

УДК 629.52
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.2\(500\).3](https://doi.org/10.15589/znp2025.2(500).3)

DETERMINATION OF MOTOR YACHT ENGINE POWER ACCORDING TO THE “FRENCH FORMULA”

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ МОТОРНОЇ ЯХТИ ЗА «ФРАНЦУЗЬКОЮ ФОРМУЛОЮ»

Anatoliy Ya. Kazariezov
KazariezovAnatoli1950@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8586-5596
Valerii I. Komysnyk
valerii.komysnyk@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3295-6328

А. Я. Казарєзов¹,
докт. техн. наук, професор
В. І. Комишник²,
доцент

¹Mykolaiv Scientific Research Forensic Center, Mykolaiv
²Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

¹Миколаївський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр, м. Миколаїв

²Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The relevance of the research is due to the need to improve the accuracy of the formulas used to calculate the power of the main engines of a motor yacht. The following terminology is used in the work: the admiralty coefficient is the admiralty coefficient calculated according to the English formula; the “French coefficient” is the admiralty coefficient determined according to the “French formula”. Gerner, R. Ferkhovsek, V. Davydov, A. Yair, V. Afanasiev, Jenstley, V. Ashik, A. Gajkovich, I. Chelpanov, Dang Hiu-Phu, Nguyen-Quan-Vinh, A. Rakov.

The purpose of the work is to develop practical recommendations for determining the power of the main engine of a motor yacht depending on the parameters of the yacht, known at the initial stage of design or established based on the results of an operational survey, such as overall dimensions, speed, material of the yacht's hull. *The object of the study* is the process of establishing a statistical dependence, which allows you to link the parameters of a motor yacht with the power of the main engines at the initial stage of design or during an operational inspection of a motor yacht. *The subject of the study* is the parameters of a motor yacht, which are used at the early stages of design and during operational assessment to determine the power of the main engines of a motor yacht. For research, the methods of classical mathematical statistics and the authors' own developments were used in the work. *Results.* It has been established that for a motor yacht, the value of the power factor of the main engines and the admiralty coefficient should be calculated according to statistical data or according to a relatively close prototype. The convergence and high accuracy of the results of the calculations of the admiralty coefficient and the power factor (“French formula”) have been proved. *The scientific novelty* of the research lies in the established statistical relationship between the “French” and “English formulas” for determining the power of the main engines of a motor yacht, which expands the capabilities of the designer at the initial stages of vessel design and facilitates the search for a prototype yacht necessary for calculations. *Practical significance of the work:* the formulas proposed in the paper for calculating the power of the main engines of a motor yacht from the characteristics of the yacht can be useful in evaluating the technical characteristics of an analogue yacht.

Key words: admiralty coefficient; main engine power; yacht parameters; statistical dependencies; technical characteristics.

Анотація. Актуальність досліджень зумовлена необхідністю підвищення точності формул, які застосовуються для розрахунку потужності головних двигунів моторної яхти. У роботі застосовується наступна термінологія: адміралтейський коефіцієнт – це адміралтейський коефіцієнт, розрахований за «англійською формулою»; «французький коефіцієнт» – адміралтейський коефіцієнт, визначений за «французькою формулою». Проаналізовано формули для розрахунку адміралтейського коефіцієнту, авторами яких є видатні вчені: Г. Гернер, Р. Ферховсек, В. Давидов, А. Єйр, В. Афанасьєв, Єнстлі, В. Ашик, А. Гайкович, І. Челпанов, Данг Хіу-Фу, Нгуєн-Куан-Він, А. Раков.

Мета роботи полягає у розробці практичних рекомендацій щодо визначення потужності головного двигуна моторної яхти в залежності від параметрів яхти, відомих на початковому етапі проектування або встановлених за результатами оперативного обстеження, таких як габаритні розміри, швидкість ходу, матеріал корпусу яхти. *Об'єктом дослідження* є процес встановлення статистичної залежності, що дозволяє пов'язати параметри моторної яхти з потужністю головних двигунів на початковій стадії проектування або при оперативному обстеженні моторної яхти. *Предметом дослідження* є параметрами моторної яхти, які використовуються на початкових етапах проектування та при оперативній оцінці для визначення потужності головних двигунів моторної яхти. Для досліджень в роботі застосовані *методи* класичної математичної статистики та власні напрацювання авторів. *Результати*. Встановлено, що для моторної яхти значення коефіцієнту потужності головних двигунів та адміралтейського коефіцієнту слід обчислювати за статистичними даними або за відносно близьким прототипом. Доведено збіжність і високу точність результатів розрахунків адміралтейського коефіцієнту та коефіцієнту потужності («французька формула»). *Наукова новизна* досліджень полягає у встановленому статистичному взаємозв'язку між «французькою» та «англійською» формулами для визначення потужності головних двигунів моторної яхти, що розширює можливості конструктора на початкових етапах проектування судна та полегшує пошук яхти-прототипу. *Практичне значення* роботи: запропоновані в роботі формули щодо розрахунку потужності головних двигунів моторної яхти в залежності від характеристик яхти можуть бути корисними при оцінці технічних характеристик яхти-аналога.

