

Олександр Олегович Каніфольський (канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри)¹

Миколай Миколайович Конотопець (канд. техн. наук, доцент, професор кафедри)²

¹Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПОПОВНЕННЯ МАЛОТОННАЖНОГО ФЛОТУ З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНЬ ПО ПОГОДНИМ УМОВАМ

Метод рішення задачі поповнення флоту, що базується на порівнянні кінетичної енергії малого судна і енергії хвилі запропонований в даній статті. Увагу акцентовано на судах і катерах перехідного режиму руху. Хвилювання інтенсивністю чотири бали вибрано для дослідження і максимальна довжина суден, кораблів та катерів, перехідного режиму ефективних для цих умов представлена на графіку. Вимоги різних класифікаційних товариств до характеристик хвиль різних районів плавання приведені до спільного знаменника. Метод прогнозу зниження швидкості судна на хвилюванні різної інтенсивності розроблений і перевірений розрахунками. Рівняння прирощення опору води руху судна і прирощення енергії руху представлені в диференціальній формі. Порівняльний аналіз даних про втрати швидкості судном на хвилюванні різної інтенсивності, який базується на дослідженнях різних авторів, наведено в табличній формі.

Ключові слова: задача поповнення малотоннажного флоту; розміри малих суден обмеженого району плавання; зниження швидкості судна на хвилюванні.

Вступ

Постановка проблеми. При проектуванні суден і кораблів може виникнути ряд проблем, пов'язаних з призначенням складу флоту. Ці питання належать до вирішення зовнішньої задачі проектування. До області цієї задачі теорії проектування зазвичай відносять: розробку способів оптимізації флоту; задачу поповнення флоту; встановлення загальних вимог до суден. Надалі ця інформація використовується для визначення характеристик суден, які будуть вказуватися в завданнях на проектування, для вирішення внутрішньої задачі проектування, пов'язаної з конкретним судном. Одним з питань, при розробці технічного завдання на проектування, є район і дальність плавання судна, його автономність. Виникає необхідність: оцінити швидкість судна і її зниження, пов'язане з характеристиками хвилювання в регіоні; визначити граничні розміри судна і його швидкість, при яких судно зможе використовуватися, при передбачуваних характеристиках хвиль. Існує і ряд інших завдань стосовно співвідношення і обмеження головних розмірів судна. Особливо ці питання актуальні для малих швидкісних суден і кораблів, так як їх ефективна експлуатація пов'язана зі збереженням заданої швидкості і виконанням покладених на них завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деякі дослідження присвячені питанням зниження швидкості судна, при русі на хвилюванні. В одній з таких робіт розглядається втрата швидкості на зустрічному регулярному хвилюванні моделей пасажирських суден прибережного плавання [2]. Але як зазначено в цьому ж джерелі «... отсутствуют надежные данные по потере скорости судов рассматриваемого назначения в различных

штормовых условиях». Дані випробувань говорять про можливе падіння швидкості, в перехідному режимі руху, число Фруда по довжині 0,45, в середньому близько 20%, в залежності від характеристик хвилювання.

В іншому джерелі [3] наведені формули для оцінки втрати швидкості швидкісного судна на хвилюванні, прискорення при вертикальній хитавиці і амплітуди поздовжньої хитавиці

$dv = a_1 v h_B^{3/2}$, $\ddot{z} = a_2 g h_B^{3/2}$, $y = a_3 h_B$, в залежності від висоти хвилі h_B . До складу цих рівнянь входять коефіцієнти a_1 , a_2 і a_3 , що залежать від проектних параметрів. Далі проводиться аналіз залежності $dv = a_1 v h_B^{3/2}$ на основі діаграми упор - опір. Зроблено висновок, що при середніх вимогах до мореплавства (2-3 бали хвилювання), відношення $\frac{dv}{v} = 0,1 \pm 0,02$.

При 4 -5 балах хвилювання, $\frac{dv}{v} = 0,17 \pm 0,05$.

Експлуатація швидкохідного судна при більшому хвилюванні не передбачена, що пов'язано з нормативами комфортності і безпеки. Це підтверджується даними [2].

Ці методи можуть використовуватись для попередньої оцінки втрати швидкості на хвилюванні, але не дають відповідь на наступне питання. Яке саме за мінімальним розміром судно може бути використано, при даних параметрах хвиль? Як приклад: чи можна виходити в море на малому моторному човні типу «Ока – 4», при висоті хвилі один метр? Завод-виготовлювач дозволяє експлуатацію цього човна при висоті, що дорівнює 0,7 м.

