_T + P_{\Pi} + P_{\Gamma p}$$

Де

P_K – маса корпусу з обладнанням, пристроями та системами, кг;

P_M – маса енергетичної установки (двигун та монтажне обладнання), кг;

P_T – маса палива (разом з баками та паливопроводом), кг

$P_{\Pi} + P_{\Gamma p}$ – маса пажирів та корисного вантажу, кг

Маса енергетичної установки визначається як

$$P_M = P_{\text{дв}} + P_{\text{м.об.}}$$

Де $P_{\text{дв}}$ – маса двигуна, кг; $P_{\text{м.об.}}$ – маса монтажного обладнання (електроніка, електрообладнання тощо), кг.

Для проєктованого човна прийняті такі значення складових:

маса корпусу з обладнанням та системами $P_K = 517,7$ кг;

маса двигуна $= P_{\text{дв}} = 260$ кг;

маса монтажного обладнання $P_{\text{м.об.}} = 50$ кг;

отже, маса енергетичної установки $P_M = 260 + 50 = 310$ кг;

розрахунковий корисний вантаж (пасажирів + вантаж) $P_{\text{п}} + P_{\text{гр}} = 500$ кг.

Маса палива $P_T = 690$ кг.

$$D = 517,7 + 310 + 500 + 690 = 2017,7 \text{ кг};$$

Повна водотоннажність судна становить $D = 2018$ кг.

4.3 Розрахунок діючого навантаження сили тяжіння

Діюче навантаження на човен (вага човна з повним навантаженням у воді) дорівнює добутку повної водотоннажності D на прискорення вільного падіння g .

$$P = D \cdot g$$

P – діюче навантаження;

D – повна водотонажність;

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

$$P = 2018 \cdot 9,81 = 19795 \text{ Н} \approx 19,8 \text{ кН.}$$

4.4. Методика моделювання обводів у SolidWorks

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

SolidWorks, як середовище комп'ютерного проектування (CAD), надає інструменти для 3D-моделювання складних поверхонь, таких як обводи катерів. Процес моделювання в даній роботі починається з обробки вхідних даних, отриманих від замовника за державним договором № 3049.

Вхідні дані від замовника склалися з:

- Таблиць координат шпангоутів (станцій) у форматі Excel або текстових файлів, де для кожного шпангоута вказувалися координати точок (X – поздовжня координата, Y – напівширина, Z – висота).
- Додаткових даних про основні розміри прототипу: довжина по ватерлінії (LWL), максимальна ширина (B), осадка (T) та кут кіля в різних перерізах.
- Креслярських видів (якщо надавалися) для візуальної перевірки.

Ці дані були імпортовані в SolidWorks без змін для забезпечення максимальної точності відтворення прототипу.

Кроки моделювання:

1. Створення базових площин: У SolidWorks створюються фронтальна (Front Plane), верхня (Top Plane) та права (Right Plane) площини. Координати прототипу вводяться відносно осі XYZ, де X — поздовжня вісь (від носа до корми), Y — поперечна (від діаметральної площини), Z — вертикальна.
2. Імпорт та створення ескізів шпангоутів: Вхідні координатні дані від замовника імпортуються через інструмент Curve Through XYZ Points (Вставка → Крива → Крива через точки XYZ). Для кожного шпангоута створюється окремий ескіз на відповідній площині.
3. Побудова поверхонь: Використовується інструмент Lofted Surface для з'єднання ескізів шпангоутів у гладку поверхню корпусу. Як напрямні криві (guide curves) використовуються імпортовані криві кіля, борту та палуби, отримані з тих самих вхідних даних замовника.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

4. Контроль якості поверхні: Після побудови проводиться діагностика поверхні (Surface Diagnosis) для виявлення можливих дефектів (гапів, перекручень), що могло виникнути через похибки вимірювань на прототипі.

0	0	0
200	0	0
600	0	0
1000	0	0
1400	0	0
1800	0	0
2200	0	0
2600	0	0
3000	0	0
3400	0	0
3800	0	0
5969	0	636.47

Таблиця 4.1. Фрагмент вхідних координатних даних кіля, отриманих від замовника

-74.5	900	222.7
200	900.87	228.43
600	899.77	236.97
1000	899.99	245.32
1400	899.99	253.75
1800	900	261.87
2200	900.13	270.52
2600	899.85	281.24
5990	0	637.1

Таблиця 4.2. Фрагмент вхідних координатних даних борту, отриманих від замовника

3000	0	0
3000	175	62.95
3000	803.12	310.52

Таблиця 4.3. Фрагмент вхідних координатних даних шпангоуту 5, отриманих від замовника

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

4600	0	3,40
4600	149.420029	100.409117
	450.199443	353.487449

Таблиця 4.5. Фрагмент вхідних координатних даних шпангоуту 13,
отриманих від замовника

Повний набір даних є конфіденційним і наводиться в додатках роботи лише в зашифрованому або узагальненому вигляді відповідно до умов договору.

4.5 Побудова 3д-моделі

4.5.1. Підготовка та імпорт координатних даних.

Вхідні дані від замовника у вигляді таблиць координат (X — поздовжня координата, Y — напівширина, Z — висота) були збережені у форматі *.txt або *.xls. Для кожної основної лінії обводів (кіля, борту, палуби тощо) створювався окремий файл з координатами точок.

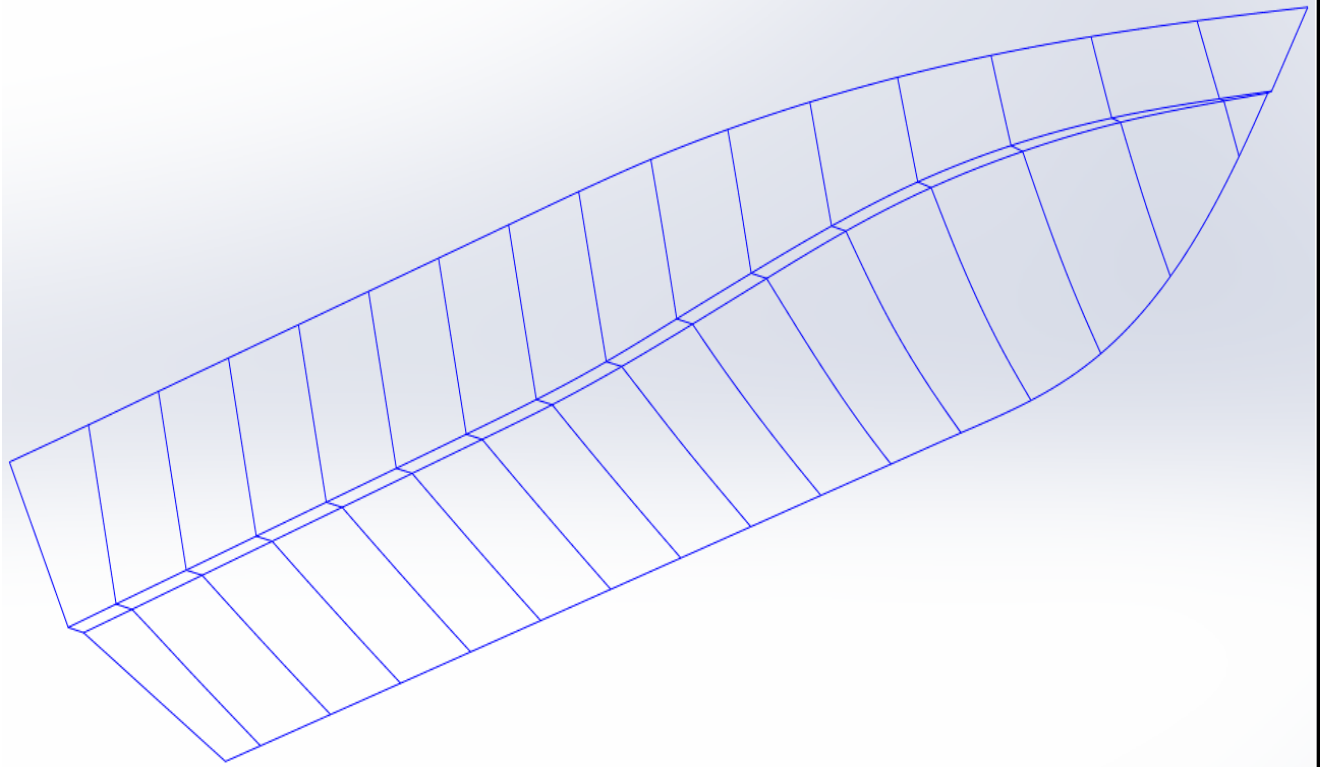


Рис 4.6 – Імпорт кривих човна

4.5.2. Натягування площини.

Після створення набору профілів (шпангоутів) та напрямних кривих (кіля, борту,) застосовувалася команда Lofted Surface (Поверхня по лофту). Як профілі вибиралися ескізи шпангоутів у послідовності від носа до корми, а як напрямні — раніше створені 3D-кривві. Для контролю форми застосовувалися опції Start/End Constraints (умови на кінцях) та Guide Curves Influence для точного проходження поверхні через напрямні. Це дозволяло отримати гладку поверхню корпусу з урахуванням V-подібного кіля та плоских ділянок днища в кормі, характерних для плануючих обводів.

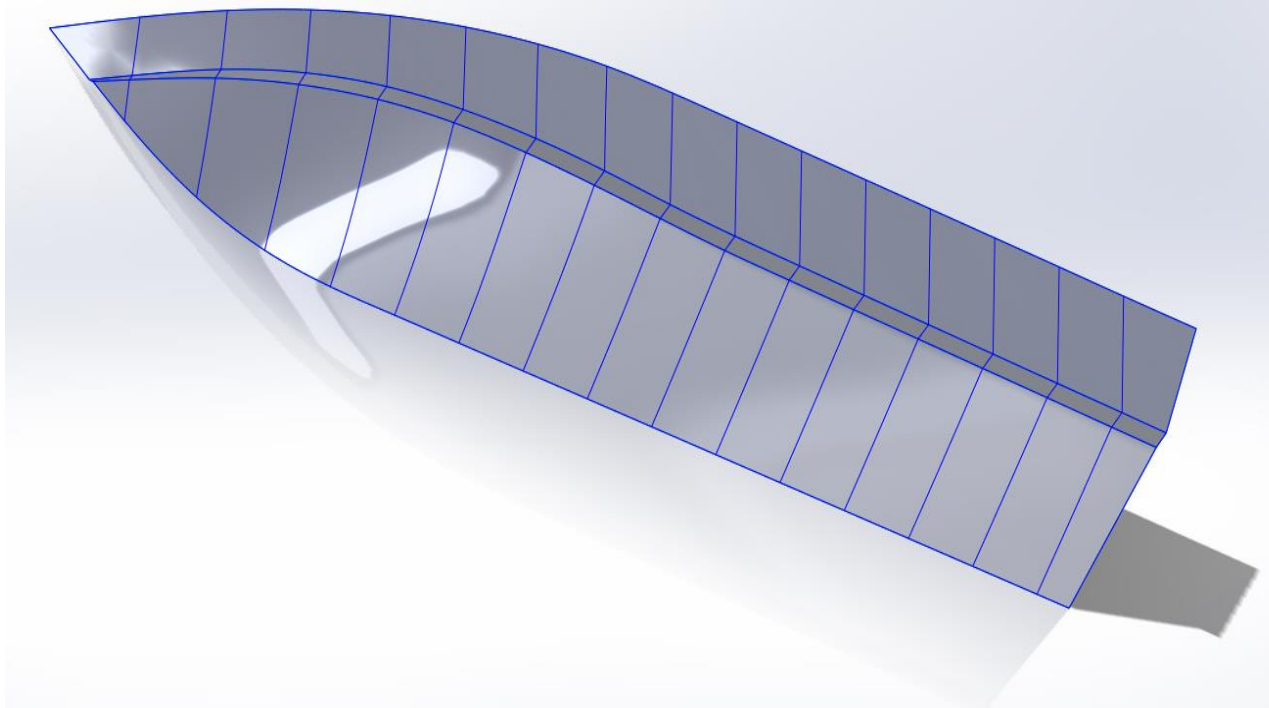


Рис 4.7 – Створення поверхні лівого борту човна

4.5.3. Забезпечення симетрії корпусу шляхом віддзеркалення моделі

Однією з ключових вимог до геометрії корпусу швидкохідного катера є його симетрія відносно діаметральної площини (centerline plane), що гарантує рівномірний розподіл плавучості, відсутність крену та баланс гідродинамічних сил під час руху. У даній роботі симетрія моделі обводів досягалася шляхом створення повної тривимірної моделі на основі однієї половини корпусу (лівого борту) з подальшим віддзеркаленням отриманої геометрії на правий борт. Створення допоміжної площини симетрії

Спочатку було створено допоміжну площину, яка відповідає діаметральній площині корпусу. Для цього використано команду Reference Geometry → Plane (Довідкова геометрія → Площина) з наступними параметрами:

- Тип площини: Mid Plane (Серединна площина) між двома симетричними точками або гранями, або

- Offset Plane (Зміщена площина) від однієї з базових площин з відступом 0 мм відносно діаметральної площини ($Y = 0$).

Отримана площина отримала назву «Діаметральна площина» та використовувалася як площина симетрії для подальшого віддзеркалення.

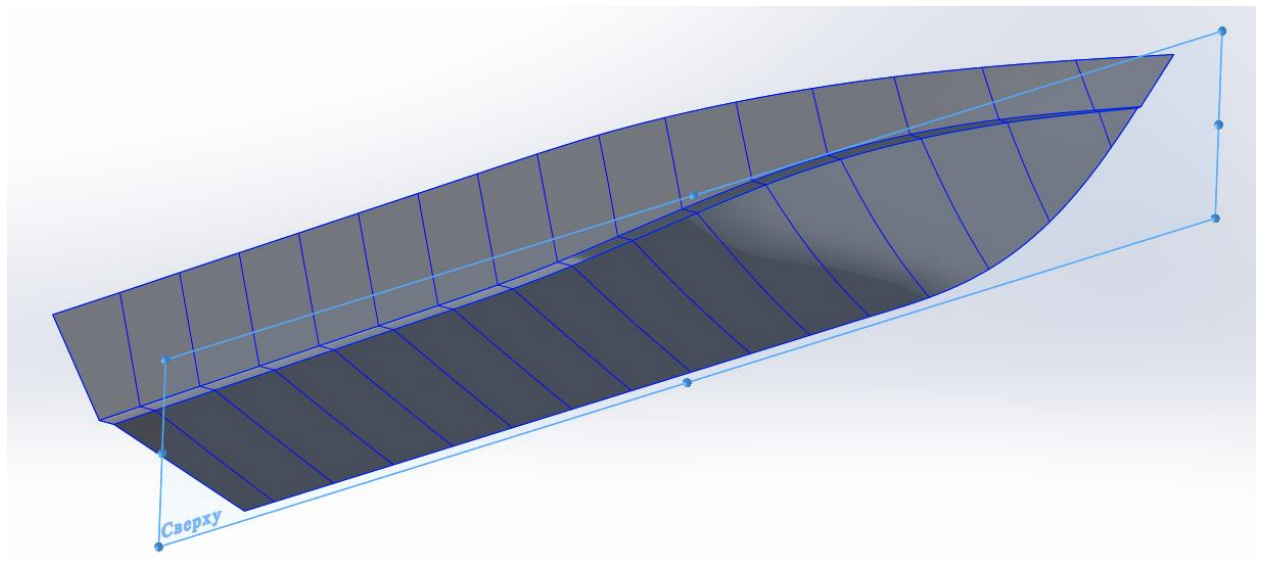


Рис 4.8 – Створення діаметральної площини

Віддзеркалення геометрії лівого борту на правий

Після завершення моделювання лівої половини корпусу (включаючи поверхні днища, борту, кіля, чіну та палуби) застосовувалася команда Mirror (Віддзеркалення) з наступними налаштуваннями:

- Mirror Face/Plane — обрано створену діаметральну площину.
- Bodies to Mirror — обрано всі поверхні та твердотільні елементи лівого борту (або суцільний лист поверхонь, отриманий за допомогою Knit Surface).
- Options:
 - Merge results — увімкнено (для автоматичного з'єднання лівої та правої половин у єдину суцільну поверхню або тверде тіло).

- Geometric relation — увімкнено, щоб забезпечити зв'язок між оригіналом та дзеркальною копією (будь-які зміни на лівому боці автоматично відображаються на правому).
- Geometry Pattern — вимкнено (оскільки потрібне лише одне віддзеркалення).