Ключові слова: адміралтейський коефіцієнт; потужність головного двигуна; параметри яхти; статистичні залежності; технічні характеристики.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На початковому етапі проектування яхти та протягом її експлуатації дослідників і конструкторів цікавить оціночний розрахунок її характеристик яхти. Підвисити точність застосованих формул для розрахунку потужності головних двигунів моторної яхти можливо за рахунок статистичного підходу. Це дасть змогу уникнути складнощів, притаманними традиційним методам проектування моторних яхт. У роботі пропонується на прикладі статистичної сукупності нових, готових до продажу моторних яхт, порівняти можливість застосування «французької формули» коефіцієнту потужності та «англійської формули» адміралтейського коефіцієнту для оцінки потужності головних двигунів моторної яхти.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Один з найбільш поширених спрощених методів розрахунку потужності головного двигуна на ранній стадії проектування судна ґрунтується на використанні адміралтейського коефіцієнту («англійська формула»). Метод в різних варіантах викладено у науковій літературі [1–4]. Класична формула для розрахунку потужності головного двигуна судна за допомогою адміралтейського коефіцієнту, за «англійською формулою» [5, с. 58–67], виглядає наступним чином:

$$N = \frac{D^n v^m}{C_a}, \quad (1)$$

де N – потужність головного двигуна, кінські сили; D – водотоннажність судна, тони; v – швидкість ходу, вузли; n – показник ступеню при повній водотоннажності; m – показник ступеню при максимальній швидкості ходу судна; C_a – адміралтейський коефіцієнт.

У подальшому тексті адміралтейський коефіцієнт, розрахований за «англійською формулою», будемо для зручності, та як це прийнято в літературі, називати адміралтейським коефіцієнтом, а адміралтейський коефіцієнт, розрахований за «французькою формулою», будемо називати «французьким коефіцієнтом». Багато дослідників пропонують визначати адміралтейський коефіцієнт в залежності від типу судна та його швидкісної характеристики. В табл. 1 наведено формули для розрахунку значення адміралтейського коефіцієнту для різних типів суден. Формули В.І. Афанасьєва та Єнстлі потребують для розрахунку адміралтейського коефіцієнту значення коефіцієнта повноти водотоннажності.

Модифіковані формули В.І. Афанасьєва та Єнстлі для розрахунку адміралтейського коефіцієнту потребують використання додаткової інформації по судну, що зменшує привабливість використання адміралтейського коефіцієнту, сенс якого полягає в простоті формули. Використання формули для розрахунку адміралтейського коефіцієнту з урахуванням типу судна не потребує додаткової інформації по судну та одночасно звужує діапазон зміни адміралтейського коефіцієнта до припустимих для практичних розрахунків значень.

Формула для розрахунку потужності головного двигуна судна за допомогою коефіцієнту потужності, за «французькою формулою», виглядає наступним чином [1, с. 76]:

$$N_f = \frac{v^3}{m_f^3} \beta \cdot B \cdot T, \quad (2)$$

де N_f – потужність головного двигуна, кінські сили; v – швидкість ходу, вузли; m_f – коефіцієнт потужності головних двигунів судна; β – коефіцієнт

Таблиця 1. Формули для розрахунку адміралтейського коефіцієнту

Автори формули	Тип судна	Значення « α »	Значення « α »	C_a
Г. Гернер, Р. Ферховсек	Усі типи суден	0,67	3	Табл. 2
В.В. Давидов	Транспортне	0,5	3,25	150±10
А. Сйр		0,64	3	
В.І. Афанасьєв		0,56	3,33	
Єнстлі		0,5	3	
В.І. Ашик	Транспортне	0,5	2,5	27,2±2,7
А.І. Гайкович, І.В. Челпанов		0,5	2,5	58,2±13,4
Данг-Хіу-Фу	Змішаного району плавання	0,5	2,5	22±1,8
Нгуєн-Куанг-Винь	Промислове	0,5	2,5	25,3±2,9
А.І. Раков	Сейнер	0,333	5	3330±210
	Траулер	0,333	4,5	1270±137

Джерело: складено за даними робіт [1–4]

повноти мідель-шпангоуту; B – ширина судна, м; T – осадка судна, м.