Деякі класифікаційні суспільства, крім обмеження району плавання, вводять поняття розрахункової граничної висоти хвилі, з якої швидкісне судно може зустрітись в рейсі [6].

Правила [4] вводять обмеження району плавання для суден довжиною менше 24 м незалежно від забезпечення нормованих морехідних якостей. Обмеження району плавання малого судна ґрунтується на досвіді плавання однотипних суден з урахуванням гідрометеорологічних умов. Вводяться поняття: обмеження по району плавання і обмеження через погодні умови. В основному хвилювання, при якому дозволена експлуатація малого судна через погодні умови, обмежена шістьма балами. Для пасажирських суден - чотири бали. Висота хвилі 3,5 м відповідає хвилюванню 5 балів та характерна для району плавання R3-RSN (III ЗП). Це за визначенням [5] - змішане (річка-море) плавання на хвилюванні з висотою хвилі 3% - ної забезпеченості 3,5 м, з урахуванням конкретних обмежень по району та умовам плавання, обумовлених режимами басейнів, з встановленням при цьому максимально допустимого віддалення від місця притулку, яке не має перевищувати 50 миль.

Мета статті. Мета даної статті - розробка методу для визначення параметрів малого швидкохідного судна, в залежності від конкретного хвильового регіону і прогнозування зниження швидкості, при русі на зустрічному хвилюванні.

Виклад основного матеріалу дослідження

В основу запропонованого методу покладено порівняння кінетичної енергії судна і повної енергії хвилі. Залежно від того яка з енергій має більше значення буде зроблений висновок про прийнятність параметрів судна (водотоннажності, довжини, швидкості) для експлуатації в районі з даними параметрами хвиль.

Енергія $E_{B1} = \frac{ggh_B^2 L_B}{8}$ - енергія на одиницю

ширини поверхні хвилі, висотою h_B і довжиною L_B .

Тоді енергія хвилі діючої на всю ширину судна B буде описана формулою

$$E_B = \frac{ggh_B^2 L_B}{8} B.$$

Кінетична енергія судна, з урахуванням приєднаної маси води,

$$\text{як } E_c = \frac{1,1mv^2}{2} = \frac{1,1g_c L_B dv^2}{2}.$$

Представляючи

питому енергію хвилі у вигляді $E = \frac{1,1ggh_B^2 L_B}{8} \frac{B}{d}$, отримуємо значення E , що характерне для суден з різними значеннями відносної ширини $\frac{B}{d}$.

Нерівність, в якому порівнюються питома кінетична енергія судна і питома енергія хвилі, з урахуванням відносної ширини $\frac{B}{d}$ буде виглядати

$$\frac{1,1g_c L_B dv^2}{2d} \leq \frac{ggh_B^2 L_B}{8} \frac{B}{d}.$$

Для забезпечення прийнятних морехідних якостей судна або корабля існують оптимальні значення відносної довжини $\frac{L}{B}$ і коефіцієнта загальної повноти

c_b . Після підстановки значень $\frac{L}{B} = 6$ і $c_b = 0,5$, середніх значень прийнятних для плавзасобів перехідного режиму руху, можна отримати вираз для

$$\text{розрахунку довжини судна } L \leq \sqrt{\frac{1,36gh_B^2 L_B}{v^2 c_b} \frac{B}{d}} \quad [1].$$

Графіки, що допомагають визначити допустимі розміри судна для району плавання R3-RSN ($h_{3\%} = 3,5$ м, $L_B = 70$ м) наведені в [1]. Нижче буде зроблений розрахунок для деяких інших районів плавання, що визначаються різними класифікаційними товариствами.

Спільні правила товариств GL, BV і RINA [6] визначають наступні райони плавання (мова оригіналу), табл. 1.

З'явилася необхідність провести порівняльний аналіз різних вимог класифікаційних товариств, що безперечно допоможе проєктувальнику при створенні проєкту швидкісного судна чи корабля.

Таблиця 1

Райони плавання і висоти хвиль

Район плавання	Висота хвилі $h_{1/3}$	Висота хвилі $h_{3\%}$
“Open-sea service”	$h_{1/3} \geq 4$ м	$h_{3\%} > 5,3$ м
“Restricted open-sea service”	$2,5 \text{ м} \leq h_{1/3} < 4$ м	$3,3 \text{ м} \leq h_{3\%} < 5,3$ м
“Moderate environment service”	$0,5 \text{ м} < h_{1/3} < 2,5$ м	$0,7 \text{ м} < h_{3\%} < 3,3$ м
“Smooth sea service”	$h_{1/3} \leq 0,5$ м	$h_{3\%} \leq 0,7$ м

У Правилах [6] використовується термін висота «значних» хвиль (середня висота найбільшої третини хвиль) $h_{1/3}$. Формула, що зв'язує це поняття і висоту хвилі 3% - ної забезпеченості має вигляд

$h_{3\%} = 1,33h_{1/3}$. Середнє значення висоти хвилі $h_{3\%}$ для району "Moderate environment service" дорівнює 2 м, що відповідає інтенсивності 4 бали.