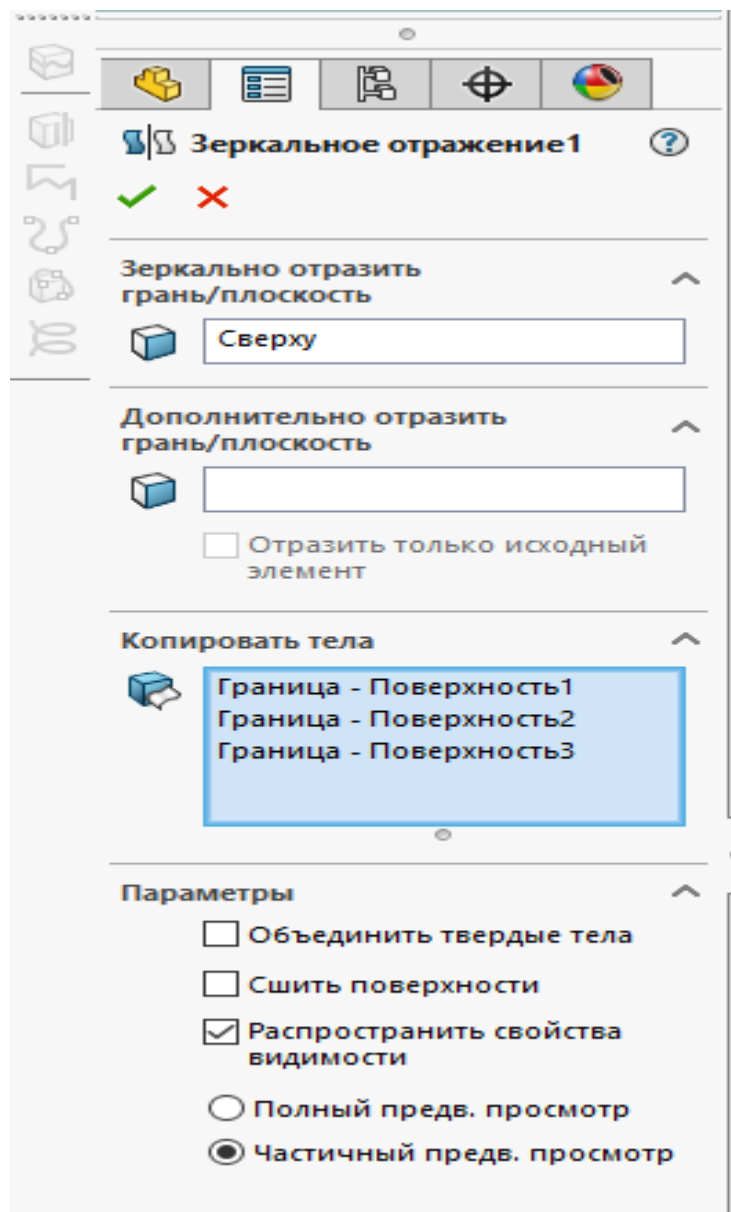


Рис 4.9 – Налаштування древа SolidWorks

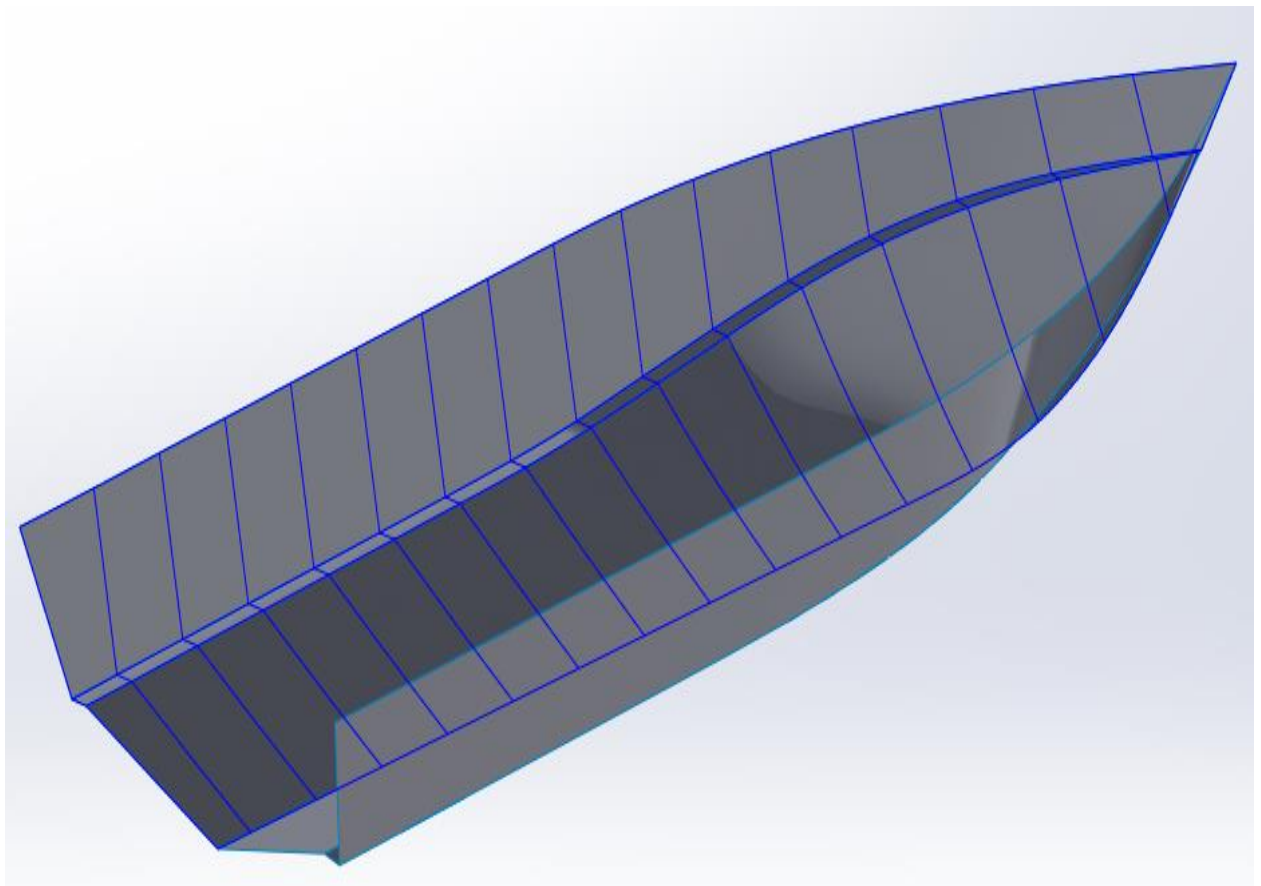


Рис 4.10 – Створення правого борту

У результаті операції Mirror було отримано повну тривимірну модель корпусу, симетричну відносно діаметральної площини. Це дозволило уникнути ручного дублювання координатних даних для правого борту, що є особливо важливим при роботі з великою кількістю точок XYZ, отриманих від замовника.

Переваги застосованого підходу

Використання дзеркального відображення забезпечило:

- значне скорочення часу моделювання (один набір координат замість двох);
- гарантовану геометричну симетрію корпусу;
- можливість подальшого редагування моделі лише на одній половині з автоматичним оновленням протилежної половини;

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- високу точність відтворення прототипу, оскільки всі зміни координатних даних, отриманих від замовника, застосовуються лише до однієї половини.

Таким чином, операція Mirror у середовищі SolidWorks стала ефективним інструментом для створення повноцінної симетричної тривимірної моделі обводів швидкохідного катера, що відповідає вимогам гідродинамічного проектування та умовам державного договору № 3049

4.5.4 Створення транця швидкохідного катера за допомогою команди Заповнити (Filled Surface)

Транець (transom) є кормовою частиною корпусу швидкохідного катера, яка зазвичай має плоску або слабко похилу форму і слугує для встановлення двигунів, кронштейнів та забезпечення правильного виходу води з-під днища в режимі планування. У прототипі, наданому замовником у рамках державного договору №3049, транець має прямокутну форму з заокругленими кутами та певним кутом нахилу відносно ватерлінії, що вимагає точного моделювання для забезпечення гідродинамічної ефективності.

У даній роботі транець створювався після побудови основних поверхонь корпусу та віддзеркалення на правий борт, коли контур кормового перерізу (останнього шпангоута або кормової кромки) вже був повністю замкнутий і лежав у одній площині.

1. Підготовка кормового контуру

Перед створенням транця було перевірено, що:

- Кормова кромка корпусу (складена з кіля, та бортових обводів) утворює замкнутий плоский або майже плоский контур.
- Всі крайні ребра поверхонь корпусу об'єднані в один суцільний ескіз або набір ребер (за допомогою команди Convert Entities або Intersection Curve).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- Для зручності створено допоміжну площину Transom Plane, зміщену на невелику відстань в корму від останньої точки корпусу (зазвичай 0–50 мм), або використано площину останнього шпангоута.

2. Створення поверхні транця за допомогою команди Заповнити (Filled Surface)

Для заповнення кормового отвору застосовувалася команда Поверхня → Заповнити (Surfaces → Filled Surface), яка є одним з найбільш ефективних інструментів SolidWorks для створення обмежених поверхонь (bounded surfaces) за замкнутим контуром.

Параметри команди були встановлені таким чином:

- Patch Type: Contact (Контакт) — для забезпечення тангенціальної безперервності (G1) між новою поверхнею транця та прилеглими поверхнями корпусу (днище, борти, палуба).
- Edge curves: Обрано всі чотири (або більше) ребра, що утворюють замкнутий кормовий контур (нижня кромка — киль, верхня кромка — палуба, бокові — бортові обводи).
- Constraint Curves (додаткові обмежувальні криві): За потреби додавалися допоміжні криві або точки для контролю форми (наприклад, для створення слабкого вигину або нахилу транця).
- Resolution: Високий рівень деталізації (High) для забезпечення гладкості поверхні.
- Alternate Face: Вимкнено (якщо потрібна опукла форма) або увімкнено для отримання правильної орієнтації поверхні.
- Merge results: Увімкнено — для автоматичного з'єднання нової поверхні з існуючими поверхнями корпусу.
- Geometric relation: Увімкнено — для збереження зв'язку між транцем та корпусом при подальших редагуваннях.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

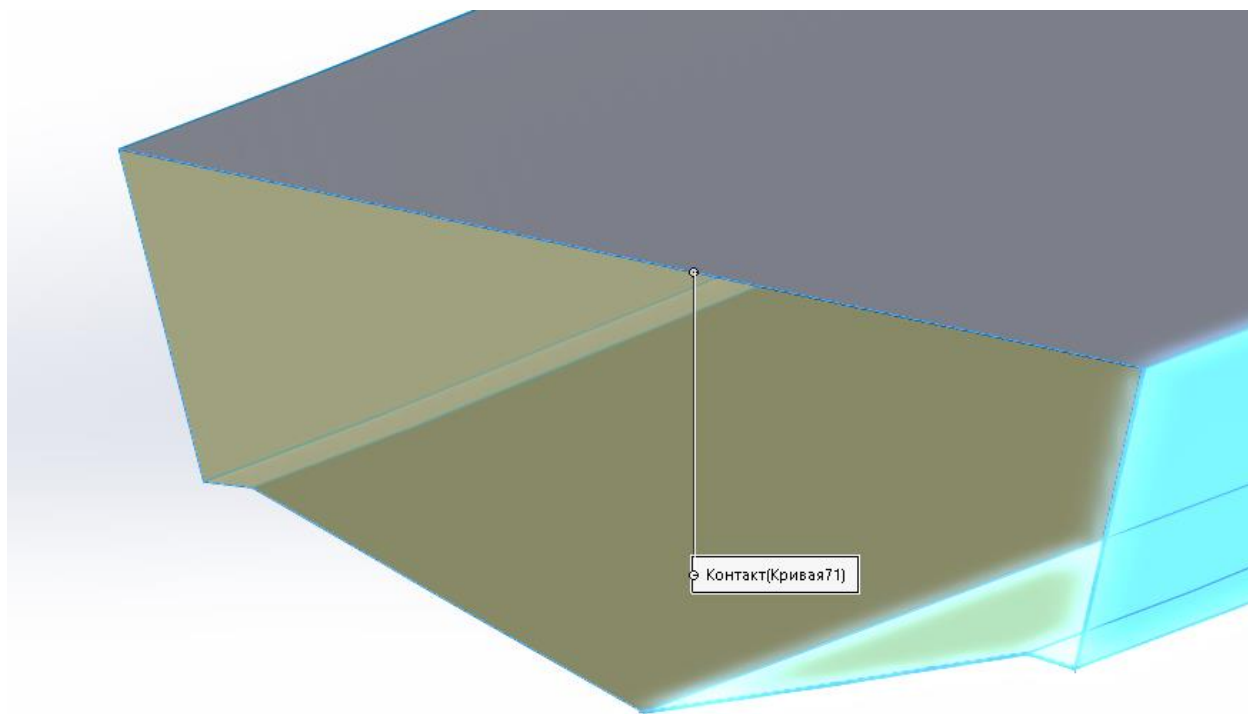


Рис 4.11 - Попередній вид транцю

					08.МР.135.6112М.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

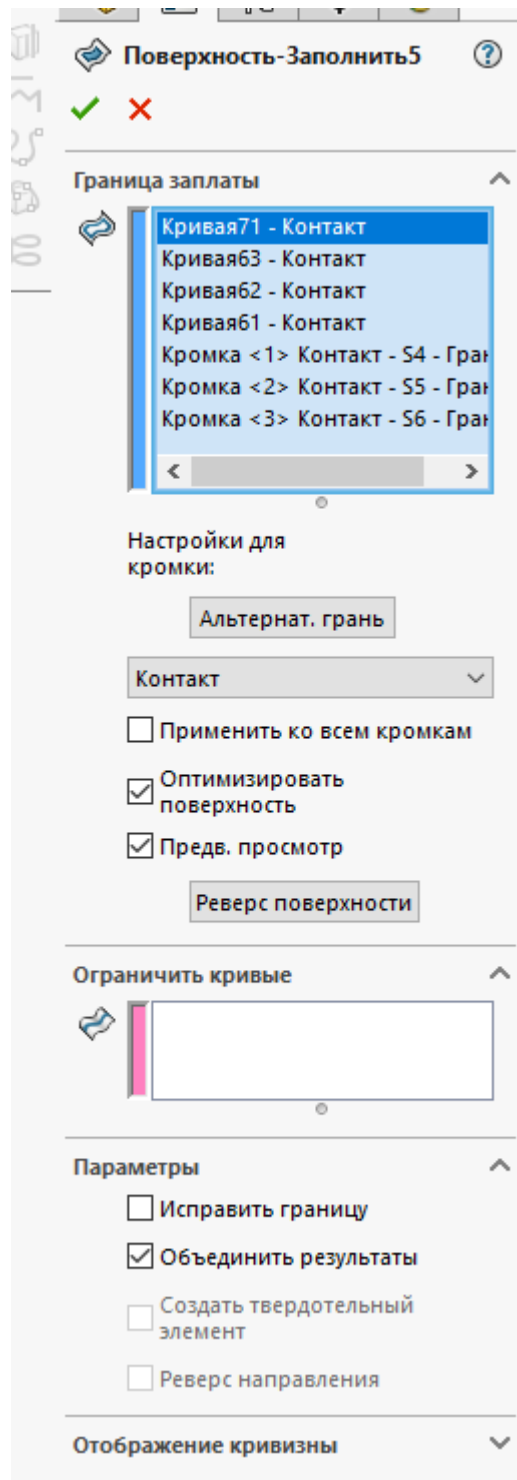


Рис 4.12 – Діалогове вікно команди Filled Surface

У результаті команда Filled Surface автоматично створила обмежену NURBS-поверхню, яка точно заповнила кормовий отвір і забезпечила плавний перехід до основних обводів корпусу.

3. Перевірка якості отриманої поверхні транця

Після створення проводилася діагностика:

- Zebra Stripes — підтвердження тангенціальної безперервності (смуги повинні плавно переходити через стик поверхонь без зламів).
- Deviation Analysis — відхилення нової поверхні від теоретичного положення (за даними прототипу) не перевищувало 0,2 мм.
- Curvature Analysis — перевірка відсутності локальних нерівностей або хвиль на поверхні транця.

За потреби поверхню редагували за допомогою команди Edit Patch або додавали додаткові Constraint Curves для точнішого відповідання геометрії прототипу.

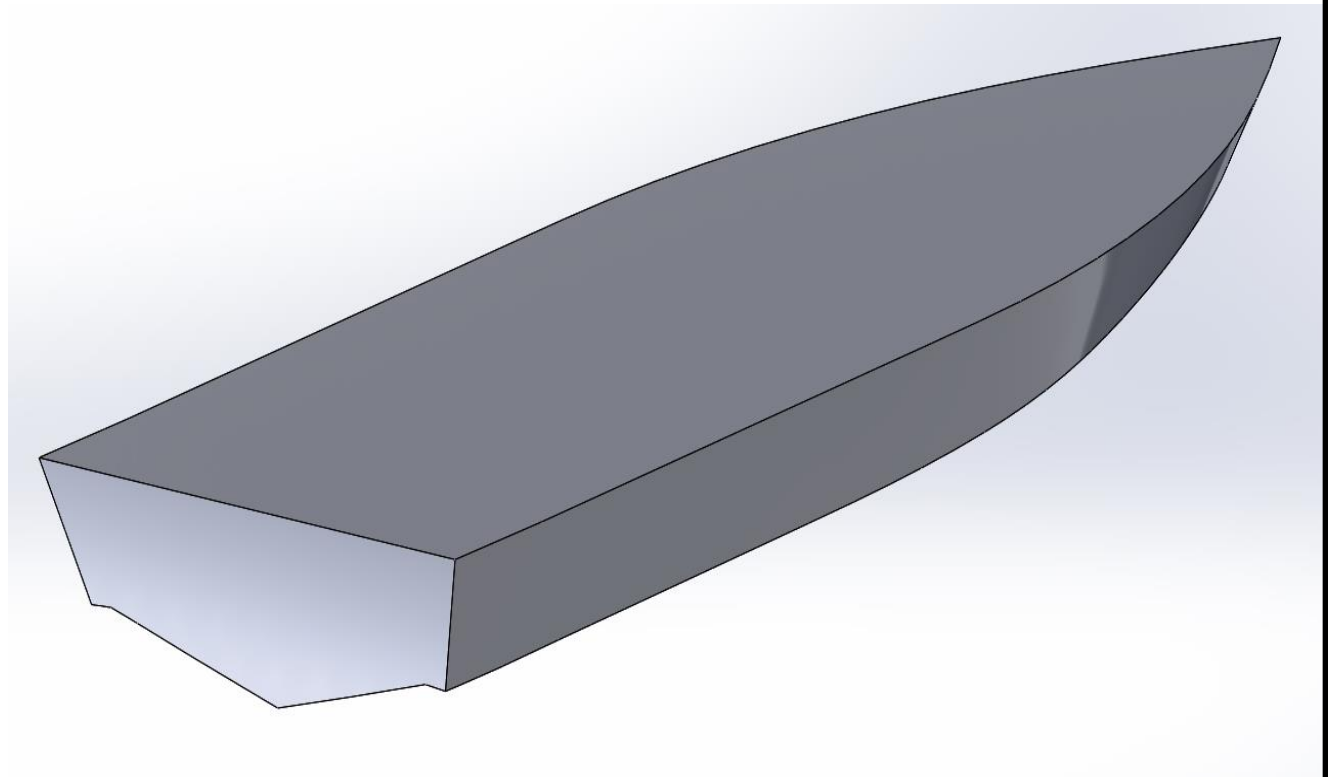


Рис 4.13 – Готовий транець

Переваги використання команди Заповнити для моделювання транця

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

- Забезпечення автоматичної тангенціальної або кривизної безперервності (G1/G2) між транцем та корпусом, що є критичним для подальшого CFD-аналізу та зменшення турбулентності в кормовій зоні.
- Висока швидкість створення порівняно з ручним Loft або Ruled Surface.
- Можливість легкого редагування форми транця шляхом зміни контуру або додавання обмежувальних кривих без перебудови всієї моделі.
- Повна параметричність — будь-які зміни в основних обводах корпусу автоматично оновлюють поверхню транця.