Г. Гернер та Р. Ферховсек рекомендують для різних типів суден значення адміралтейського коефіцієнту та коефіцієнту потужності у «французькій формулі», що наведені в табл. 2 для різних типів суден.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

З аналізу даних, наведених у таблицях 1 і 2, витікає, що значення адміралтейського та «французького коефіцієнтів» суттєво залежать від типу судна. Значення адміралтейського коефіцієнту мають велике розшарування. В усіх формулах для розрахунку адміралтейського коефіцієнту необхідно мати значення водотоннажності судна або коефіцієнта повноти водотоннажності та розмірів повністю завантаженого судна по ватерлінії і осадці судна при вказаному завантаженні. У «французькій формулі» використовуються ширина і осадка судна по ватерлінії та коефіцієнт повноти мідель-шпангоуту судна. Під час пошуку яхти-прототипу, для розрахунку характеристики яхти-прототипу або за умов відсутності судової документації моторної яхти значення водотоннажності невідомо. Окрім того багато авторів повідомляючи водотоннажність судна не вважають за необхідне вказувати яка саме водотоннажність мається на увазі, що ускладнює або унеможлиблює практичні розрахунки тому що значення водотоннажності найбільшої

та водотоннажності судна порожнього значно відрізняються між собою. На практиці набагато простіше визначити габаритні розміри яхти ніж водотоннажність, довжину та ширину моторної яхти по ватерлінії. «Французька формула» для обчислення адміралтейського коефіцієнта позбавлена деяких недоліків «англійської формули», бо не містить значення водотоннажності судна.

Невирішеною частиною проблеми є відсутність статистичних даних для обчислення адміралтейського коефіцієнта за «французькою формулою» для розрахунку потужності головного двигуна моторної яхти в залежності від характеристик яхти.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи полягає у розробці практичних рекомендацій щодо визначення потужності головного двигуна моторної яхти в залежності від параметрів яхти, відомих на початковому етапі проектування або встановлених за результатами оперативного обстеження, таких як габаритні розміри, швидкість ходу, матеріал корпусу яхти.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження. В роботі застосовані класичні методи математичної статистики [6, с. 100–156], [7, с. 43–77] і власні напрацювання авторів, викладені у роботах [5, с. 58–67], [8, с. 208–220].

Таблиця 2. Коефіцієнт потужності, адміралтейський коефіцієнт, коефіцієнт повноти мідель-шпангоуту, коефіцієнт повноти водотоннажності для різних типів суден

Тип судна	m_f^3	C_a	β	δ
Великі швидкісні пасажирські судна	58...62	270...333	0,94...0,98	0,62...0,75
Малі пасажирські судна	43...48	180...280	0,94...0,98	0,62...0,75
Великі вантажні судна	68...80	300...400	0,95...0,99	0,68...0,82
Середні вантажні судна	50...75	200...320	0,94...0,98	0,65...0,80
Буксири	32...54	100...200	0,73...0,88	0,42...0,6
Річкові судна	18...32	120...220	0,95...0,99	0,73...0,85

Джерело: [1] Таблиця побудована шляхом об'єднання табл. 2 та табл. 23

Об'єктом дослідження є процес встановлення статистичної залежності, що дозволяє пов'язати параметри моторної яхти з потужністю головних двигунів на початковій стадії проектування або при оперативному обстеженні моторної яхти.

Предметом дослідження є параметри моторної яхти, які використовуються на початкових етапах проектування та при оперативній оцінці для визначення потужності головних двигунів моторної яхти.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для обчислення адміралтейського коефіцієнту при розрахунку потужності головного двигуна судна традиційно використовуються лише два параметри судна – швидкість ходу та водотоннажність судна. Незадоволеність точністю формули для розрахунку потужності головного двигуна судна з використанням адміралтейського коефіцієнту привела до багаточисельних варіантів модифікації формули (1). Встановлення статистичної залежності, що пов'язує параметри моторної яхти з потужністю головних двигунів моторної яхти здійснено на базі даних, яка наведена в [4, рр. 309–317]. До статистичної бази даних залучена інформація про 71 моторну яхту. Дані про моторні яхти наведено в таблицях 4–6: це об'єкти, які виставлені на продаж, або будуть виставлені на продаж у найкоротший термін, і для яких оголошена ціна продажу. Оголошена ціна продажу, зазвичай, виключає таку зміну в комплектації моторної яхти як зміна головних двигунів яхти.

В даному дослідженні замість водотоннажності моторної яхти використовується кубічний модуль – добуток довжини на ширину та осадку, як це здійснено при оцінці вартості моторних яхт в роботі [5, с. 58–67]. Вказані значення приймаються максимальними згідно з характеристиками яхт, наведеними в [4, рр. 309–317]. Дані про водотоннажність моторних яхт в статистичній сукупності у багатьох випадках є відсутніми.