Правила [4] вводять обмеження через погодні

умови: «Непассажи́рским судам длиной менее 15 м разрешается выход и нахождение в море при интенсивности волнения не более четырех баллов... Пассажи́рским судам ... длиной от 20 до 24 м - не более четырех баллов...»

Нижче, на рисунку 1, наведено розрахунок визначення малого судна для району плавання з хвилюванням 4 бали, висота хвилі $h_{3\%} = 2$ м, довжина

хвилі $L_B = 40$ м.

У даній роботі розглядаються швидкохідні судна і кораблі перехідного режиму, з відносними швидкостями $1,18 < Fr_V < 3$, що відповідає числам Фруда по довжині від 0,45 до 0,98 (цей діапазон показаний двома горизонтальними лініями, рис. 1).

На цьому ж рисунку нанесені точки характерні

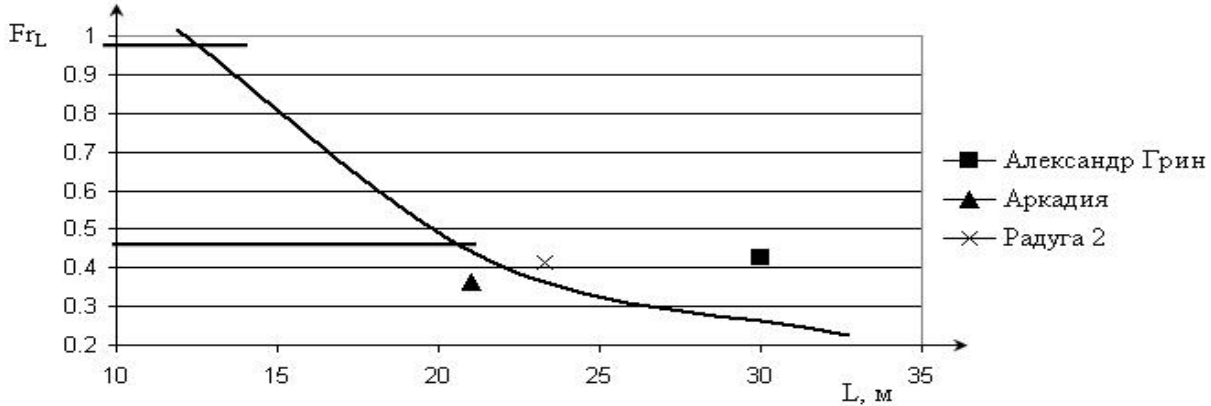


Рис. 1. Мінімальна довжина суден і кораблів, хвилювання 4 бали

для деяких пасажирських суден прибережного плавання.

Відповідно до графіка, при $Fr_L = 0,45$, мінімальна довжина судна близько 22 м. При $Fr_V = 3$, допустима довжина малого судна 13 м.

Довжина судна «Александр Грин» більше, ніж отримано за розрахунком. Максимальне значення висоти хвилі, яке прийнятне для цього судна за правилами GL $h_{1/3} = 2,2$ м або $h_{3\%} = 2,9$ м.

З метою прогнозування зниження швидкості судна на хвилюванні, з урахуванням енергії хвилі, опір води при русі судна можна представити у вигляді [3]

$$R = av^2W \quad (1)$$

де a - коефіцієнт що враховує щільність води, поправки; W - площа змоченої поверхні судна.