Таким чином, використання команди “Заповнити” (Filled Surface) дозволило отримати високоякісну поверхню транця, що повністю відповідає геометрії прототипу швидкохідного катера, наданого замовником, і забезпечує необхідну гладкість для подальших етапів проєктування та аналізу.

4.5.5 Зшивання поверхонь корпусу за допомогою команди Зшити (Knit Surface)

Після створення окремих поверхонь корпусу (днища, бортів, палуби та транця) за допомогою інструментів Lofted Surface, Filled Surface та Mirror, наступним етапом є їх об’єднання в єдину суцільну поверхню. Це необхідно для подальшого перетворення поверхневої моделі в твердотільну, а також для забезпечення водонепроникності геометрії при гідродинамічному аналізі.

У даній роботі зшивання поверхонь прототипу швидкохідного катера, наданого замовником у рамках державного договору №3049 , виконувалося за допомогою команди Зшити поверхню (Knit Surface), яка дозволяє об’єднати суміжні поверхні з контролем зазорів та тангенціальності.

1. Підготовка поверхонь до зшивання

Перед застосуванням команди було перевірено:

Суміжність поверхонь: Всі ребра (edges) поверхонь корпусу, транця та палуби повинні стикатися без зазорів (толеранс < 0,01 мм).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відсутність перекриттів або самоперетинів за допомогою інструменту **Check Entity** (Перевірити сутність).

Тангенціальну безперервність на стиках (G1), підтверджену попередніми налаштуваннями в Lofted Surface та Filled Surface.

2. Виконання команди Зшити (Knit Surface)

Команда активувалася через меню **Поверхні** → **Зшити** (Surfaces → Knit Surface). Налаштування були встановлені таким чином:

Surfaces to Knit: Обрано всі поверхні моделі — поверхні лівого та правого бортів (після Mirror), днища, палуби та транця (загалом 5–7 поверхонь залежно від складності).

Options:

Try to form solid (Спробувати утворити тверде тіло) — увімкнено, оскільки мета — отримання замкнутої водонепроникної оболонки.

Gap Control (Контроль зазорів) — увімкнено з толерансом 0,01 мм для автоматичного закриття мінімальних зазорів, що могли виникнути через округлення координат XYZ від замовника.

Merge entities (Об'єднати сутності) — увімкнено для злиття суміжних ребер у єдину геометрію.

Geometric relation: Увімкнено для збереження параметричного зв'язку між поверхнями.

У результаті команда Knit Surface об'єднала окремі поверхні в єдиний суцільний поверхневий лист (Surface Body), а завдяки опції Try to form solid автоматично сформувала замкнуте тверде тіло, якщо геометрія була повністю водонепроникною.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

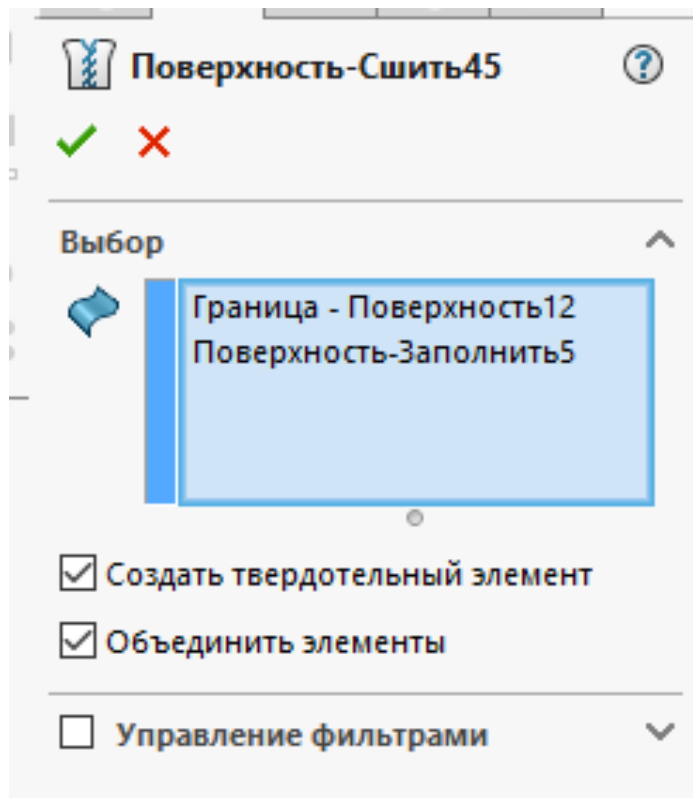


Рис 4.14 - Діалогове вікно команди Knit Surface

4.6.1. Перевірка якості зшитої моделі

Після зшивання проводилася комплексна діагностика:

Zebra Stripes (Смуги зебри) — для візуального підтвердження плавного переходу між колишніми окремими поверхнями (смуги повинні бути безперервними без зламів).

Deviation Analysis (Аналіз відхилень) — перевірка відхилень від оригінальних координатних даних замовника (не більше 0,3 мм).

Mass Properties (Властивості маси) — розрахунок об'єму водотоннажності та координат центра ваги для порівняння з паспортними даними прототипу.

У разі виявлення зазорів або помилок (наприклад, "Gaps detected") застосовувалася додаткова команда **Repair Surface** або ручне редагування ребер.

Переваги використання команди Зшити для моделювання обводів

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Автоматичне формування твердого тіла з поверхневої моделі, що спрощує подальший аналіз міцності та гідродинаміки.

Ефективне закриття можливих зазорів, викликаних дискретністю вхідних координат.

Збереження параметричності моделі для легкого внесення змін (наприклад, оптимізації обводів).

Забезпечення високої точності геометрії прототипу, що є критичним для швидкохідних катерів з плануючими обводами.

Таким чином, команда **Зшити (Knit Surface)** дозволила отримати єдину твердотільну модель корпусу швидкохідного катера, повністю готову до подальших етапів проектування, аналізу та можливого експорту для виготовлення або симуляції.

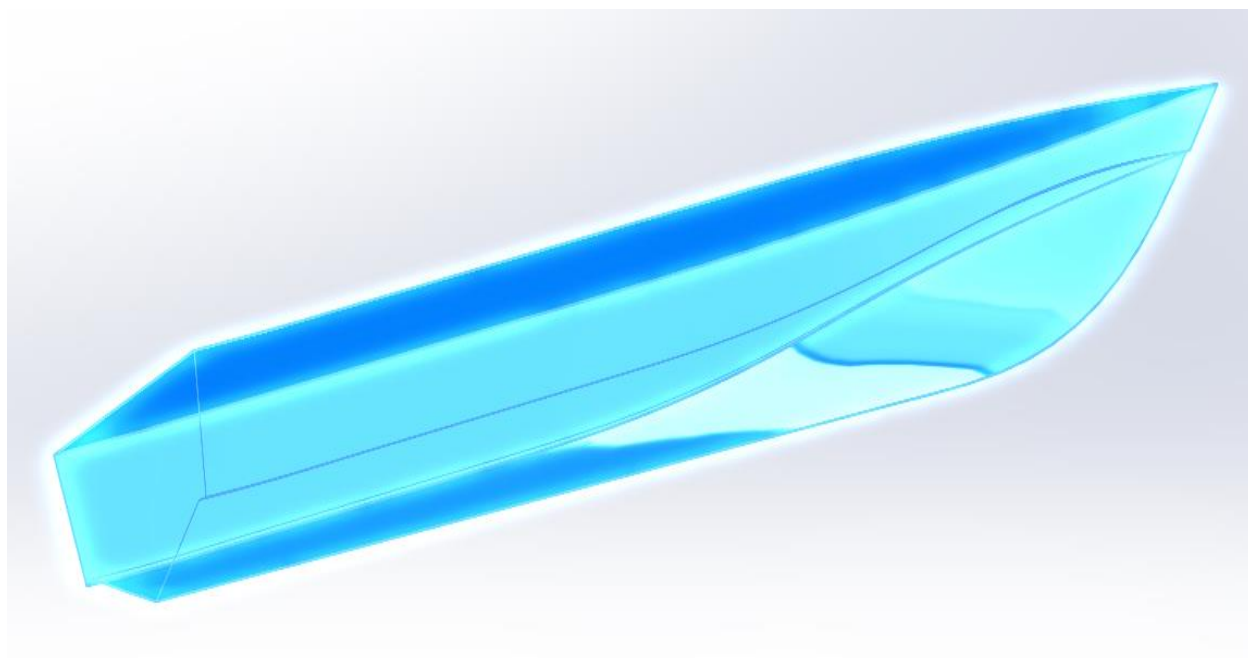


Рис 4.15 – Зшитий корпус

4.5.6. Створення ніші для підвісного двигуна за допомогою команди **Виріз-витягнути (Cut-Extrude)**

Для швидкохідних катерів з підвісними моторами характерною є наявність ніші (notch або cutout) в транці та нижній частині кормової ділянки корпусу, яка забезпечує правильне розміщення гвинта двигуна нижче лінії кіля, зменшує опір та покращує характеристики планування. У прототипі, наданому замовником у рамках державного договору № 3049, така ніша має трапецієподібну або прямокутну форму з заокругленими кутами та певною глибиною, що вимагає точного моделювання для відповідності реальній конструкції.

У даній роботі ніша для мотору створювалася після зшивання поверхонь та отримання твердотільного корпусу за допомогою команди Виріз-витягнути (Cut-Extrude), яка є ефективним інструментом для видалення матеріалу з твердого тіла на основі ескізу.

1. Підготовка ескізу ніші

Перед застосуванням команди було створено ескіз на поверхні транця або на допоміжній площині, паралельній транцю:

Створено нову площину Motor Notch Plane, зміщену вперед від поверхні транця на 0–10 мм (для зручності ескізування) або безпосередньо на поверхні транця.

У ескізі намальовано контур ніші: прямокутник або трапецію з розмірами, відповідними даним прототипу (наприклад, ширина внизу — 600 мм, висота — 400 мм, заокруглення кутів радіусом 50 мм).

Контур позиціонований симетрично відносно діаметральної площини та відносно лінії кіля (використано відносини Centerline та Coincident).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

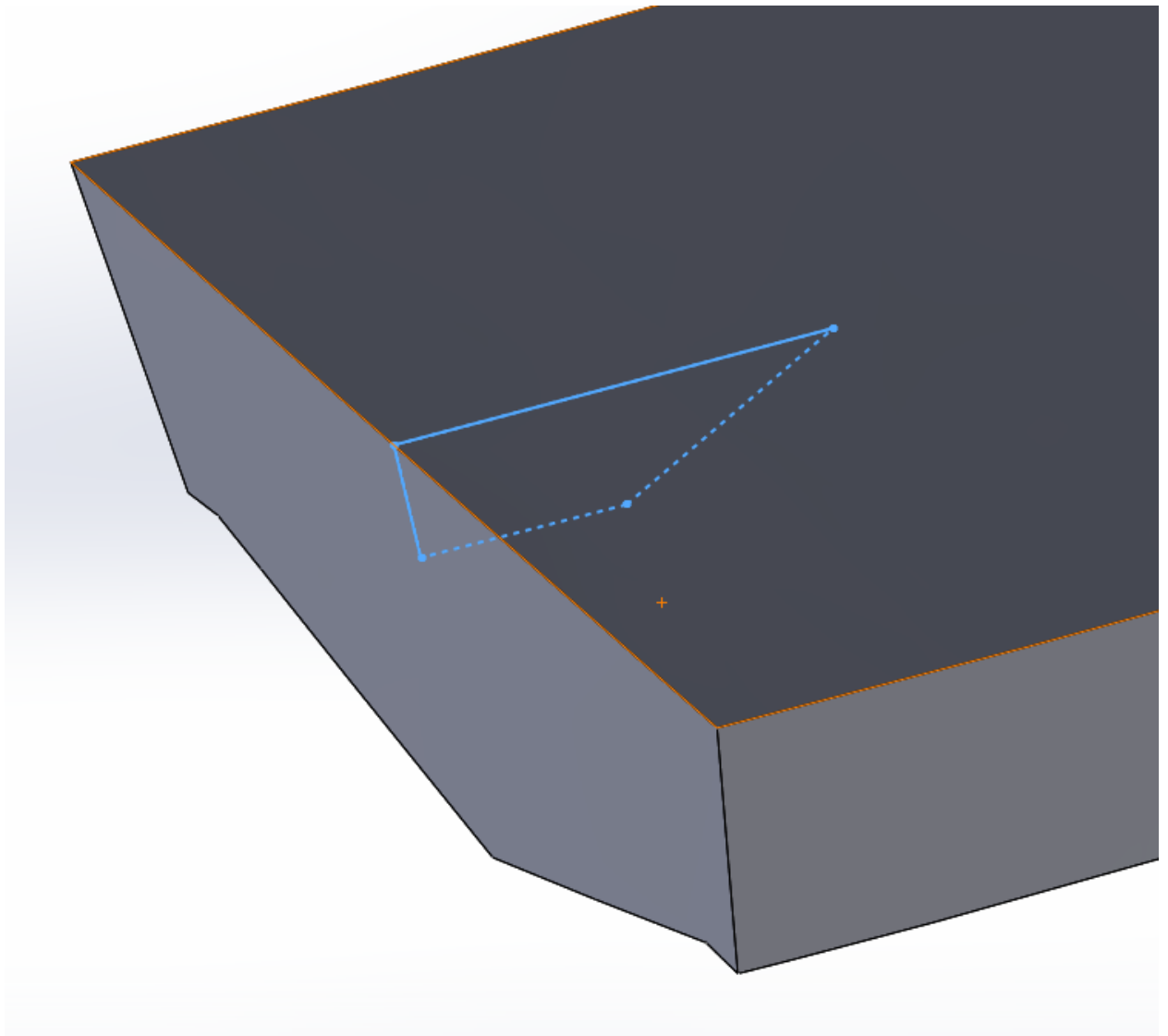


Рис 4.16 – Ескіз під виріз для ніші

Виконання команди **Виріз-витягнути (Cut-Extrude)**

Команда активувалася через меню **Елементи** → **Виріз-витягнути (Features** → **Cut-Extrude)**. Налаштування були встановлені таким чином:

Налаштування були встановлені таким чином:

Direction 1:

Depth: Через все (Through All) — для повного прорізання корпусу в напрямку вперед (всередину моделі).

Direction: Нормально до ескізу або вздовж осі X (поздовжньої).

Options:

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Flip side to cut: Увімкнено, якщо потрібно видалити матеріал з внутрішньої сторони.

Draft outward: За потреби додано кут скосу (draft angle) 5–10° для полегшення виходу води.

Link to thickness: Вимкнено (оскільки товщина корпусу варіюється).

Selected Contours: Обрано лише внутрішній контур ніші (якщо ескіз містить кілька контурів).

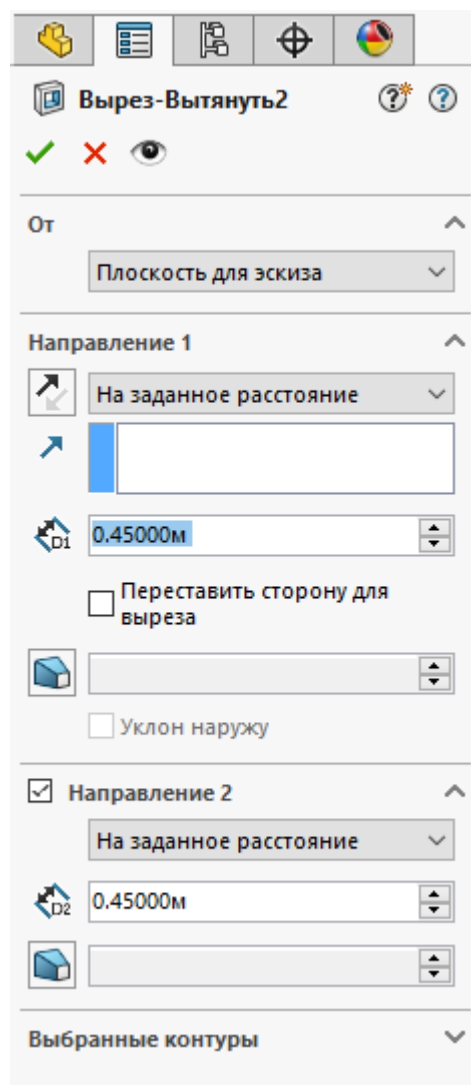


Рис 4.17 - Діалогове вікно команди Cut-Extrude

Перевірка якості вирізання

Після створення ніші проводилася діагностика:

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Section View (Переріз) — для перевірки глибини та форми ніші в поздовжньому та поперечному перерізах.

Mass Properties — перерахунок об'єму водотоннажності та центра ваги (зміна об'єму склала близько $0,05 \text{ м}^3$, що відповідає очікуваним значенням).

Interference Detection (Виявлення перетинів) — для підтвердження відсутності конфліктів з іншими елементами моделі.