Окрім цього, не завжди вказується, яке зі значень водотоннажності наведено у таблиці. Статистичну обробку результатів сукупності [9, с. 38–47] наведено для тих моторних яхт, для яких відомо про їх водотоннажність (30 елементів, 42,3 % сукупності). Високий коефіцієнт кореляції (0,964) між повною водотоннажністю з 50 % запасів та кубічним модулем яхти, що підтверджує справедливність запропонованого підходу до розрахунків потужності головних двигунів моторної яхти. В роботі за ознаку результату дослідження прийнято адміралтейський коефіцієнт, обчислений відносно кубічного модуля яхти в ступені 0,5 та максимальної швидкості ходу яхти в кубі, згідно з рекомендаціями, наведеними у роботах [1–4]. Адміралтейські коефіцієнти по групах та по сукупності в цілому обчислені за формулою Єнстлі (3), яка є близькою до класичної формули та формул багатьох авторів:

$$N = \frac{D^{0,5} v^3}{C_a}, \quad (3)$$

де N – потужність головного двигуна, кінські сили; D – водотоннажність судна, тони; v – швидкість ходу, вузли; C_a – адміралтейський коефіцієнт.

«Французькі коефіцієнти» (коефіцієнти потужності) по групах та по сукупності в цілому обчислені за формулою (2), запропованою Н. Herner і R. Verhofsek [1]. В табл. 3 наведено результати статистичної обробки осереднених показників, запозичених з табл. 2.

Аналіз табл. 3 показав, якщо вилучити буксирні судна, то коефіцієнт повноти мідель-шпангоута може бути прийнятий постійною величиною, яка дорівнює 0,964. Ця обставина спрощує розрахунки без втрати точності – похибка в обчисленні коефіцієнта повноти мідель-шпангоута складає 5,56 %. Значення коефіцієнта повноти водотоннажності для різних типів суден варіюється в більш значних межах ніж коефіцієнта

Таблиця 3. Статистичні значення коефіцієнтів потужності, адміралтейського, повноти мідель-шпангоуту, повноти водотоннажності для різних типів суден

Тип судна	m_r^3	C_a	β	δ
Великі швидкісні пасажирські судна	60	301,5	0,960	0,685
Малі пасажирські судна	45,5	230	0,960	0,685
Великі вантажні судна	74	350	0,970	0,750
Середні вантажні судна	62,5	260	0,960	0,725
Буксири	43	150	0,805	0,510
Річкові судна	25	170	0,970	0,790
Середнє	51,67	243,58	0,938	0,691
Дисперсія	302	5861	0,00424	0,00945
Стандартне відхилення	17,38	76,56	0,06510	0,09723
Довірче нормальне	13,90	61,26	0,05209	0,07780
Довірчі межі	37,76	182,33	0,890	0,610
Довірчі межі	65,57	304,84	0,990	0,770
Довірчі межі, %	26,91	25,15	5,56	11,26

Джерело: складено авторами за результатами статистичної обробки даних табл. 2

повноти мідель-шпангоута – 11,26 %, що знижує точність розрахунків при невідомій водотоннажності судна. Варіації коефіцієнтів потужності («французького») та адміралтейського («англійського») практично однакові – 26,91 % і 25,15 %, що дозволяє стверджувати про однаковість точності розрахунків за адміралтейською та «французькою формулами».

Коефіцієнт потужності по групах та по сукупності в цілому обчислені за формулою (4), запропонованою авторами поточного дослідження в роботі [11, с. 643–645]. Формула (4) є близькою до формули (2), та виглядає наступним чином:

$$N_f = \frac{v^3}{m_f^3} 0,964 \cdot B \cdot T, \quad (4)$$

де N_f – потужність головного двигуна, кінські сили; v – швидкість ходу, вузли; m_f – коефіцієнт потужності головних двигунів судна; B – максимальна ширина судна, м; T – максимальна осадка судна, м.

Формула (4) відрізняється від формули (2) тим, що замість коефіцієнта повноти мідель-шпангоуту прийнята постійна величина 0,964, яка визначена у табл. 3. Для коефіцієнту потужності та адміралтейського коефіцієнту обчислені довірчі межі [6, с. 100–156], [7, с. 43–47]. У розрахунках замість ширини по ватерлінії і осадки прийняті максимальні ширина судна і осадка судна. Залежності коефіцієнта потужності та адміралтейського коефіцієнта від швидкості ходу у табличній та графічній формах наочно наведено у табл. 4 та на рисунках 1 і 2.