Приріст опору визначається шляхом диференціювання рівняння (1).

$$dR = 2aWvdv \quad (2)$$

Рівняння балансу потужності з урахуванням (1)

$$dRv = 2Rdv \quad (3)$$

Співвідношення прирощення швидкості і опору

$$\frac{dv}{v} = \frac{dR}{2R} \quad (4)$$

На одиничній ділянці переміщення ds , можна записати рівняння для прирощення енергії

$$\frac{dv}{v} = \frac{dRds}{2Rds} = 0,5 \frac{dE}{E} \quad (5)$$

Також можна записати враховуючи енергію хвилі та кінетичну енергію судна

$$\frac{dv}{v} = 0,5 \frac{dE}{E} = 0,5 \frac{E_B}{E_C} \quad (6)$$

В літературі [2] наведені дані про втрати швидкості, в перехідному режимі руху, на зустрічному хвилюванні моделі судна «Александр Грин» при буксируванні постійним вантажем, рисунки 2 та 3. Співвідношення довжини хвилі і довжини судна $\frac{L_B}{L} = 0,85$ і 1 (26 м і 30 м відповідно),

висота хвилі $h_{3\%} = 1,3$ м і 1,5 м ($\frac{L_B}{h_{3\%}} = 20$). На цих

же рисунках, представлений розрахунок передбачуваної втрати швидкості за формулою (5).

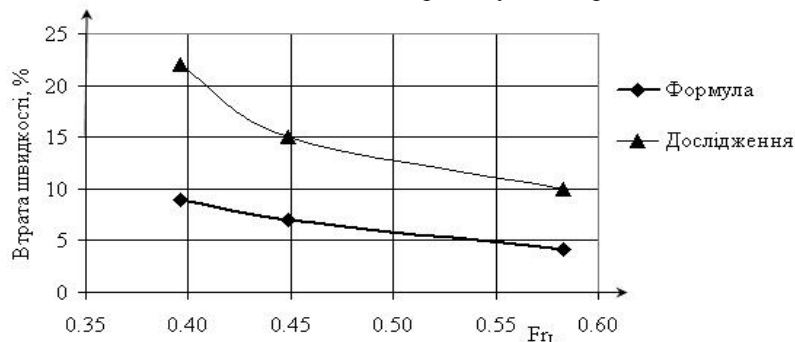


Рис. 2. Втрата швидкості на хвилюванні $\frac{L_B}{L} = 1$, $\frac{L_B}{h_{3\%}} = 20$

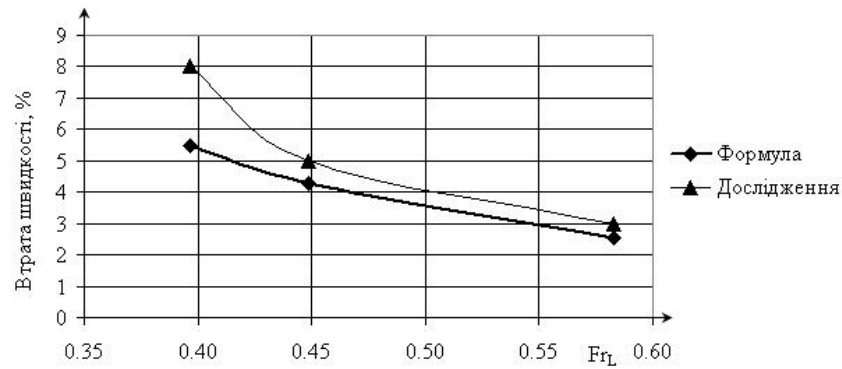


Рис. 3. Втрата швидкості на хвилюванні $\frac{L_B}{L} = 0.85$, $\frac{L_B}{h_{3\%}} = 20$

Аналізуючи рисунки, можна відзначити, що при однаковій довжині хвилі і судна (рис.2), передбачувана розрахункова втрата швидкості за формулою (5) менше, ніж отримана при випробуваннях. Це пов'язано з тим, що при числах $Fr_L = 0,4$, настає перехідний режим руху, виникає хвиля з довжиною, яка дорівнює довжині судна, що супроводжується інтерференцією хвиль.

За умови рівності довжин хвилі і судна користуватися формулою (5) потрібно з обережністю.

При відмінності довжин хвилі і судна формула (5) дає досить точні результати, рис. 3.

У таблиці 2 представлені дані про падіння швидкості на хвилюванні отримані з різних джерел.

Таблиця 2

Зниження швидкості судна на хвилюванні

Хвилі	Втрата швидкості, %		
	Дані [3]	«Александр Грин», [2]	«Александр Грин», формула (5), $\frac{L_B}{h_B} = 15$
2-3 бали	8-12 %	8 %	5 %
4 – 5 балів	12-22 %	22 %	16 %

Висновки.

У статті запропоновано методи вирішення завдання поповнення флоту, в залежності від обмежень через погодні умови і пов'язаної з нею задачі прогнозування зниження швидкості судна на хвилюванні.

Користуючись запропонованими в статті рекомендаціями і даними про хвилювання в регіоні, можна визначити головні розміри суден,

кораблів і катерів флоту, які можуть бути використані з максимальною віддачею.