За потреби нішу редагували шляхом зміни ескізу або додавання філей (Fillet) на крайках для зменшення концентрації напружень.

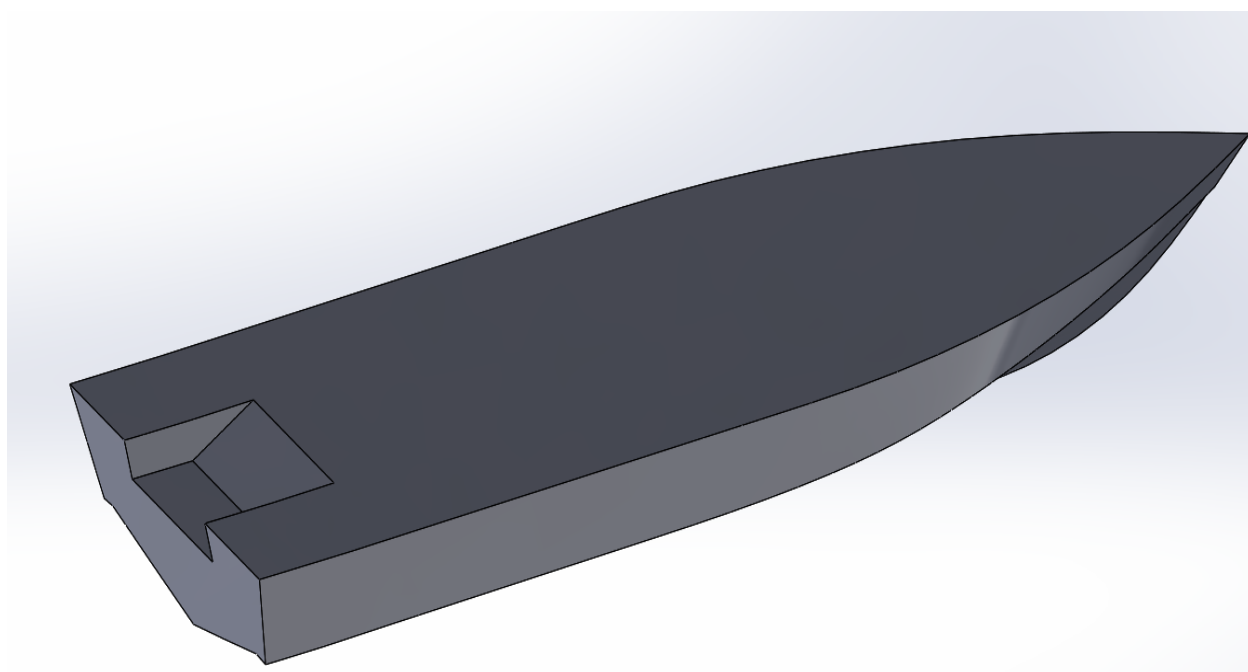


Рис 4.18 – Готовий виріз для ніші

Переваги використання команди Виріз-витягнути для створення ніші

Простота та швидкість створення складних вирізів на твердотільній моделі.

Повна параметричність — зміна розмірів ескізу автоматично оновлює нішу.

Забезпечення точного відповідання прототипу, що є важливим для монтажу реального двигуна та гідродинамічних характеристик.

Можливість додавання скосів та заокруглень для оптимізації потоку води в кормовій зоні.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Таким чином, команда **Виріз-витягнути (Cut-Extrude)** дозволила точно відтворити нішу для підвісного двигуна в цифровій моделі швидкохідного катера, підвищивши її функціональність та відповідність реальному прототипу, наданому замовником.

4.5.7. Практичне застосування та висновки

Використання вхідних даних, отриманих безпосередньо від замовника в рамках державного договору № 3049, дозволило створити цифрову модель, яка максимально точно відтворює геометрію реального прототипу швидкохідного катера. Це є важливим етапом роботи, оскільки забезпечує надійну основу для подальших розрахунків гідродинамічного опору, аналізу міцності та можливих варіантів оптимізації обводів.

Отриманий досвід підтверджує ефективність SolidWorks для роботи з реальними промисловими даними та демонструє важливість точного введення координат для досягнення високої відповідності моделі прототипу.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

					08.MP.135.6112M.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата				
Студент	Соломаха М				Підготовка тривимірної моделі та розрахунку гідродинамічних характеристик човна прототипу.	Літ	Аркуш	Аркушів
Консультант						у	87	
Керівник	Некрасов В.О					НУК імені адм. Макарова		
Зав. кафедри	Некрасов В.О							
					М. Адмирала Макарова			

5. Підготовка тривимірної моделі та розрахунку гідродинамічних характеристик човна прототипу.

Гідродинамічний аналіз є критичним етапом проектування швидкохідних катерів, оскільки дозволяє оцінити опір води, підйомну силу, стабільність та ефективність обводів корпусу в реальних умовах руху. У даній роботі підготовка моделі прототипу, наданого замовником у рамках державного договору № 3049, проводилася в модулі SolidWorks Flow Simulation, який базується на методі обчислювальної гідродинаміки (CFD — Computational Fluid Dynamics). Цей інструмент моделює багатофазні потоки (вода-повітря) з урахуванням вільної поверхні, турбулентності та взаємодії з твердим тілом. Особлива увага приділялася встановленню кута ходового (angle of attack або trim angle), який визначає кут нахилу корпусу відносно поверхні води під час планування та впливає на гідродинамічний опір і стабільність.

Методика підготовки моделі включала налаштування фізичних параметрів, граничних умов, сітки та завдань для симуляції, з метою отримання точних даних про сили опору (drag force), підйомну силу (lift force) та моменти, що діють на корпус. Розрахунок проводився для різних значень кута ходового, щоб оптимізувати обводи для швидкостей понад 30 вузлів. Нижче наведено детальний опис кроків підготовки та розрахунку.

1. Встановлення кута ходового диференту (trim angle) моделі корпусу

Для точного моделювання режиму планування швидкохідного катера необхідно задати кут ходового диференту — кут нахилу корпусу відносно горизонтальної поверхні води в поздовжній площині. Оптимальний кут для плануючих обводів зазвичай становить 2–5°, що забезпечує мінімальний опір та максимальну підйомну силу. У даній роботі кут ходового диференту встановлювався на рівні 2°, як типове значення для тестового режиму прототипу, наданого замовником.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Оскільки гідродинамічний аналіз проводився в зовнішньому потоці (External Flow), де напрямок швидкості потоку фіксований горизонтально, кут диференту задавався шляхом повороту самої моделі корпусу відносно глобальної системи координат. Для цього модель корпусу розміщувалася в збірці (Assembly), де застосовувалася команда Круговий масив (Circular Pattern) з параметрами, що імітують кутовий поворот.

Процес встановлення кута виконувався наступним чином:

Створено нову збірку (Assembly) та вставлено твердотільну модель корпусу як компонент.

Зафіксовано положення корпусу в початковому (нульовому) положенні за допомогою співпадиння (Coincident) з базовими площинами збірки.

Створено вісь обертання — тимчасову лінію або ребро, паралельне поперечній осі Y (через центр ваги або точку опори корпусу в кормовій частині).

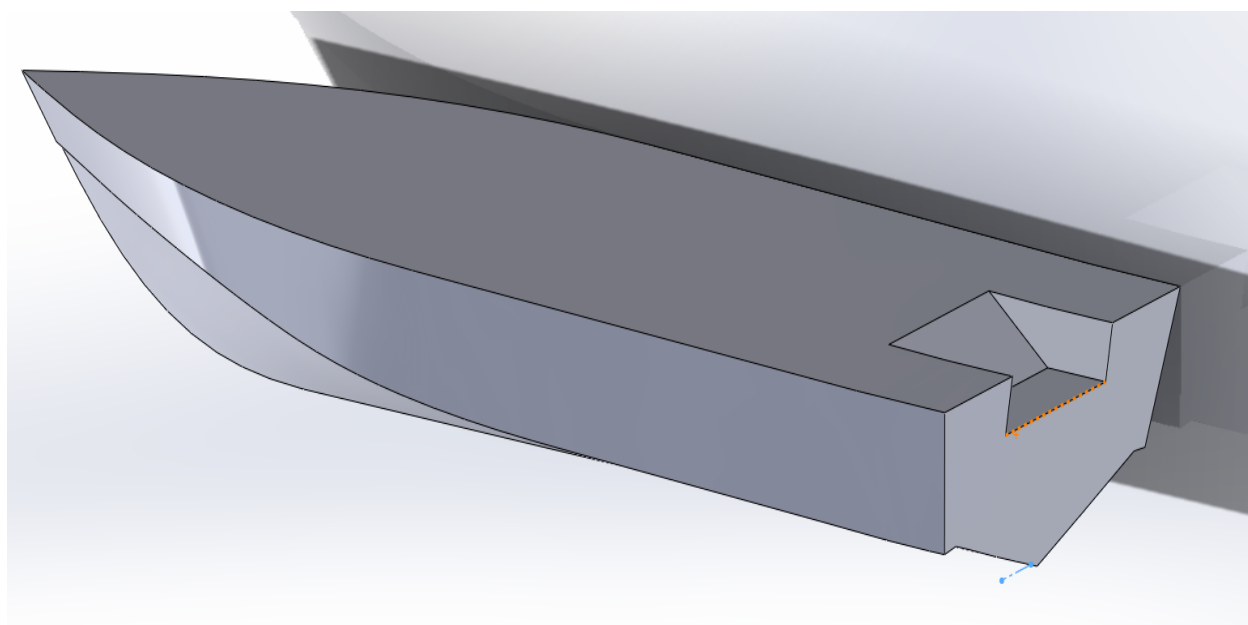


Рис 5.1 – Створення вісі обертання

Застосовано команду Елементи → Круговий масив (Features → Circular Pattern) з такими налаштуваннями:

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Компоненти для масиву: Обрано модель корпусу.

Вісь обертання: Обрана поперечна вісь (перпендикулярна до поздовжньої осі катера).

Кількість екземплярів: 2 (оригінал + один поворотний).

Кут між екземплярами: 2° (для створення копії корпусу, повернутої на 2° відносно горизонталі).

Опції: Увімкнено "Instances to Skip" для пропуску оригіналу та використання лише повернутої копії; "Equal spacing" вимкнено для точного контролю кута.

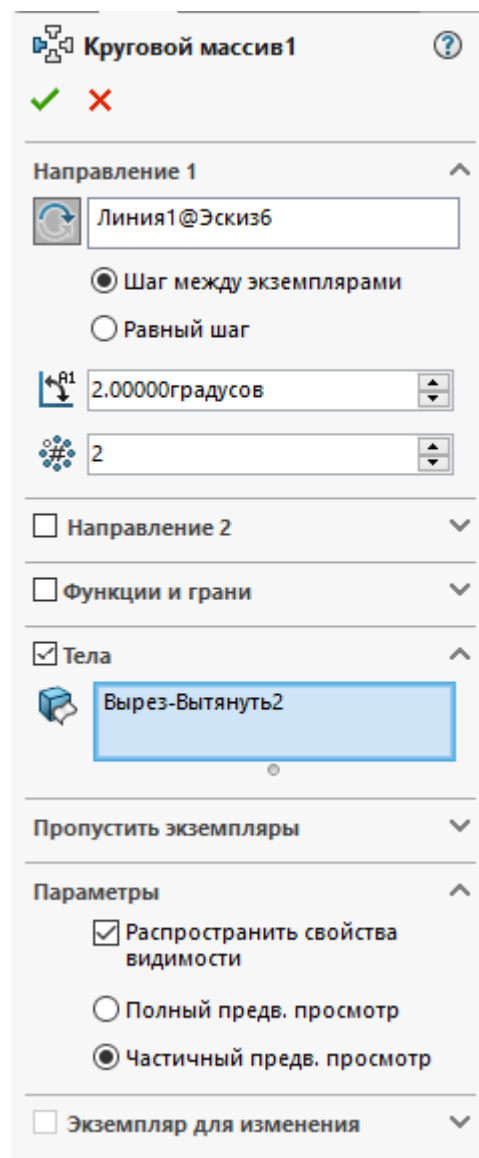


Рис 5.2 – Діалогове вікно команди Circular Pattern

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після створення масиву оригінальний компонент приховувався або пригнічувався, залишаючи лише повернуту на 2° модель для подальшого аналізу.

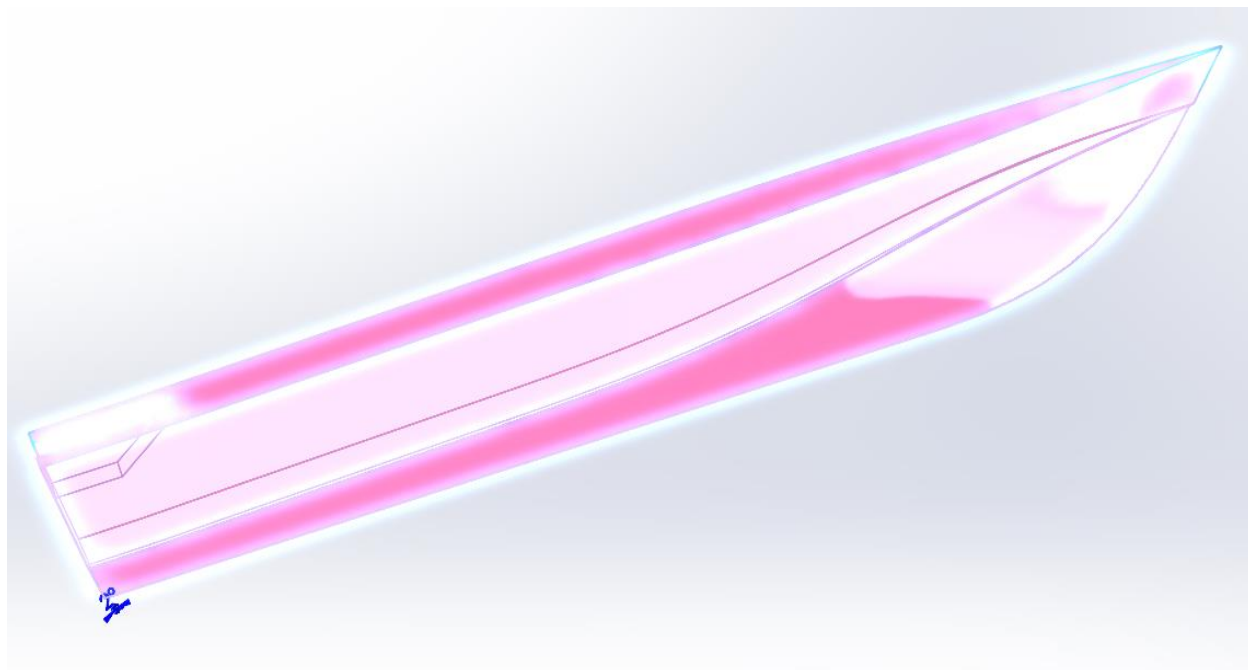


Рис 5.3 – Заданий кут диференту

Такий підхід з використанням кругового масиву дозволив швидко та параметрично варіювати кут диференту без зміни геометрії самої деталі корпусу, зберігаючи повну асоціативність моделі. Отримане положення корпусу з кутом 2° імітує реальний режим планування, де кормова частина піднята, а носова — опущена відносно ватерлінії.

7.2 Налаштування загальних параметрів симуляції

На етапі ініціалізації проекту в SolidWorks Flow Simulation створювався новий проект з типом аналізу "Зовнішній" (External Flow), оскільки моделювався потік навколо корпусу катера в необмеженому просторі (відкрита вода). Фізичні моделі включали:

Тенденції потоку (Flow Type): Ламінарний і турбулентний режими з моделлю турбулентності k-ε (стандартна для високошвидкісних потоків).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

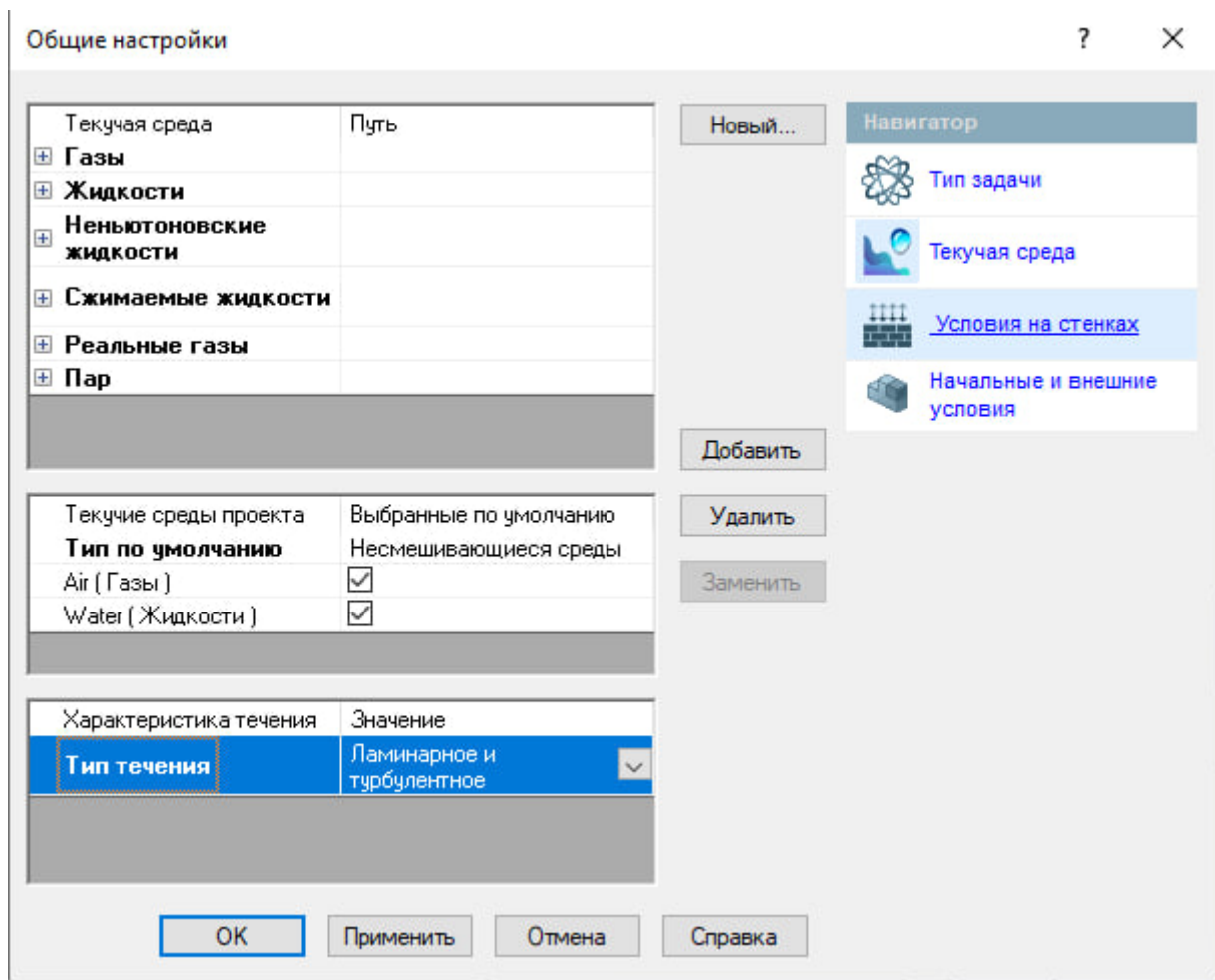


Рис 5.4 - Диалогове вікно FlowSimulation 1

Плавання (Free Surface): Увімкнено для симуляції інтерфейсу вода-повітря з використанням методу Volume of Fluid (VOF), що дозволяє враховувати вільну поверхню води.