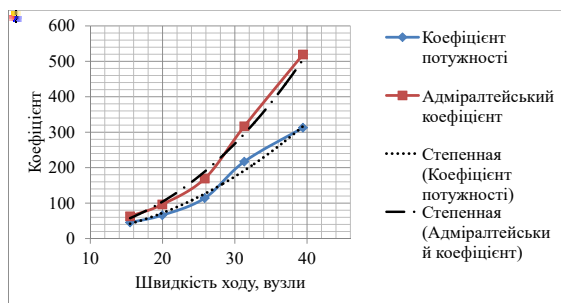


Рис. 1. Залежність для моторної яхти коефіцієнту потужності та адміралтейського коефіцієнту від швидкості ходу (степеневая апроксимація)

Джерело: складено авторами

Таблиця 4. Залежність коефіцієнту потужності та адміралтейського коефіцієнту моторної яхти від швидкості ходу

№ групи п/ч	Середня швидкість, v , вузли	Коефіцієнт потужності, m_f^3	Довірчі межі m_f^3 , %	Адміралтейський коефіцієнт, C_a	Довірчі межі C_a , %
1	15,51	$43,7 \pm 6,83$	15,63	$62,96 \pm 8,50$	13,51
2	19,96	$63,52 \pm 15,21$	23,95	$96,26 \pm 18,78$	19,51
3	25,83	$110,05 \pm 44,08$	40,06	$169,36 \pm 64,62$	38,16
4	31,31	$209,23 \pm 103,60$	49,51	$316,75 \pm 162,02$	51,15
5	39,43	$301,56 \pm 100,63$	33,37	$519,34 \pm 207,71$	40,00
Загалом по сукупності	21,34	$97,01 \pm 25,15$	25,92	$151,64 \pm 43,23$	28,56

Джерело: складено авторами

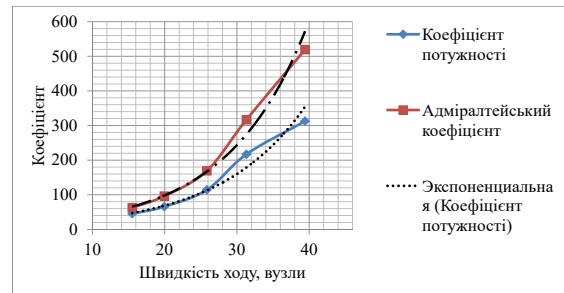


Рис. 2. Залежність для моторної яхти коефіцієнту потужності та адміралтейського коефіцієнту від швидкості ходу (експоненціальна апроксимація)

Джерело: складено авторами

Залежність коефіцієнту потужності від максимальної швидкості ходу моторної яхти апроксимується степеневою функцією

$$m_f^3 = 0,1084 v^{2,172}, \quad (5)$$

де v – максимальна швидкість ходу моторної яхти, вузли.

Залежність адміралтейського коефіцієнту від максимальної швидкості ходу моторної яхти апроксимується степеневою функцією:

$$C_a = 0,0983 v^{2,325}, \quad (6)$$

де v – максимальна швидкість ходу моторної яхти, вузли.

Залежність коефіцієнту потужності від максимальної швидкості ходу моторної яхти апроксимується експоненціальною функцією

$$m_f^3 = 16,09 \cdot e^{0,906 \cdot v}, \quad (7)$$

де v – максимальна швидкість ходу моторної яхти, вузли.

Залежність адміралтейського коефіцієнту від максимальної швидкості ходу моторної яхти апроксимується експоненціальною функцією:

$$C_a = 12,747 \cdot e^{0,0844 \cdot v}, \quad (8)$$

де v – максимальна швидкість ходу моторної яхти, вузли.

Для кожної з груп моторних яхт обчислені числа Фруда по довжині, значення яких наведені в табл. 5. Числа Фруда по довжині розраховані відносно максимальної довжини яхти, що дещо занижує числові

Таблиця 5. Залежність коефіцієнту потужності та адміралтейського коефіцієнту моторної яхти від числа Фруда по максимальній довжині

№ групи п/ч	Середня швидкість, v , вузли	Число Фруда, Fr_L	Коефіцієнт потужності, m_f^3	Адміралтейський коефіцієнт, C_a	S
1	15,51	0,77	$43,7 \pm 6,83$	$62,96 \pm 8,50$	0,694
2	19,96	1,00	$63,52 \pm 15,21$	$96,26 \pm 18,78$	0,660
3	25,83	1,48	$110,05 \pm 44,08$	$169,36 \pm 64,62$	0,650
4	31,31	1,91	$209,23 \pm 103,60$	$316,75 \pm 162,02$	0,661
5	39,43	3,23	$301,56 \pm 100,63$	$519,34 \pm 207,71$	0,581
Загалом по сукупності	21,34	1,24	$97,01 \pm 25,15$	$151,64 \pm 43,23$	0,640

Джерело: складено авторами

значення в порівнянні з традиційним способом обчислення числа Фруда по довжині судна по конструктивній ватерлінії.

Графічно залежності коефіцієнтів потужності та адміралтейського від числа Фруда по максимальній довжині для моторної яхти наведені на рис. 3.

Залежність коефіцієнту потужності моторної яхти від числа Фруда по довжині апроксимується лінійною функцією:

$$m_f^3 = 112,77 \cdot Fr_{Lmax} - 38,30, \quad (9)$$

де Fr_{Lmax} – умовне число Фруда по максимальній довжині моторної яхти.