Прогноз зниження швидкості судна на хвилюванні різної інтенсивності надзвичайно важливий при експлуатації суден спеціального призначення, а також для ефективного виконання завдань військовими катерами.

Розв'язання обох завдань, в представленому вигляді, запропоновано вперше.

Література

1. Канифольский А.О. Термин «быстроходное малое судно прибрежного плавания» // 36. науч. праць ОНМУ. - Одеса: ОНМУ, 2010. - №29. - С. 17-25. 2. Леви Б.З. Пассажирские суда прибрежного плавания. - Л.: Судостроение, 1975. - 320 с. 3. Царев Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов. - Л.: ЛКИ, 1988. - 103 с. 4. Регистр судоходства Украины. Правила

освидетельствования судов. - К.: Регистр судоходства Украины, 2005. - 573 с. 5. Российский Морской Регистр Судоходства. Циркулярное письмо главного управления РМРС № 007-2.1-253ц, 2007. - 7с. 6. Germanischer Lloyd. Rules for Classification and Construction. Chapter 5. High Speed Craft. - Humburg: Gebrüder Braasch, 1996. - 272p.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОПОЛНЕНИЯ МАЛОТОННАЖНОГО ФЛОТА С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ПОГОДНЫМ УСЛОВИЯМ

Александр Олегович Канифольский (канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры)¹
Николай Николаевич Конотопец (канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры)²

¹Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина
²Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

Метод решения задачи пополнения флота, основанный на сравнении кинетической энергии малого судна и энергии волны предложен в данной статье. Внимание акцентировано на судах и катерах переходного режима движения. Волнение интенсивностью четыре балла выбрано для исследования и максимальная длина судов, кораблей и катеров, переходного режима эффективных для этих условий представлена на графике. Требования различных классификационных обществ к характеристикам морского волнения приведены к общему знаменателю. Метод прогноза снижения скорости судна на волнении разработан и проверен расчетами. Уравнения приращения сопротивления воды движению судна и приращения энергии представлены в дифференциальной форме. Сравнительный анализ данных о потере скорости судном на волнении различной интенсивности, который базируется на исследованиях разных авторов, приведен в табличной форме.

Ключевые слова: задача пополнения малотоннажного флота; размеры малых судов ограниченного района плавания; снижение скорости судна на волнении.

SOLUTION OF THE PROBLEM OF COMPLETING A SMALL FLEET WITH RESPECT TO WEATHER CONDITIONS

Oleksandr O. Kanifolskyi (Ph.D., Docent, Docent of chair Theory and Designing of Ship of Odessa National Maritime University)¹
Mykola M. Konotopets (Ph.D., Docent, Professor of a Department)²

¹Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine
²National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The method of solving the task of replenishing the fleet, based on a comparison of the kinetic energy of a small vessel and the wave energy, is proposed in this article. Attention is focused on the vessels and boats of transitional mode. A wave with a characteristic of four points is selected for the study and the maximum length of ships and boats of the transitional mode that are effective for these conditions is shown on the graph. The requirements of different classification societies to the characteristics of seawaves are reduced to a common denominator. The method of foreknowing the reduction of the speed of the vessel on waves of varying intensity was developed and tested by calculations. The equations of increment of water resistance and energy increment are presented in differential form. Comparative analysis of data on the loss of speed of the vessel on waves of different intensity, which is based on the studies of different authors, is given in tabular form.

Keywords: the task of replenishing of the small tonnage fleet; dimensions of the small vessels in a limited area of navigation; reduction of the speed in rough sea.

References

1. Kanifolskyi O.O. The term "speed small craft of restricted open sea navigation" / O.O. Kanifolskyi // Scientific papers ONMU. - Odessa, 2010.- №29. – P. 17-25.
2. Levi B.Z. "Passenger ships of coastal navigation", Shipbuilding, 1975.- 320 p.
3. Tsarev B.A. "Optimal design of high-speed vessels", LSI, 1988. – 103 p.
4. Register of Shipping of Ukraine. Rules for the survey of ships. - K.: Register of Shipping of Ukraine, 2005. – 573 p.
5. Russian Maritime Register of Shipping. Circular letter of the General Directorate RMRS № 007-2.1-253c. New symbols for the classification of ships and floating structures in the Rules, 2007. – 7p.
6. Germanischer Lloyd. Rules for Classification and Construction. Chapter 5. High Speed Craft. - Humburg: Gebrüder Braasch, 1996. - 272p.