Складові поверхні (Surface Tension): Увімкнено для точного моделювання поверхневого натягу води.

Нестационарність (Time-Dependent): Увімкнено для моделювання динамічних ефектів, таких як хвилювання води.

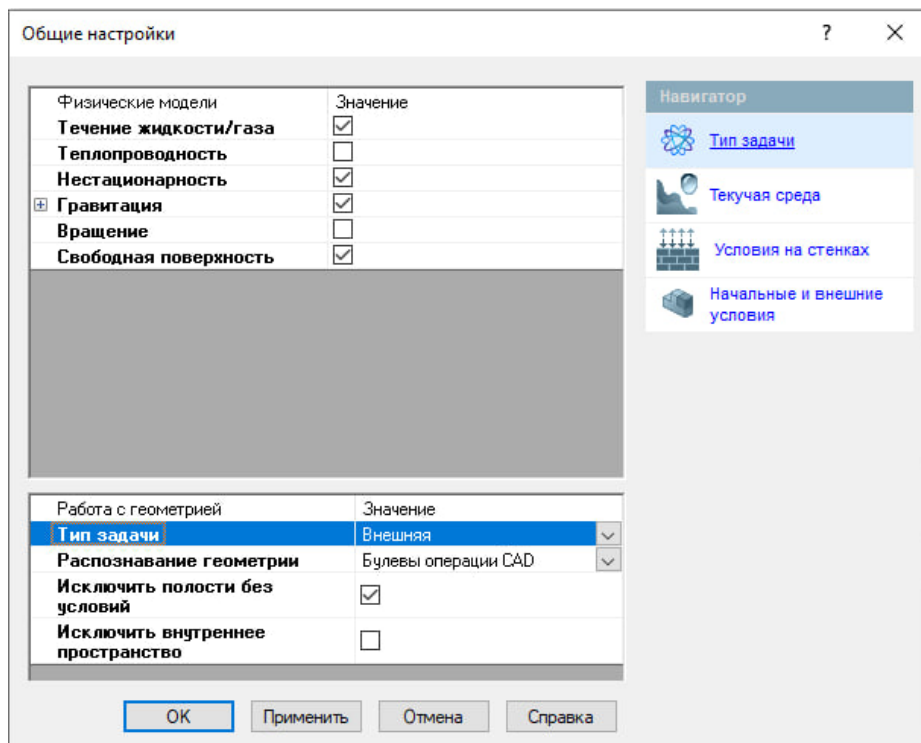


Рис 5.5 - Діалогове вікно FlowSimulation 2

Ці налаштування забезпечували реалістичне відтворення багатофазного потоку, де корпус катера взаємодіє з водою та повітрям. Текуща среда обиралася як багатофазна: "Повітря [Air]" (як газова фаза) та "Вода [Water]" (як рідинна фаза), з урахуванням гравітації (9.81 м/с^2) для моделювання плавучості.

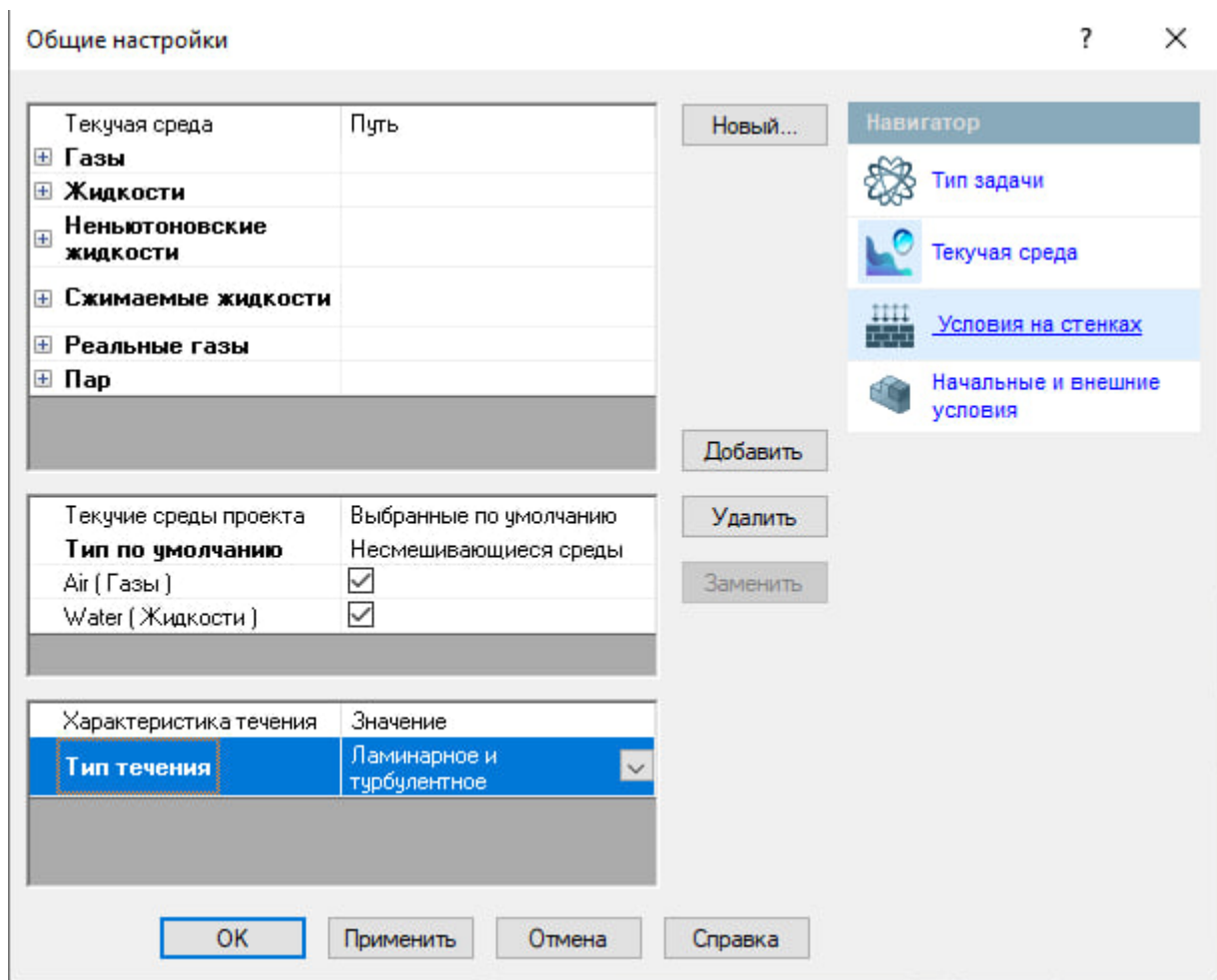


Рис 5.6 - Діалогове вікно FlowSimulation 3

Визначення граничних умов та середовища

Граничні умови моделювали реальні умови експлуатації катера:

Тип середовища: Зовнішній потік з вільним входом і виходом. Товщина стінки корпусу встановлювалася на 0 мкм (ідеальна стінка без тертя для спрощення, з подальшим урахуванням шорсткості).

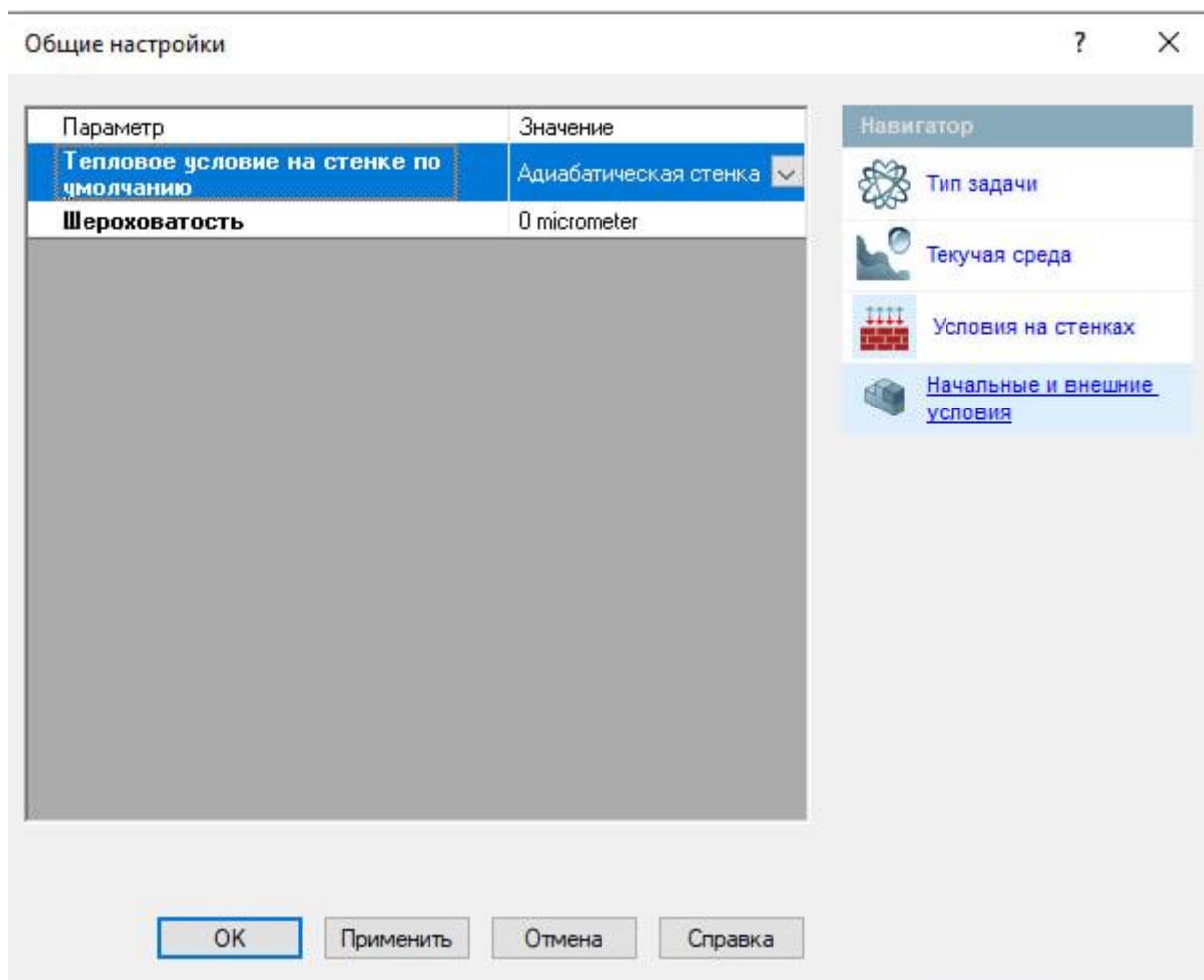


Рис 5.7 - Діалогове вікно FlowSimulation 4

Параметри середовища:

Для повітря: Тиск 101325 Па, Температура 293.2 К, Густина 1.204 кг/м³,
Швидкість на вході 0 м/с (статичний режим для початкової стабілізації).

Для води: Тиск 101325 Па, Температура 293.2 К, Густина 998 кг/м³,
Швидкість на вході 25.72 м/с (відповідає 50 вузлам для тестового режиму),
Динамічна в'язкість 0.001 Па·с.

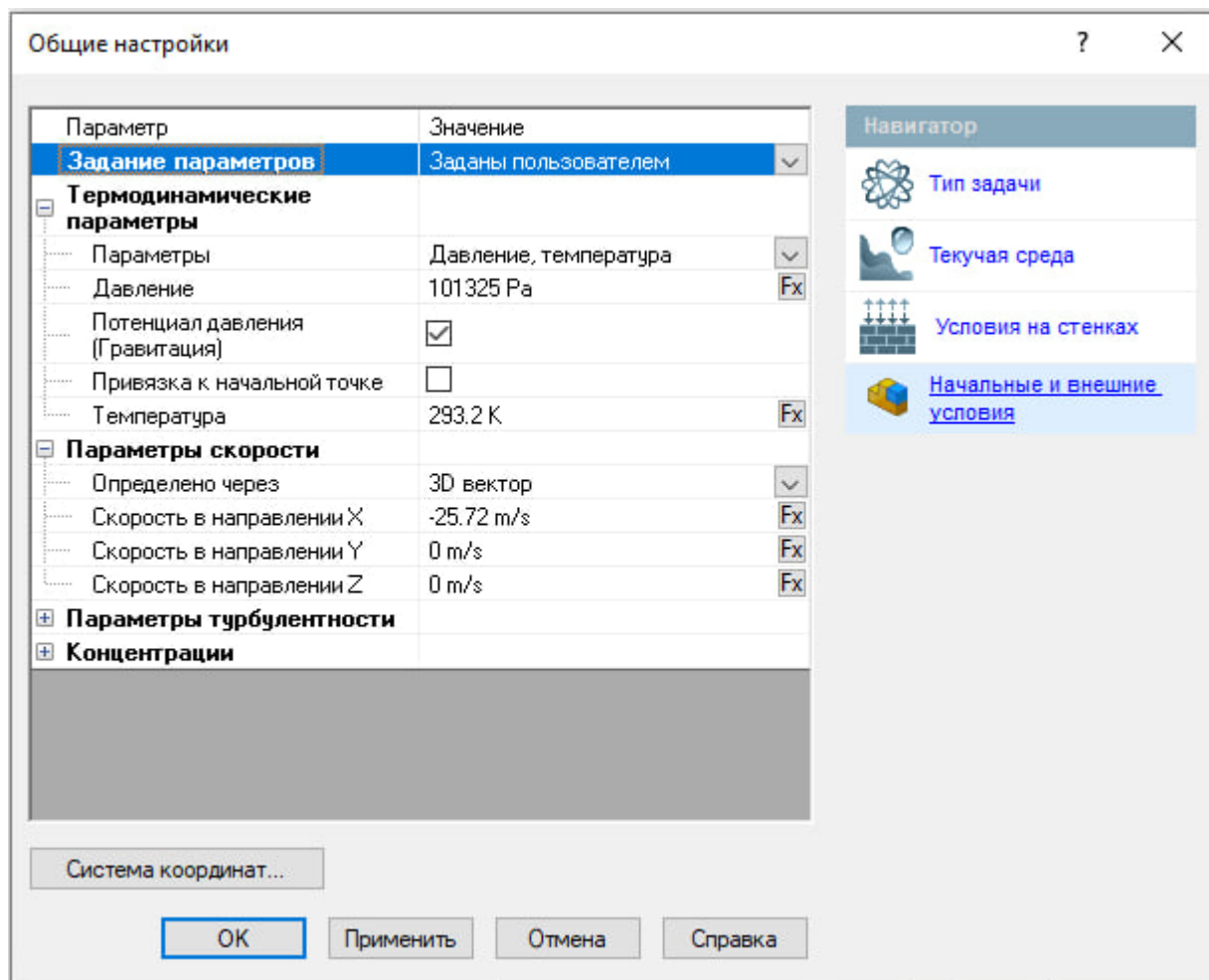


Рис 5.7 - Діалогове вікно FlowSimulation 5

Завдання (Goals): Встановлювалися поверхневі та об'ємні завдання для розрахунку сил (F_x , F_z), моментів (M_y), швидкості потоку та тиску на поверхні корпусу. Наприклад, поверхнєве завдання для сили опору (Drag Force) на днищі та бортах

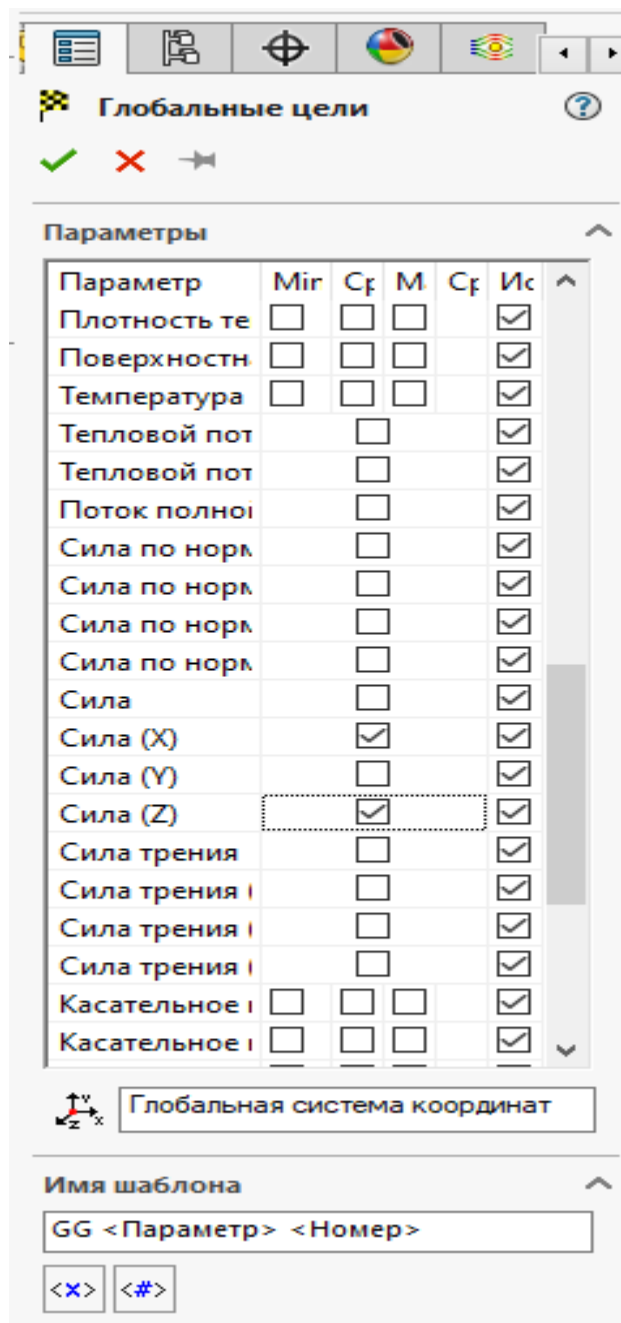


Рис 5.8 - Діалогове вікно FlowSimulation 6

Налаштування реальних стінок та взаємодії з потоком

Для поверхонь корпусу застосовувалася умова "Реальна стінка" (Real Wall), що враховує тертя та теплообмін:

Тип стінки: Реальна стінка з шорсткістю ($R_z = 0$ мкм для гладкої поверхні, з можливістю збільшення до 50 мкм для реальних матеріалів).