Залежність адміралтейського коефіцієнту моторної яхти від числа Фруда по максимальній довжині апроксимується лінійною функцією:

$$C_a = 190,95 \cdot Fr_{Lmax} - 87,71, \quad (10)$$

де Fr_{Lmax} – умовне число Фруда по максимальній довжині моторної яхти.

Співвідношення для моторної яхти між коефіцієнтом потужності та адміралтейським коефіцієнтом в залежності від швидкості ходу наведено в табл. 5 та на рисунках 4 і 5.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Оціночні методи обчислення потужності головних двигунів суден за допомогою статистичної обробки масивів даних на початкових стадіях проєктування мають за перевагу швидкість розрахунку при використанні обмеженої кількості вихідних даних. До вихідних даних відносяться: тип судна, максимальна швидкість ходу, водотоннажність та головні розміри судна.

Визначення типу судна та максимальної швидкості ходу не викликає ускладнень, проте визначення водотоннажності може бути пов'язане з деякими складнощами. Довідникові документи та каталоги суден містять інформацію щодо значень водотоннажності, але там не вказано саме яка водотоннажність маєтись на увазі: це значно ускладнює розрахунки. У багатьох випадках для моторних яхт взагалі не вказується водотоннажність, що унеможливує використання адміралтейського коефіцієнту для розрахунку потужності

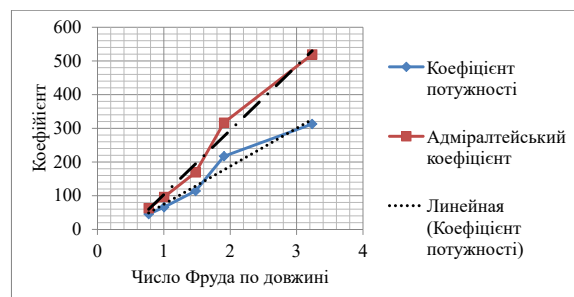


Рис. 3. Залежність для моторної яхти коефіцієнту потужності та адміралтейського коефіцієнту від числа Фруда по максимальній довжині (лінійна апроксимація)

Джерело: складено авторами

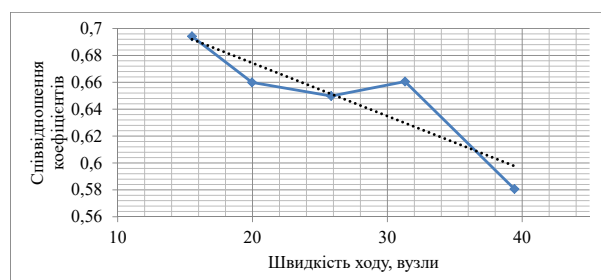


Рис. 4. Співвідношення для моторної яхти між коефіцієнтом потужності та адміралтейським коефіцієнтом від швидкості ходу

Джерело: складено авторами

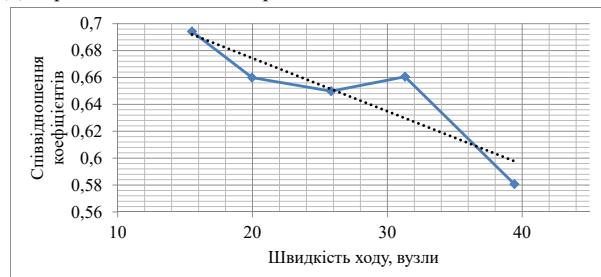


Рис. 5. Співвідношення для моторної яхти між коефіцієнтом потужності та адміралтейським коефіцієнтом від числа Фруда по максимальній довжині

Джерело: складено авторами

головних двигунів моторної яхти. Водотоннажність не може бути обчислена з достатньою точністю на початкових стадіях проєктування за відсутності розрахунку

навантаження мас. Під час пошуку яхти-прототипу та при виконанні розрахунків характеристик яхти-аналогу або за умов відсутності судової документації для моторної яхти простіше визначити габаритні розміри яхти ніж довжину та ширину по ватерлінії. Для моторних яхт існує достатньо щільний взаємозв'язок між водотоннажністю яхти та кубічним модулем. Тому, обраний в роботі замість водотоннажності яхти кубічний модуль, дозволяє оцінити потужність головних двигунів моторної яхти. З одного боку це спрощує розрахунки, проте, з іншого боку це ускладнює порівняння отриманих результатів з даними, обчисленими за традиційним підходом. За аналогією з традиційним числом Фруда від довжини по ватерлінії використовується поняття умовного числа Фруда, обчисленого в залежності від габаритної довжини моторної яхти. Як відомо з робіт [11–12], потужність головних двигунів судна обчислюється за формулою:

$$N_p = \frac{R \cdot v}{\eta}, \quad (11)$$

де R – опір води руху судна, v – максимальна швидкість ходу судна, η – пропульсивний коефіцієнт.

