DOI [https://doi.org/10.15589/znп2021.3\(486\).2](https://doi.org/10.15589/znп2021.3(486).2)
УДК 629.5.012

IMPROVED SAILING PERFORMANCE OF A RACING YACHT OF OFFSHORE RACING CLUB OF NUOS

ПІДВИЩЕННЯ ХОДОВИХ ЯКОСТЕЙ ПЕРЕГОНОВИХ ЯХТ КРЕЙСЕРСЬКОГО ЯХТ-КЛУБУ НУК

Yuriy M. Pashchenko

yurii.pashchenko@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8307-0316

Ю. М. Пашенко,

канд. техн. наук, доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The purpose of this work is to study the resistance of a quarter-ton yacht by conducting a model experiment in the experimental basin of the Department of Theory and Design of Ships of the National University of Shipbuilding of Ukraine.

The work was carried out to improve its racing qualities without increasing the measurement score, which allows competition with modern plastic yachts and consisted in modernizing the stern of the wooden hull of the yacht by increasing the wavelength.

In the process of testing in modern computer-aided design systems, two 3D models of the surface of the yacht hull were created and performed calculations on hydrostatics, stability and running for both models. The test models were performed at a scale of 1/7.

The pictures of wave formation for both models, made in CAD “Maxsurf” and in the process of towing tests are shown. Graphs of the total resistance of yachts on the accompanying course and on maneuvering are given, the photo of the stern of the modernized full-scale yacht is shown.

Experimental results show the possibility of improving the running qualities of the yacht by increasing the wavelength. The yacht motion calculations and model tests also showed that the increase in the longitudinal moment of inertia of the yacht’s mass has a positive effect on the resistance to short waves, characteristic of the estuarine and coastal marine waters.

In the second part of the article the project of improvement of contours of a sailing and racing yacht of a half-ton class is executed. It was built of fiberglass by amateurs independently according to the project of the French yacht designer Finot.

But for more than 20 years of operation, it is obsolete and required modernization of the building. To improve the handling, it was proposed to increase the length of the waterline and increase the fullness of the bow frames in order to increase the prismatic coefficient, which reduces the resistance of the yacht.

As the yacht did not have a theoretical lines plan, its contours were removed from the existing yacht and further agreed. Two 3D models of the surface of the hull of the yacht in CAD “Maxsurf” were made and the towing capacity was calculated for both hulls according to the method of prof. Gerritsma, which showed a decrease in resistance at speeds of more than 5 knots.

The reliability of the results is justified by their qualitative compliance with known patterns.

A photo of a yacht with a redesigned bow limb is provided.

Practical application of the results is possible in sailing races.

Key words: cruising-racing yacht; upgrading; tow testing; reduction of resistance; wavelength.

Анотація. Мета роботи полягає в дослідженні опору яхти чвертьтонного класу за допомогою проведення модельного експерименту в дослідному басейні кафедри теорії та проєктування суден Національного університету кораблебудування України.

Роботи проводилися для поліпшення перегонових якостей судна без підвищення обмірного бала, що дає можливість конкурувати з сучасними пластиковими яхтами, і полягали в модернізації кормової частини дерев’яного корпусу яхти завдяки збільшенню хвилеутворювальної довжини.

У процесі випробувань в сучасних системах автоматизованого проектування були створені дві 3D-моделі поверхні корпусу яхти та здійснені розрахунки з гідростатики, остійності та ходовості для обох моделей. Моделі для випробувань були виконані в масштабі 1:7.

Наведено картини хвилеутворення для обох моделей, виконані в САПР «Maxsurf», та в процесі проведення буксирувальних випробувань. Зображено графіки повного опору яхт на попутному курсі і на лавіруванні, надана фотографія кормової частини модернізованої натурної яхти.

Результати експериментальних досліджень вказують на можливість поліпшення ходових якостей яхти завдяки збільшенню хвилеутворювальної довжини.