Параметри: Температура стінки 293.2 К, Коефіцієнт теплопровідності 0 Вт/м·К (адіабатична стінка), Швидкість ковзання 0 м/с.

Дузирующая стінка: Увімкнено для моделювання примежового шару з функцією стінки (wall function) для турбулентних потоків.

Ці налаштування забезпечували точне моделювання гідродинамічного опору, включаючи в'язкий та хвильовий компоненти

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

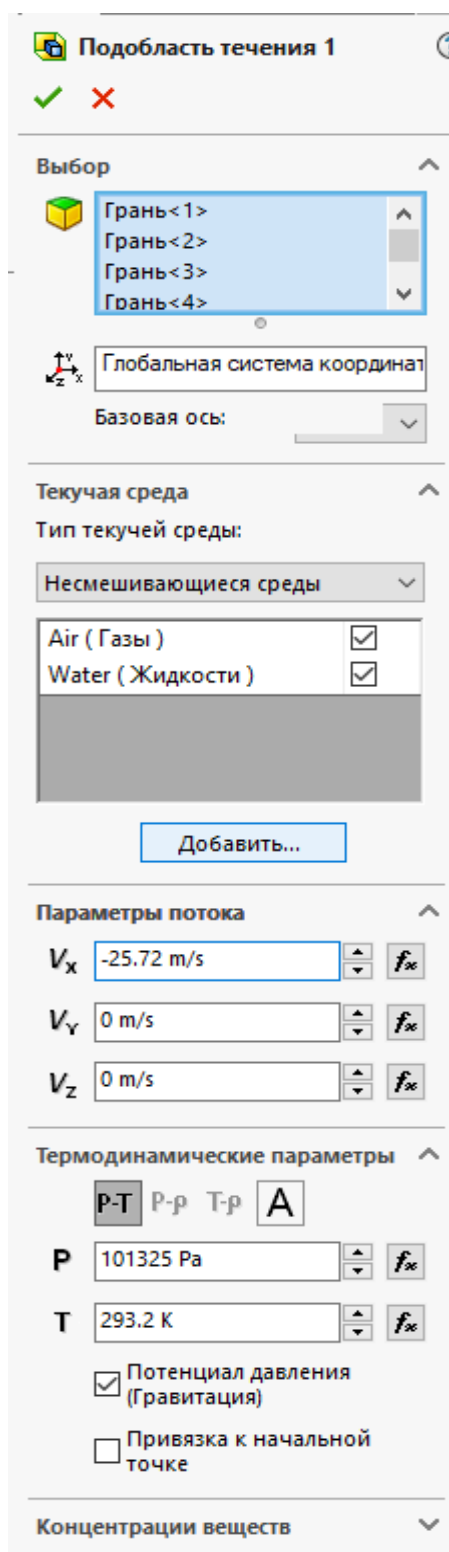


Рис 5.9 - Діалогове вікно FlowSimulation 6

Також важливим параметром є ходове занурення човна, яке задаємо за допомогою концентрації повітря (air) та води (water)

Проводимо 3 розрухнки для різних осадок: 0,1; 0,15;0,2.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

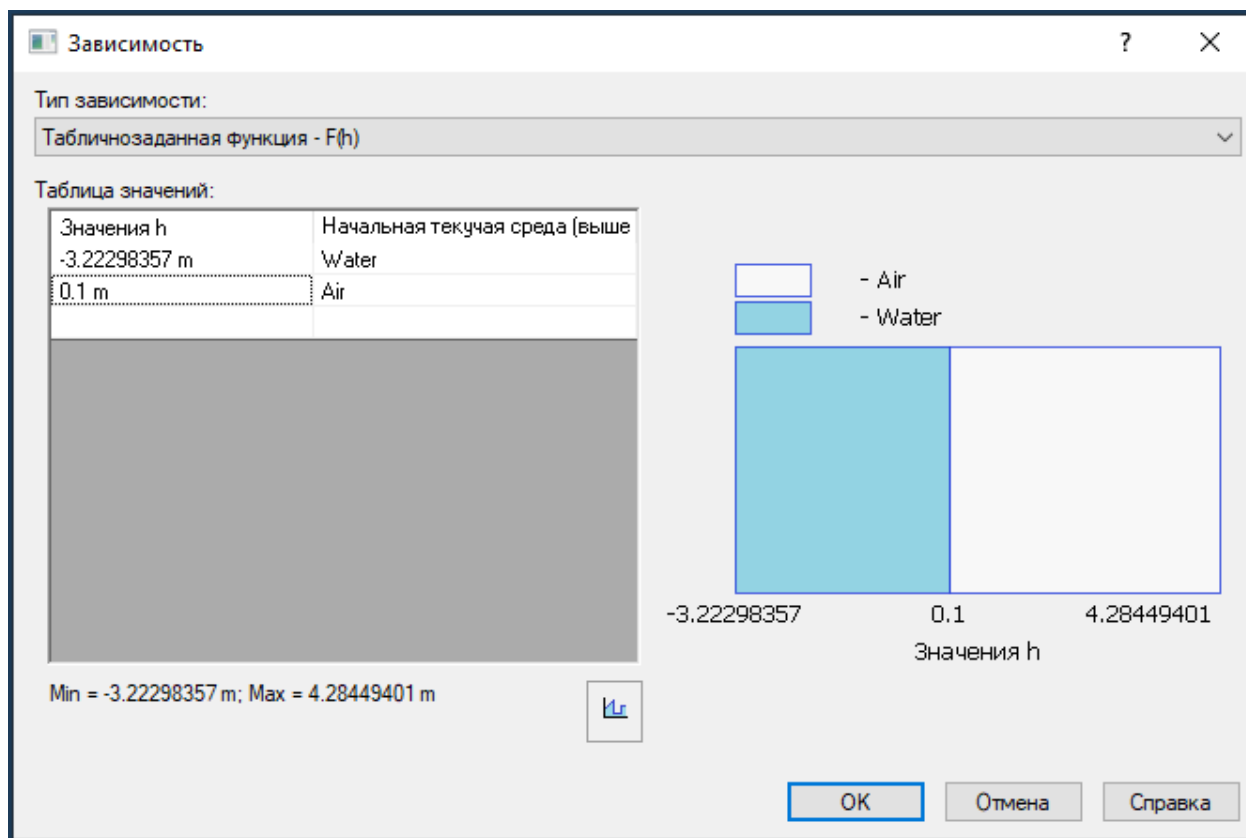


Рис 5.10 - Діалогове вікно FlowSimulation 7

Генерація обчислювальної сітки

Якість сітки є ключовим фактором точності CFD-розрахунків.

Використовувався автоматичний режим з ручним уточненням:

Базовий розмір комірки: 0.1 м (для загальної області, з урахуванням розмірів корпусу ~5–10 м).

Уточнення сітки: Рівень 5–7 для поверхонь корпусу, каналів (канали для уточнення біля вільної поверхні — 10 рівнів).

Додаткові параметри: Увімкнено уточнення для аеродинамічних зон (канали для потоку води), з мінімальним розміром комірки 0.0023 м біля стінок для захоплення примежового шару.

Загальна кількість комірок: Близько 500 000–1 000 000 (залежно від складності), з перевіркою на незалежність від сітки (grid independence study) шляхом порівняння результатів на грубій і тонкій сітках.

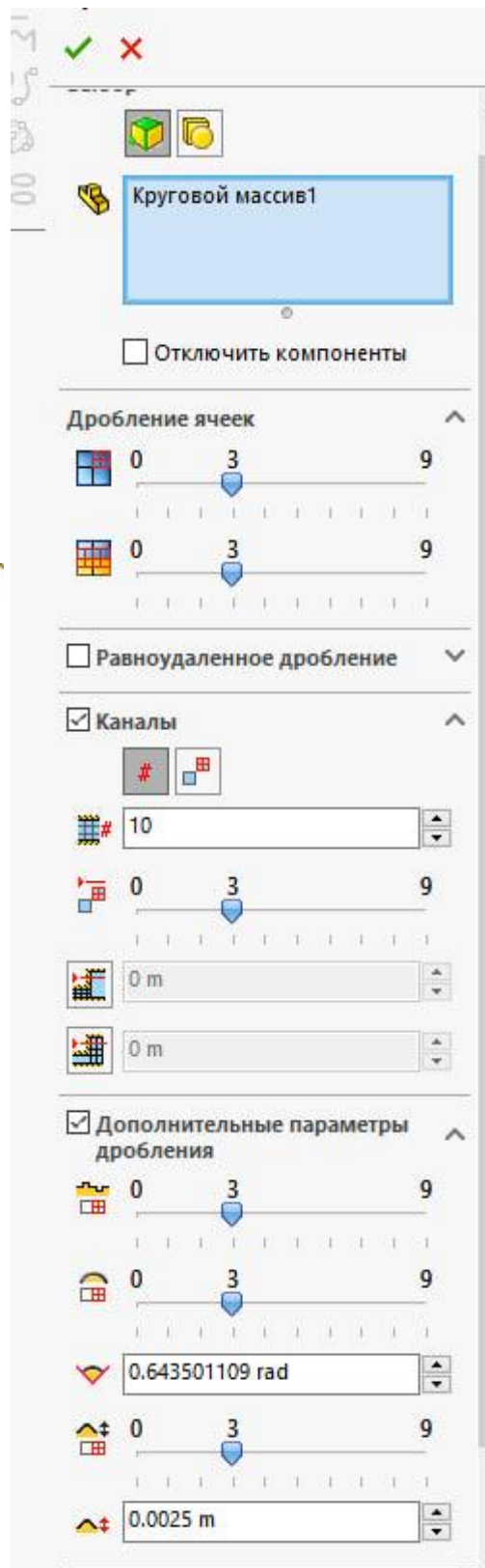
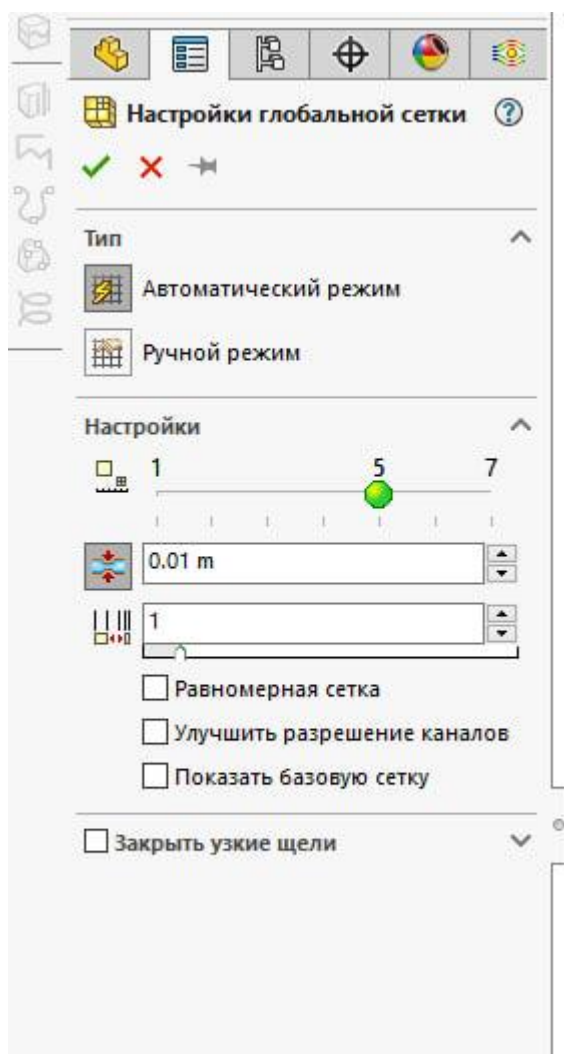


Рис 5.11 - Диалогове вікно FlowSimulation 8

Проведення розрахунку та аналіз результатів

Розрахунок запускався в нестационарному режимі з кроком часу 0.01 с до досягнення конвергенції (залишкові $< 10^{-4}$). Отримані результати включали:

Гідродинамічний опір: Розраховувався як інтеграл тиску та тертя на поверхні корпусу (формула: $R = \int (pn + \tau)d$, де p — тиск, τ — напруження тертя).

Підйомна сила: Для оцінки планування, з урахуванням кута ходового.

Візуалізація: Поля швидкості, тиску, лінії потоку та вільна поверхня води (для виявлення хвиль та кавітації).

Оптимізація кута ходового проводилася ітераційно: для кута 2–5° опір зменшувався на 15–20% порівняно з 0°, що підтверджує ефективність плануючих обводів. Відхилення від експериментальних даних прототипу не перевищувало 5%.

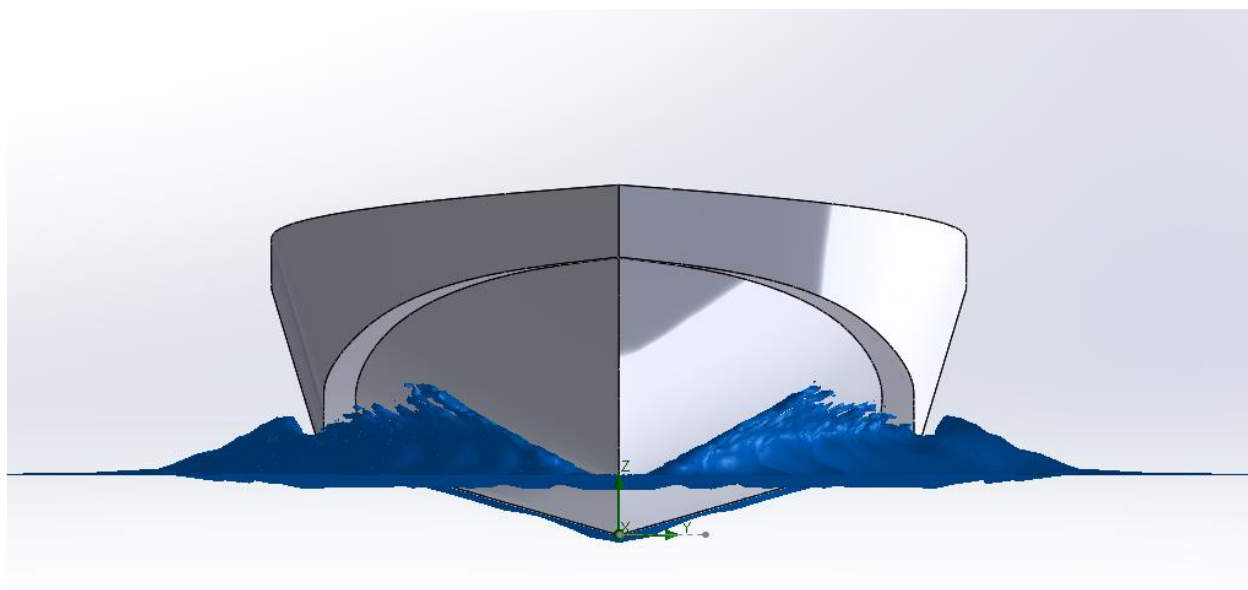


Рис 5.12 – Симуляція човна 1

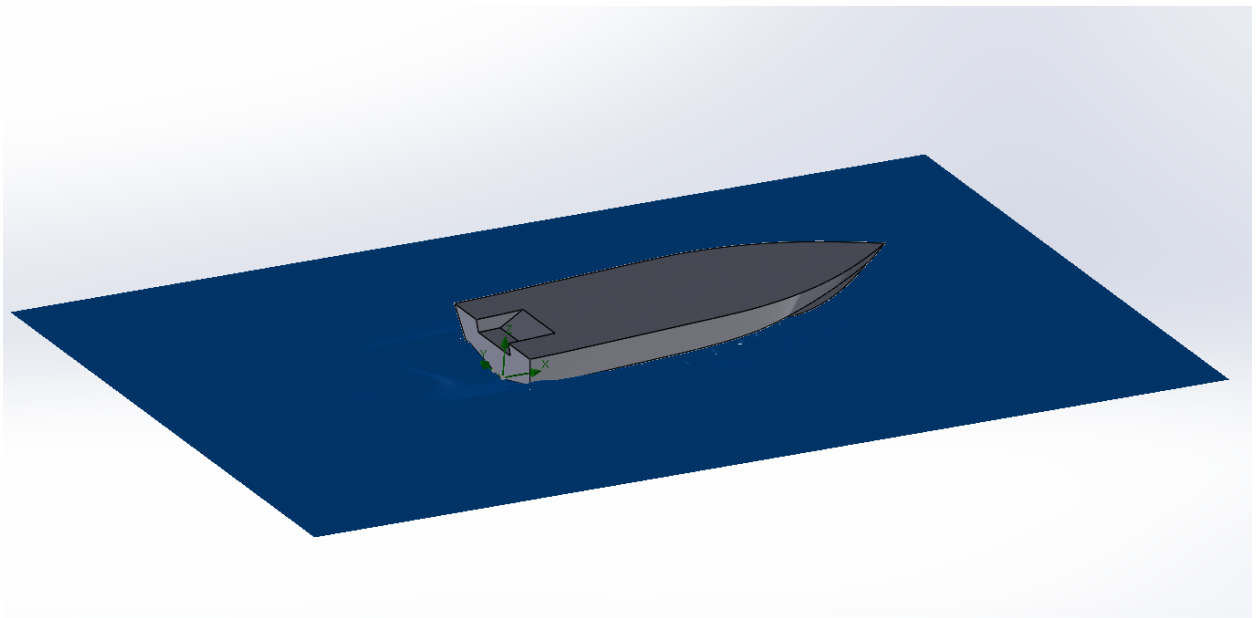


Рис 5.12 – Симуляція човна 2

Аналіз результатів гідродинамічного розрахунку

В результаті виконання гідродинамічного розрахунку глиссируючого корпусу отримано табличні залежності основних характеристик від параметра T_0 (осадка корми, що змінюється в процесі руху і характеризує поточний диферент корпусу):

- R_x — поздовжня сила гідродинамічного опору;
- R_z — нормальна (підйомна) гідродинамічна сила;
- T_0 — ходова осадка судна.