Опір води руху судна у свою чергу обчислюється як:

$$R = \zeta \frac{\rho v^2}{2} S, \quad (12)$$

де ζ – коефіцієнт повного гідродинамічного опору води руху судна, ρ – масова щільність води, S – змочена поверхня судна.

Таким чином потужність головних двигунів судна обчислюється за формулою:

$$N_p = \zeta \frac{\rho \cdot v^3}{2\eta} S. \quad (13)$$

Змочена поверхня судна S пропорційна водотоннажності судна в ступені $2/3 = 0,667$. Якщо порівняння значення у формулі (1) та значенням показника « n » у табл. 1, так стає зрозумілим фізичний зміст формули (1).

Змочена поверхня судна безпосереднє пов'язана з опором тертя судна. Опір форми судна враховується за допомогою коефіцієнта опору форми судна, якій може бути обчислений за формулою Є.Є. Папмеля:

$$\zeta_\delta = 0,09 \frac{\omega}{S} \sqrt{\frac{\omega}{2L_k}}, \quad (14)$$

де ω – площа зануреної частини мідель-шпангоуту судна, L_k – довжина кормового загострення судна, S – змочена поверхня судна.

Площа зануреної частини мідель-шпангоуту судна обчислюється як:

$$\omega = \beta \cdot B \cdot T, \quad (15)$$

де β – коефіцієнт повноти зануреної частини мідель-шпангоуту судна; B – ширина судна, м; T – осадка судна, м.

Формули (14) і (15) пояснюють структуру формули (2) для розрахунку коефіцієнту потужності, за «французькою формулою» та формулою (4). Таким чином, стає зрозумілим метод розрахунку потужності головних двигунів судна за допомогою «французької формули» з використанням коефіцієнту потужності.

Наукова новизна досліджень полягає у встановленому статистичному взаємозв'язку між «французькою» та «англійською» формулами для визначення потужності головних двигунів моторної яхти, що розширює можливості конструктора на початкових етапах проектування судна та полегшує пошук яхти-прототипу, необхідний для розрахунків яхти-аналогу за умов відсутності судової документації.

Практичне значення роботи: запропоновані в роботі формули щодо розрахунку потужності головних двигунів моторної яхти в залежності від характеристик яхти можуть бути корисними при оцінці технічних характеристик яхти-аналога.

ВИСНОВКИ

1. Потужність головних двигунів моторної яхти на початкових стадіях проектування рекомендується розраховувати за допомогою коефіцієнту потужності або адміралтейського коефіцієнту. Для моторної яхти значення коефіцієнтів слід обчислювати за статистичними даними або за відносно близьким прототипом.

2. Використання для розрахунку потужності головних двигунів моторної яхти коефіцієнта потужності (французька формула) надає таку саму точність як і використання адміралтейського коефіцієнта.

3. Розрахунок потужності головних двигунів моторної яхти за допомогою коефіцієнта потужності замість розрахунку за допомогою адміралтейського коефіцієнту може бути корисним, якщо з високою надійністю відомі ширина і осадка яхти та є сумніви стосовно надійності обчислення водотоннажності яхти.

4. Запропоновані статистичні формули для розрахунку потужності головних двигунів моторної яхти в залежності від характеристик яхти можуть бути рекомендовані для практичного використання при оцінюванні яхти-аналога та технічних характеристик моторної яхти, яка проектується.

REFERENCES

- [1] Herner H., R. Verhofsek R. Entwurf und Einrichtung von Handelsschiffen. Fünfte (5.), neu bearbeitete Auflage. Gedruckt Fachbuchverlag, Leipzig. 1954. 324 s. [in Deutschland].
- [2] Frederik H. Berthelsen, & Ulrik D. Nielsen (2021). *Prediction of ships' speed-power relationship at speed intervals below the design speed*. Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 99, October, 102996 p. [in English].

- [3] Gupta P., Taskar B., Steen S., Rasheed A. *Statistical modeling of Ship's hydrodynamic performance indicator*. Applied Ocean Research. 2021. № 111. Art. 102623 [in English].
- [4] Haiwen Tu, & Yunfei Yang, Lei Zhang, De Xie (2018). *A modified admiralty coefficient for estimating power curves in EEDI calculations*. Ocean Engineering. Vol.150. Pp. 309–317. [in English].
- [5] Kazariezov A. Ya. Komysnyk V. I. (2025). *Vyznachennia potuzhnosti dyvuhuniv motornoi yakhty za anhliiskoiu formuloiu* [Determination of the power of motor yacht engines according to the English formula]. Shipbuilding & Marine Infrastructure. № 1. S. 58–67. [in Ukrainian].
- [6] Herasymenko S. S., & Holovach A. M., Yeryna A. M., Palian Z. O., Shustykov A. A. (2000). *Statystyka* [Statistics]. Kyiv : KNEU. 468 s. [in Ukrainian].
- [7] Zhluktenko V. I., & Nakonechnyi S. I., Savina S. S. (2001). *Teoriia ymovirnostei i matematychna statystyka* [Probability theory and mathematical statistics]. Ch. 2. Matematychna statystyka . Kyiv : KNEU. 336 s. [in Ukrainian].
- [8] Kazariezov A. Ya. Komysnyk V. I. (2025). *Vybir materialu korpusu motornoi yakhty* [Choosing the material for the hull of a motor yacht]. Zbirnyk naukovykh prats NUK. № 1. S. 208–220. [in Ukrainian].
- [9] Kazariezov A. Ya., & Komysnyk V. I. (2024). *Koryhuvannia potuzhnosti dyvuhuniv obektiv-analogiv pid chas otsiniuvannia vartosti motornoi yakhty* [Adjusting the engine power of analogue objects when estimating the value of a motor yacht]. Kryminalistychnyi visnyk. № 2 (42). S. 38–47. [in Ukrainian].
- [10] Kazariezov A. Ya. & Komysnyk V. I. (2023) *Otsinka vartosti motornykh yakht* [Estimation of the cost of motor yachts]. Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi (20–21 veresnia). S. 643–645. [in Ukrainian].
- [11] Yang, Y.; Zhang, Z.; Zhao, J.; Zhang, B.; Zhang, L.; Hu, Q.; Sun, J. (2024). *Research on Ship Resistance Prediction Using Machine Learning with Different Samples*. J. Mar. Sci. Eng. № 12. 556 p. [in English].
- [12] Kazariezov A. Ya., Komysnyk V. I. (2024). *Rozrakhunok potuzhnosti motornoi yakhty za frantsuzkoiu ta anhliiskoiu formulamy* [Calculation of motor yacht power using French and English formulas]. Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi (26–27 veresnia). S. 902–905. [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Herner H., & Verhofsek R. Entwurf und Einrichtung von Handelsschiffen. Fünfte (5.), neu bearbeitete Auflage. Gedruckt Fachbuchverlag, Leipzig. 1954. 324 s. [in Deutschland].
- [2] Frederik H. Berthelsen, & Ulrik D. Nielsen (2021). Prediction of ships' speed-power relationship at speed intervals below the design speed. Transportation Research Part D: *Transport and Environment Volume* 99, October, 102996 p. [in English].
- [3] Gupta P., & Taskar B., Steen S., Rasheed A. Statistical modeling of Ship's hydrodynamic performance indicator. *Applied Ocean Research*. 2021. № 111. Art. 102623. [in English].
- [4] Haiwen Tu, Yunfei Yang, Lei Zhang, De Xie (2018). A modified admiralty coefficient for estimating power curves in EEDI calculations. *Ocean Engineering*. Vol. 150. P. 309–317 [in English]
- [5] Казарезов А. Я. Комишник В. І. (2025). Визначення потужності двигунів моторної яхти за англійською формулою. *Shipbuilding & Marine Infrastructure*. № 1. С. 58–67. [in Ukrainian].
- [6] Герасименко С. С., & Головач А. М., Єрина А. М., Пальян З. О., Шустиков А. А. (2000). Статистика. Київ : КНЕУ. 468 с. [in Ukrainian].
- [7] Жлуктенко В. І., & Наконечний С. І., Савіна С. С. (2001). Теорія ймовірностей і математична статистика. Ч. 2. Математична статистика. Київ : КНЕУ. 336 с. [in Ukrainian].
- [8] Казарезов А. Я. Комишник В. І. (2025). Вибір матеріалу корпусу моторної яхти. *Збірник наукових праць НУК*. № 1. С. 208–220. [in Ukrainian].
- [9] Казарезов А. Я., & Комишник В. І. (2024). Коригування потужності двигунів об'єктів-аналогів під час оцінювання вартості моторної яхти. *Криміналістичний вісник*. № 2 (42). С. 38–47. [in Ukrainian].
- [10] Казарезов А. Я. & Комишник В. І. (2023) Оцінка вартості моторних яхт. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці (20–21 вересня). С. 643–645. [in Ukrainian].
- [11] Yang, Y.; Zhang, Z.; Zhao, J.; Zhang, B.; Zhang, L.; Hu, Q.; Sun, J. (2024). Research on Ship Resistance Prediction Using Machine Learning with Different Samples. *J. Mar. Sci. Eng.* № 12. 556 p. [in English].
- [12] Казарезов А. Я., Комишник В. І. (2024). Розрахунок потужності моторної яхти за французькою та англійською формулами. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці (26–27 вересня). С. 902–905. [in Ukrainian].

© Казарезов А. Я., Комишник В. І.

Дата надходження статті до редакції: 03.06.2025

Дата затвердження статті до друку: 11.06.2025