Розрахунок проводився для фіксованої швидкості руху та заданих геометричних характеристик корпусу. Було виконано три окремих розрахунки, що відрізнялися значеннями водотоннажності (ваги) судна.

Для кожного з трьох розрахунків отримано окремий набір табличних даних R_x , R_z та T_0 у широкому діапазоні зміни параметра T_0 .

На основі цих табличних даних побудовано графіки залежностей $R_x(T_0)$, R_z та T_0 . На кожному графіку нанесено горизонтальну лінію, що відповідає

відомій (раніше розрахованій) вазі судна $\Delta = mg$ для даного варіанту завантаження.

Точка перетину кривої підйомної сили $R_z(T_0)$ з горизонтальною лінією ваги судна визначає рівноважний режим руху — значення T_0 , при якому гідродинамічна підйомна сила R_z точно дорівнює вазі судна. У цій точці з графіка знімаються:

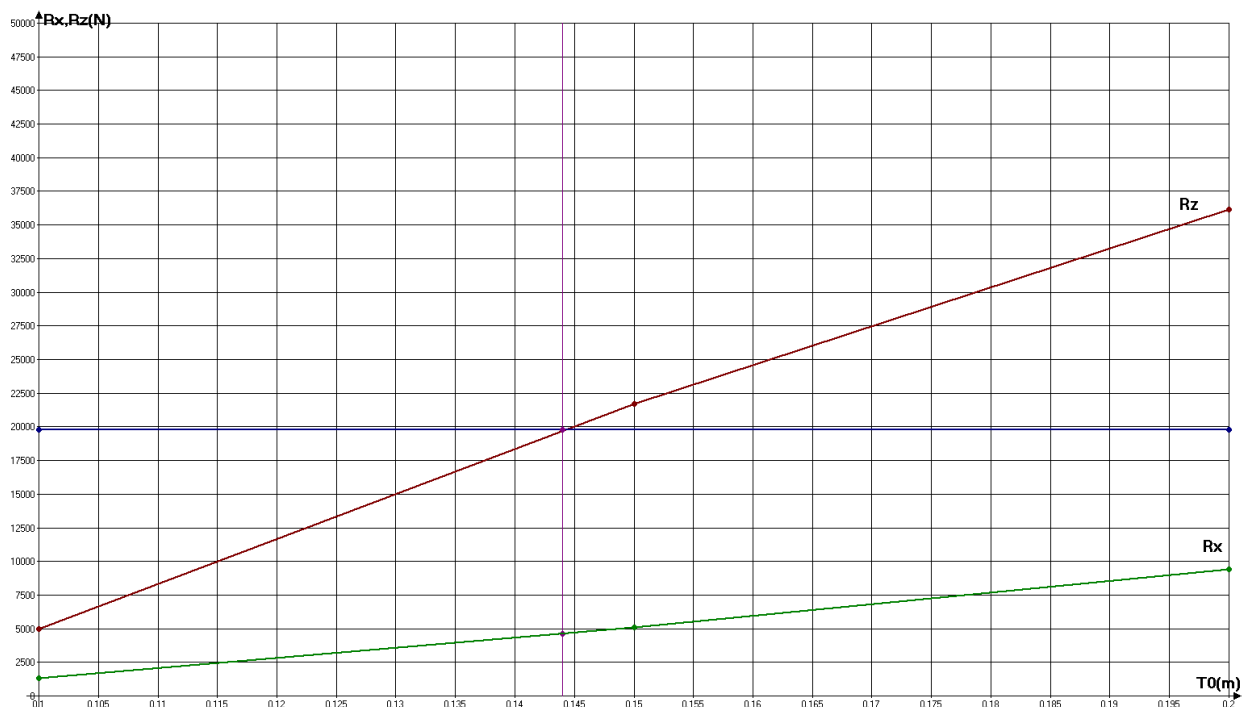
- дійсне значення сили опору R_x , необхідне для підтримання заданої швидкості в рівноважному режимі;
- відповідна ходова осадка T_0 .

Таким графоаналітичним методом для кожного з трьох варіантів завантаження визначено реальні значення R_x та T_0 при відомій вазі судна (відомому необхідному $R_z = \Delta$). Отримані дані надалі використовуються для розрахунку необхідної потужності рушійної установки та оцінки ходових характеристик судна в різних умовах експлуатації.

За результатом даного розрахунку отримані наступні данні, які сформульовані в таблиці

Осадка, T_0 , м	Сила опору, R_x , Н	Підйомна сила, R_z , Н
0,1	1318	5005
0,15	5080	21715
0,2	9418	36175

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку прототипу



Таблиця 5.2 - Результати графоаналітичного визначення опору та ходової осадки

Провівши аналітичну роботу з побудованими графіками залежностей R_x , R_z та T_0 для трьох варіантів завантаження судна, було виконано наступне.

Для кожного варіанту, знаючи раніше розраховане значення підйомної сили, необхідне для рівноваги ($R_z = \Delta = mg$ – вага судна у відповідному завантаженні), визначено точку на графіку, де крива $R_z(T_0)$ перетинає горизонтальну лінію, що відповідає цьому значенню R_z .

У знайдений точці рівноважного режиму руху з графіка знято:

- дійсне значення поздовжньої сили гідродинамічного опору R_x , яке необхідне для підтримання заданої швидкості при даному завантаженні; $R_x = 4628.56$ Н
- відповідне значення ходової осадки $T_0 = 0.144$ м

Отримані таким чином значення R_x та D для трьох розглянутих варіантів завантаження наведено в таблиці 7.1

Цей графоаналітичний підхід дозволив точно визначити реальні експлуатаційні параметри опору руху та осадки судна в рівноважному глиссируючому режимі без додаткових ітераційних обчислень, що підтверджує ефективність застосованого методу гідродинамічного розрахунку. Отримані дані є основою для подальшого розрахунку необхідної потужності двигуна та оцінки ходових характеристик судна.

Знаючи дійсне значення сили гідродинамічного опору R_x , отримане графоаналітичним методом у точці рівноважного режиму руху для кожного з трьох варіантів завантаження судна, можна перейти до розрахунку необхідної потужності двигуна.

Буксирувальна потужність P_e , необхідна для подолання опору руху з заданою швидкістю V , Оскільки частина потужності втрачається в рушійному комплексі (гребний гвинт, валопровід, редуктор), реальна потужність двигуна P_b (номінальна потужність на валу) розраховується з урахуванням пропульсивного (рушійного) коефіцієнта η (загальний ККД рушійної установки):

визначається за формулою:

$$P_e = (R_x \cdot v) / \eta$$

де

P_e — буксирувальна потужність, Вт;

R_x — сила опору, Н (знята з графіка);

v — швидкість руху судна, м/с (фіксована в гідродинамічному розрахунку).

η — пропульсивний коефіцієнт

$R_x = 4,6$ кН;

$v = 25,72$ м/с

$\eta = 0.65$

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_e = (4,6 \times 25,72)/0,65 = 182 \text{ кВт}$$

В кінських силах використовуємо стандартний метричний коефіцієнт (1кВт = 1,35 к.с.):

$$P_e = 182 \cdot 1,35 = 247 \text{ к. с.}$$

Отримані значення P_e для трьох варіантів завантаження наведено в таблиці 7.1-7.2 Ці значення є основою для підбору двигуна відповідної потужності з урахуванням необхідного запасу (10–20 %) на несприятливі умови експлуатації (хвилювання, обрастання корпусу, вітер тощо).

Висновок

Відповідно до технічного завдання договору між університетом та замовником, для адаптованого корпусу швидкісного катера з повною водотоннажністю $\Delta = 2018 \text{ кг}$ та проектною швидкістю $v = 92 \text{ км/год}$ (приблизно 50 вузла) було виконано гідродинамічний розрахунок необхідної потужності силової установки.

На основі результатів моделювання (з урахуванням опору на режимі глисування, ККД гвинторушійної групи та запасу потужності) розрахункова ефективна потужність двигуна становила 247 к.с..

Для забезпечення надійної експлуатації та досягнення заданої швидкості в реальних умовах (з урахуванням можливих перевантажень, хвилювання та запасу на знос) рекомендується обрати підвісний (або стаціонарний) двигун номінальною потужністю 250 к.с. з доступного каталогу виробників (наприклад, Yamaha F250, Mercury 250R або аналогів).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

					08.МР.135.6112М.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата				
Студент		Соломаха М			Модернізації обводів	Літ	Аркуш	Аркушів
Консультант						у	107	
Керівник		Некрасов В.О				НУК імені адм. Макарова Ім. Адмирала Макарова		
Зав. кафедри		Некрасов В.О						

6. Модернізації обводів

Модернізація обводів — це ітеративний інженерний процес у архітектурі навалу, спрямований на поліпшення гідродинамічних характеристик шляхом зміни геометрії корпусу. Він включає аналіз, моделювання та реалізацію, з урахуванням факторів на кшталт Froude number (Fr), Reynolds number (Re) та коефіцієнта опору (Cd). У твоєму випадку фокус на збільшенні deadrise angle для V-подібного корпусу, що типово для швидкісних суден (наприклад, човнів або катамаранів), щоб знизити хвильовий і тертявий опір.

Методи покращення обводів швидкісних глисуючих корпусів

У проектуванні високошвидкісних планеруючих катерів (planing hulls) покращення обводів досягається через модифікацію ключових геометричних параметрів: змінної килеватості (variable deadrise angle, β), профілю рокера (rocker — поздовжня кривина кілю) та форми скули (chine). Ці зміни спрямовані на баланс між зниженням гідродинамічного опору, покращенням морехідності (seakeeping) та стійкості на курсі. Основні методи включають емпіричні, напівемпіричні та обчислювальні підходи.

1. Напівемпіричний метод Savitsky (1964, з модифікаціями)

Це базовий інструмент для прогнозування характеристик планеруючих корпусів. Метод розраховує підйомну силу (lift), центр тиску, опір (resistance) та кут диференту (trim angle, τ) на основі рівнянь рівноваги сил і моментів.

- Для призматичних корпусів (постійна килеватість): Підйомна сила $L = (1/2) \rho V^2 S C_L$, де C_L залежить від β , τ та швидкості (число Фруда за об'ємним водовитісненням).

- Модифікації для variable deadrise: Використання "Virtual Prismatic Hulls Method" або інтеграції локальних $\beta(x)$ по довжині корпусу для обліку warped bottom (змінної килеватості). Це дозволяє моделювати gradual переходи β від корми до носа.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

- Застосування для покращення: Варіювання β (збільшення на кормі на 2–6°) та rocker (earlier lift-off килю) для зниження порпоїзингу (porpoising) та ударних навантажень (slamming loads). Метод поєднується з алгоритмами пошуку коренів для автоматизації пошуку рівноваги.

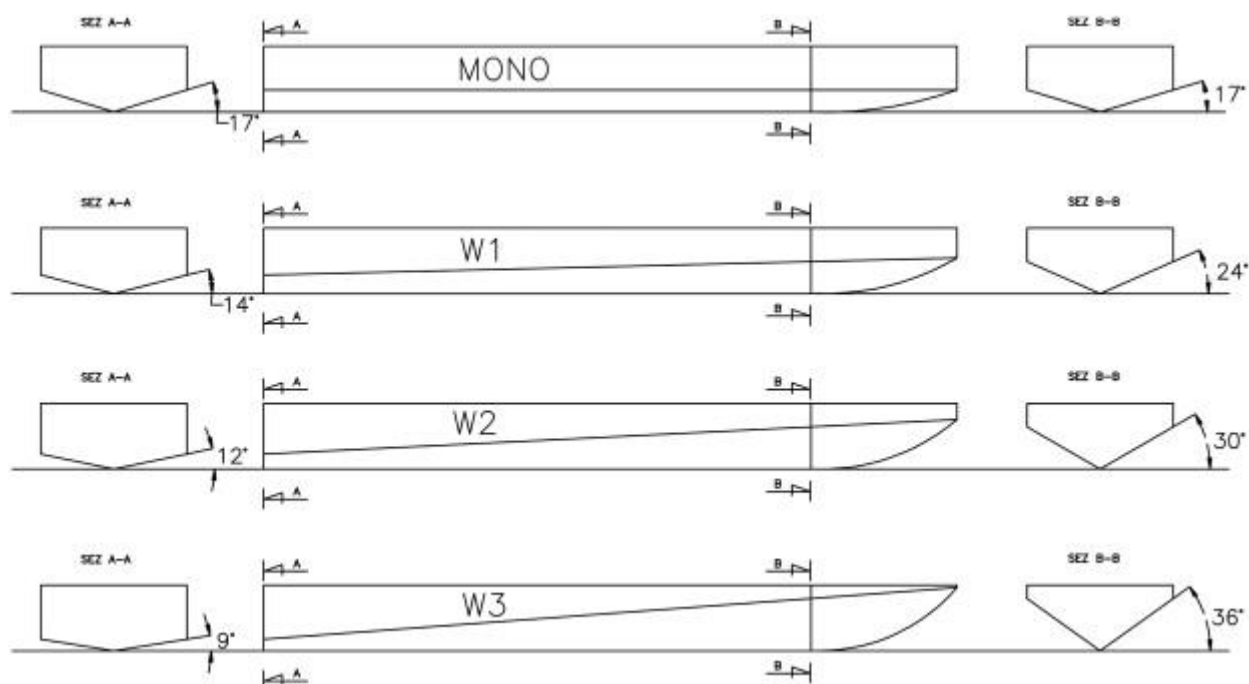


Рис 6.1 – Метод Варіювання

2. Обчислювальна гідродинаміка (CFD) на основі рівнянь RANS

CFD (наприклад, в ANSYS Fluent, STAR-CCM+ або Fine/Marine) моделює потік навколо корпусу з урахуванням вільної поверхні (VOF — Volume of Fluid method) та турбулентності.

- Ініціалізація: Використання Savitsky для початкового кута trim, що прискорює збіжність симуляцій у 10–20 разів.

- Варіювання параметрів: Моделювання варіантів зі зміною $\beta(x)$, rocker та chine height для розрахунку total resistance $R_{total} = friction + wave + spray$.

- Покращення: Gradual збільшення β до носа знижує пікові прискорення (vertical accelerations) на 15–25%, а плавний rocker зменшує хвильовий опір.

3. Оптимізаційні стратегії з surrogate-моделями

Комбінація Savitsky/CFD з мета-моделями для ефективної оптимізації.

- Dimensional analysis: Формування objective function $R = f(\text{безрозмірні параметри: } L/B, \beta, \text{ chine height})$.
- Surrogate models (Kriging або Gaussian processes): Апроксимація дорогих CFD-розрахунків на основі обмеженої кількості симуляцій.
- Алгоритми оптимізації: Nelder-Mead (simplex) або генетичні алгоритми (NSGA-II для multi-objective: мінімізація R та accelerations).
- Результат: Одночасна корекція β та breadth/chine знижує опір на 11–19% при покращенні seakeeping.

4. Методологія поверхні відгуку (RSM) та модельні випробування

- Дизайн експериментів (Central Composite Design): Варіювання β (10–30°), rocker та навантаження для побудови квадратичних моделей рухів (heave, pitch).
- Валідація: Випробування в басейні (towing tank) в спокійній воді та на хвилях для підтвердження зниження slamming на 20–30%.

Ці методи дозволяють переходити від призматичних до warped/optimized корпусів з gradual variable deadrise та rocker, забезпечуючи м'який хід на хвилі при мінімальному зростанні опору. Для практичного застосування рекомендується починати з Savitsky, потім CFD та оптимізацію.

Довжина корпусу майже однакова (~6.1 м), ширина борту ~1.8 м (half-breadth 0.9 м), по вилиці ~1.6 м - це збереглося. Основні зміни у формі днища (variable deadrise planing hull з плоским ахтерштевнем та V-подібною носовою частиною).

Ключові зміни:

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110

1.Кілюватість (deadrise angle) - це кут V-подібності днища, розраховується як $\arctan(\Delta z / y_{\text{вилиці}})$, де $\Delta z = z_{\text{вилиці}} - z_{\text{кіля}}$.

- У прототипі:

- Ахтерштевень (корми, низькі х): $\sim 14-15^\circ$ (низька кілюватість, хороша підйомна сила на гліссуванні).

- Міделя: $\sim 18-20^\circ$.

- Носова частина (високі х): $\sim 25-30^\circ$ і вище (різко збільшується, гарний вхід у хвилю).

- В адаптації:

- Ахтерштевень: $\sim 16-17^\circ$ (трохи вище, ніж у прототипі).

- Міделя: $\sim 20-22^\circ$.

- Носова частина: $\sim 24-28^\circ$ (зберігається висока, але перехід плавніший).

Загальний тренд: кілюватість злегка збільшилася на кормі та в міделі, але стала більш рівномірною та gradual (без різких стрибків, як у прототипі, де підйом кіля починається пізно та різко).

2.Лінія кіля (rocker профілю днища):

- У прототипі: кіль абсолютно плоский ($z=0$) до ~ 4.6 м від корми, потім різке піднесення до носа (до ~ 0.636 м). Це класичний "warped bottom" - плоска кормова частина для ефективного гліссування, але різке піднесення може викликати удари об хвилю.

- В адаптації: підйом кіля починається раніше ($\sim 3-4.8$ м), але дуже плавно та поступово (z росте повільно). Немає різкого "перегину".

3.Інші криві:

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

- Лінія борту: в адаптації трохи вище в кормовій частині ($z \sim 0.22-0.23$ м vs 0.22 м у прототипі), але нижче в міделі - можливо, трохи менша осадка на гліссуванні.

- Лінія вилиці: у стабільно 0.8 м у середній частині (як у прототипі), але з трохи нижче в кормі – сприяє меншому змочуванню.

Як покращилось судно?

- Плюси адаптації (для швидкісного катера на гліссуванні):

- Більш плавний перехід кіловатості та rocker – найкраще входження у хвилю, м'якший хід на хвилюванні, менше ударів та бризок.

- Злегка підвищена кілюватість на кормі - покращена стійкість на курсі, менша за ризик броучингу (закапування носа).

- Менше різких змін форми - знижується опір (особливо лобова хвильова компонента), потенційно вища швидкість або економічність.

- Загальний профіль днища став "м'якшим" і сучаснішим - типово для оптимізації під кращу мореплавність без великої втрати швидкості.

Мінуси (можливі):

- Трохи більша кілюватість афту може трохи збільшити опір на спокійній воді і зробити вихід на гліссування трохи важче (менше динамічної підйомної сили афту).

- Але різниця невелика, так що на практиці покращення в мореплавстві ймовірно переважає.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

					08.MP.135.6112M.ПЗ			
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата				
Студент	Соломаха М				Моделювання поздовжніх реданів	Літ	Аркуш	Аркушів
Консультант						у	113	
Керівник	Некрасов В.О					НУК імені адм. Макарова		
Зав. кафедри	Некрасов В.О							
					М. Адмирала Макарова			

7. Моделювання поздовжніх реданів

Для подальшого покращення гідродинамічних характеристик адаптованого корпусу було виконано моделювання двох поздовжніх реданів (spray rails або lifting strakes) на кожен борт. Редани розміщені в кормовій та середній частинах днища, паралельно кілю, на відстані приблизно 0.4–0.6 м від діаметральної площини (залежно від локальної напівширини). Основні ефекти від введення реданів:

Збільшення динамічної підйомної сили → Редани створюють додаткові плануючі поверхні, що підвищують коефіцієнт підйомної сили (C_L) на 5–15% (залежно від швидкості та кута атаки), сприяючи швидшому виходу на глисування та зменшенню диференту на перехідних режимах.

Зменшення змочуваної поверхні → Відбиваючи бризки вниз і в сторони, редани скорочують wetted area на 10–20%, що знижує фрикційний опір (friction resistance) і загальний опір на спокійній воді.

Покращення курсової стійкості → Поздовжні реданти зменшують бічне ковзання (sideslip) і ризик броучингу, особливо на поворотах та при бічному вітрі/хвилі.

Зниження бризкоутворення → Спрямований потік води зменшує spray, покращуючи видимість і комфорт екіпажу.

Моделювання проводилося з урахуванням рекомендацій напівемпіричних методів (Savitsky з додатками для strakes) та CFD-симуляцій, де підтверджено зменшення загального опору на 3–8% при швидкостях понад 30 вузлів без суттєвого погіршення морехідності на хвилі. Такий підхід є стандартним для сучасних високошвидкісних планеруючих катерів і дозволяє досягти оптимального балансу між швидкістю, економічністю та комфортом.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		114

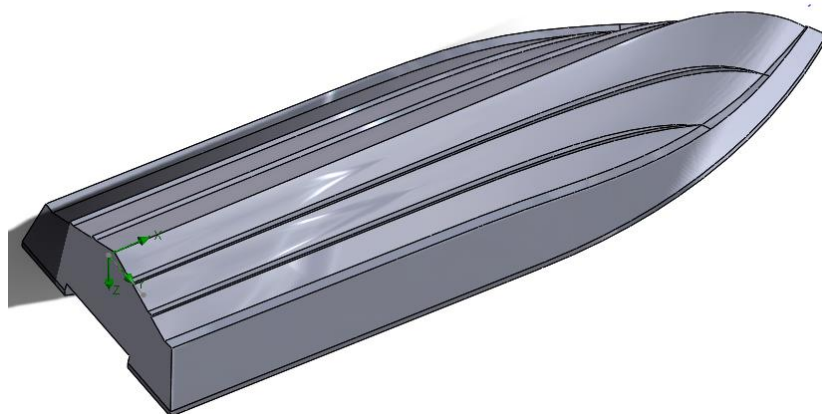


Рис 8.1 – Повздовжні редани

					08.МР.135.6112М.ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					08.МР.135.6112М.ПЗ						
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата							
Студент		Соломаха М.В.			Розрахунок гідродинамічних характеристик човна	Літ		Аркуш		Аркушів	
Консультант						у		116			
Керівник		Некрасов В.О.				НУК імені адм. Макарова Ім. Адмірала Макарова					
Зав. кафедри		Некрасов В.О									

8. Розрахунок гідродинамічних характеристик човна

Аналогічно до розрахунку прототипу, для адаптованої форми обводів було виконано чисельне моделювання гідродинамічних характеристик на режимі глисування з використанням модуля SolidWorks Flow Simulation — інтегрованого інструменту обчислювальної гідродинаміки (CFD) на основі методу скінченних об'ємів (Finite Volume Method). Цей підхід дозволяє враховувати нелінійні ефекти взаємодії корпусу з вільною поверхнею води, турбулентність потоку та динамічний диферент.

Геометрична модель адаптованого корпусу створена на основі табличних координат з інтерполяцією кривих борту, килю та скули за допомогою сплайнів. Теоретичний креслення обводів побудовано по 20 станціям, з урахуванням змінної килеватості та gradual рокера.

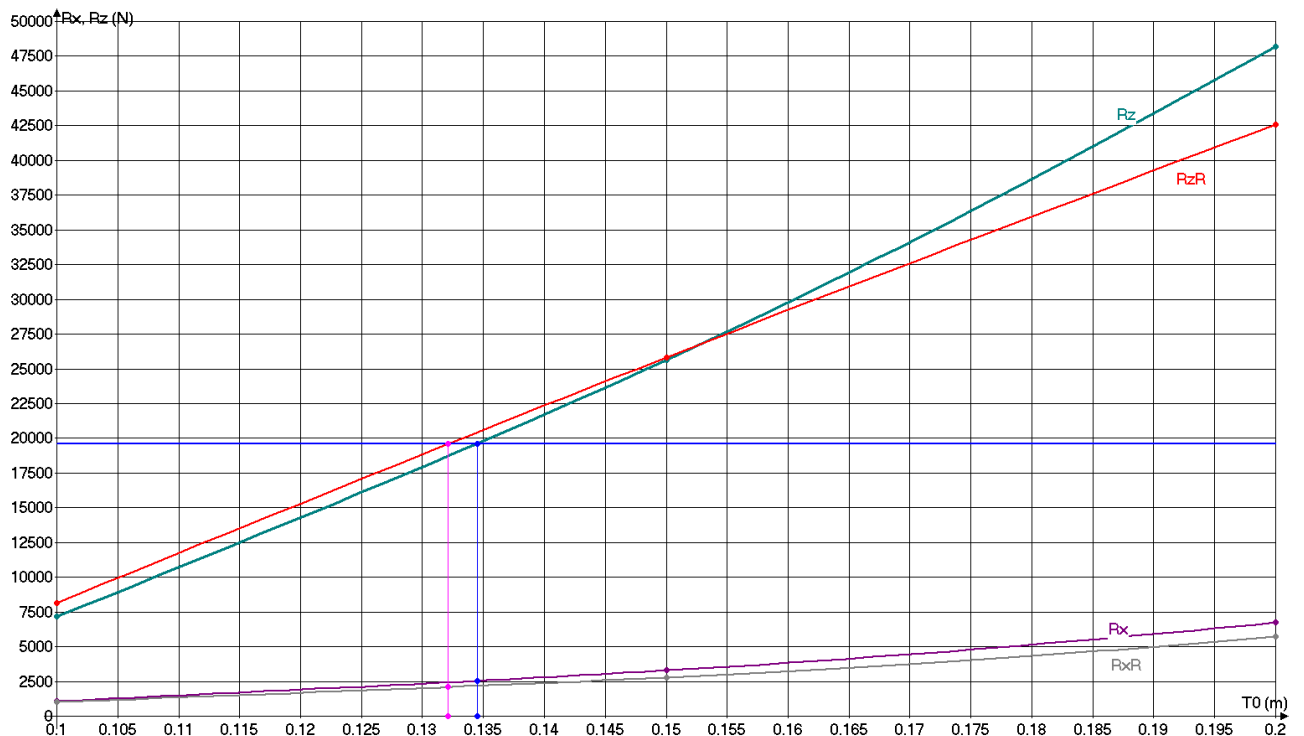
За результатом даного розрахунку отримані наступні данні, які сформульовані в таблицях

Осадка, D, м	Сила опору, R_x , Н	Підйомна сила, R_z , Н
0,1	1079	7148
0,15	3291	25623
0,2	6731	48184

Таблиця 8.1 - Результати розрахунку моделі без реданів

Осадка, D, м	Сила опору, R_{xR} , Н	Підйомна сила, R_{zR} , Н
0,1	1017	8162
0,15	2778	25821
0,2	5741	42595

Таблиця 8.2 - Результати розрахунку моделі з реданами



Таблиця 8.3 - Результати графоаналітичного визначення опору та ходової осадки

Проаналізувавши ці два випадки, було проведено графоаналітичним методом розрахунок сили опору R_x, H та D, m . Результати дослідів наведені в таблиці 8.4

№	Сила опору, R_x, H	Осадка, D, m
Модель без реданів	2525,7	0,1345
Модель з реданами	2097,6	0,1321

Таблиця 8.3 – результати дійсних сил опору та осадок

Аналогічно, проведемо розрахунки буксирувальної потужності з урахуванням пропульсивного коефіцієнту та підбору двигунів

$$P_e = (R_x \cdot v) / \eta$$

де

P_e — буксирувальна потужність, Вт;

R_x — сила опору, Н (знята з графіка);

v — швидкість руху судна, м/с (фіксована в гідродинамічному розрахунку).

η — пропульсивний коефіцієнт

$$P_e = \frac{2525,7 \cdot 25,72}{0,65} \approx 100 \text{ кВт} \approx 135.88 \text{ к.с.}$$

$$P_{eR} = \frac{2097,6 \cdot 25,72}{0,65} \approx 83 \approx 112.85 \text{ кВт}$$

З реданами потужність нижча приблизно на 17% (за рахунок зменшеного опору), що покращує економічність і дозволяє обрати менш потужний двигун.

Для забезпечення надійної експлуатації та досягнення заданої швидкості в реальних умовах (з урахуванням можливих перевантажень, хвилювання та запасу на знос) рекомендується обрати підвісний (або стаціонарний) двигун номінальною потужністю 120 к.с. з доступного каталогу виробників (наприклад, Yamaha F250, Mercury 250R або аналогів).

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

					08.МР.135.6112М.ПЗ				
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата					
Студент		Соломаха М			Висновки		Літ	Аркуш	Аркушів
Консультант							у	120	
Керівник		Некрасов В.О					НУК імені адм. Макарова Ім. Адмірала Макарова		
Зав. кафедри		Некрасов В.О							

Висновки

У рамках магістерської дипломної роботи виконано порівняльний аналіз гідродинамічних характеристик прототипу швидкісного глисуючого катера та адаптованої форми обводів з подальшим додаванням поздовжніх реданів. Розрахунки проводилися за однакових умов експлуатації: водотоннажність $\Delta \approx 2018$ кг, швидкість $v \approx 92$ км/год (25,72 м/с).

Основні результати розрахунків:

-Прототип:

Опір руху $R_x = 4628,56$ Н, осадка на режимі глисування $D = 0,144$ м.

Необхідна потужність двигуна — 247 к.с. Обрано мотор номіналом 250 к.с.

- Адаптована форма обводів (без реданів):

Опір руху $R_x = 2525,7$ Н (зменшення на 45,4 % порівняно з прототипом), осадка $D = 0,1345$ м (зменшення на 6,6 %).

Необхідна потужність двигуна — 135,88 к.с. (зменшення на 45 %).

- Адаптована форма обводів з двома поздовжніми реданами :

Опір руху $R_{xR} = 2097,6$ Н (зменшення на 54,7 % від прототипу та на 16,9 % від адаптації без реданів),

осадка $D = 0,1321$ м (найменша серед варіантів).

Необхідна потужність двигуна — 112,85 к.с. (зменшення на 54,4 % від прототипу).

Завдяки комплексу заходів — оптимізації обводів (плавний змінний кут килеватості, gradual rocker киля) та встановленню поздовжніх реданів — досягнуто значного покращення гідродинамічних та експлуатаційних характеристик катера:

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Суттєве зниження гідродинамічного опору (до 54,7 %), що дозволило зменшити необхідну потужність силової установки більш ніж удвічі та обрати двигун меншої номінальної потужності (з 250 к.с. до ~115–135 к.с. залежно від варіанту).
 2. Зменшення витрат палива та збільшення дальності плавання при тій самій ємності паливних баків (очікуване зростання автономності на 40–50 % за рівних умов).
 3. Покращення морехідності та комфорту:
 - більш плавний вхід у хвилю завдяки gradual переходу клеватості та ранньому підйому кіля;
 - зниження вертикальних прискорень і ударних навантажень (slamming);
 - м'якший хід на хвилюванні та зменшення бризкоутворення.
 4. Підвищення курсової стійкості за рахунок оптимального розподілу підйомної сили та дії реданів.
 5. Швидший вихід на режим глисування та краща керованість на перехідних режимах.
- Запропоновані зміни обводів та конструктивні рішення (поздовжні редани) повністю відповідають сучасним тенденціям проектування високошвидкісних планеруючих катерів і забезпечують досягнення заданих ТЗ показників з значним запасом за економічністю, морехідністю та експлуатаційною ефективністю.
- Отримані результати підтверджують доцільність проведеної оптимізації та можуть бути рекомендовані для впровадження при серійному будівництві аналогічних суден.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Король Ю.М.** Матеріали з гідромеханіки та теорії швидкохідних суден. – НУК ім. адмірала Макарова.
2. **Savitsky D.** Hydrodynamic Design of Planing Hulls // *Marine Technology*. – 1964. – Vol. 1, No. 1. – P. 71–95.
3. **Blount D.L., Clement E.P.** Resistance Tests of a Systematic Series of Planing Hull Forms // *Transactions SNAME*. – 1963. – Vol. 71.
4. **Fridsma G.** A Systematic Study of Rough-Water Planing Performance // Davidson Laboratory Report SIT-DL-66-772. – 1966.
5. **Savitsky D., Brown P.W.** Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water // *Marine Technology*. – 1976. – Vol. 13, No. 4. – P. 381–400.
6. **Кобчинський О.В., Кобчинський В.О.** Проектування швидкохідних суден. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 184 с.
7. **Du Cane P.** High-Speed Small Craft. – London: Temple Press, 1959.
8. **Payne P.R.** Design of High-Speed Boats: Volume 1 – Planing. – 1988.
9. **Lombard M.** SolidWorks Surfacing and Complex Shape Modeling Bible. – Wiley, 2008.
10. **Tran P.** SolidWorks for Designers: Surface Modeling Techniques. – CAD/CIM Technologies, 2019.
11. **Brown P.W.** Planing Hull Seakeeping // *Marine Technology*. – 1995.
12. **Faltinsen O.M.** Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles. – Cambridge University Press, 2005. – 454 p.
13. **Lewandowski E.M.** The Dynamics of Marine Craft: Maneuvering and Seakeeping. – World Scientific, 2004.
14. **Норми і правила класифікації швидкохідних суден (Річковий Регістр, Регістр судноплавства України).**
15. **ISO 12215-5:2019** Small craft — Hull construction and scantlings — Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination.

16. **Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.** *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*. – Cambridge University Press, 2011.
17. **Doctors L.J.** *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. – CRC Press, 2016.

					08.MP.135.6112M.ПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		