Проведені розрахунки хитавиці та модельні випробування також довели, що збільшення повздовжнього моменту інерції маси яхти сприятливо позначиться на опорі за коротких хвиль, характерних для лиманної та прибережної морської акваторії.

У другій частині статті виконано проєкт вдосконалення обводів вітрильно-перегонової яхти півтонного класу. Вона була побудована зі склопластику аматорами самостійно за проєктом французького яхтового конструктора Ж.-М. Фіно. Але за понад 20 років експлуатації судно морально застаріло та вимагало модернізації корпусу. Для покращення ходових якостей було запропоновано збільшити довжину ватерлінії та повноту носових шпангоутів з метою підвищення призматичного коефіцієнта, що зменшує опір яхти.

Оскільки судно не мало теоретичного креслення, то його обводи були зняті з наявної яхти та узгоджені. Виконані дві 3D-моделі поверхні корпусу яхти в САПР «Maxsurf» та проведені розрахунки буксирувальної потужності для обох корпусів за методикою професора Геррітсми, що показали зменшення опору на швидкостях понад 5 вузлів. Достовірність результатів обґрунтована їх якісною відповідністю відомим закономірностям. Надано фото яхти з переробленим носовою кінцевістю. Практичне застосування результатів може стати у нагоді під час проведення вітрильних перегонів.

Ключові слова: крейсерська яхта; модернізація; буксирувальні випробування; зниження опору; хвилеутворювальна довжина.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Зниження опору корпусів крейсерсько-перегонових яхт веде до підвищення їх спортивної ефективності. Але питання вдосконалення обводів яхт, впливу форми корпусу і посадки яхти на її опір у сучасній практиці погано вивчені.

Аналізу переробки корпусів яхт чвертьтонного та півтонного класів крейсерського яхт-клубу НУК й аналізу їх ходовості на основі буксирувальних випробувань та численного експерименту і присвячена ця робота.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У літературі відсутні системні дослідження ходових якостей крейсерсько-перегонових яхт чвертьтонного і півтонного класів. Відомі роботи з дослідження опору яхтових корпусів [2; 3], проти вони не охоплюють параметри корпусів, які перебувають поза діапазоном цих буксирувальних випробувань.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження полягає в оцінці ходових якостей спортивних крейсерсько-перегонових яхт у дослідному басейні та розрахунку в системах автоматизованого проектування з метою зменшення опору.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ПО ЯХТІ ЧВЕРТЬТОННОГО КЛАСУ

Наявний крейсерський яхтовий флот швидко застаріває. Причина цього полягає в сучасних методах комп'ютерного проектування, в нових численних ме-

тодах гідродинаміки та буксирувальних випробувань, у появі нових будівельних матеріалів і технологій.

З огляду на тривалий час експлуатації яхт існує необхідність їх удосконалення, щоб покращити ходові якості та дати можливість успішно конкурувати в перегонах із новими суднами. Яхти чвертьтонного класу становлять більшість у крейсерському флоті України.

Значна кількість миколаївських яхт такого типу змінила свої кілі і рулі за рекомендаціями [1]. Було змінено й озброєння: від топового до 7/8, збільшено площу вітрил, підвищено статичну остійність яхт. Але на наближених до критичних для водозміщувального режиму швидкостях була помічена динамічна просадка яхти, несприятлива інтерференція хвильової картини, як наслідок – значна кормова хвиля, що замивала понад 1/3 транця. Тому було здійснено спробу зниження опору завдяки збільшенню хвилеутворювальної довжини до величини, що не призводить до зміни обмірного бала для цього класу.

Була виготовлена модель яхти в масштабі 1:7 із подовженою на 0,4 м кормою, і проведено модельний експеримент у дослідному басейні кафедри теорії та проектування суден Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова. Друга модель наявної яхти одержана за допомогою обрізання кормової частини до стандартної.

Швидкість моделі під час випробувань поступово підвищувалася до 1,5 м/с, що відповідає швидкості натурної яхти 7,4 вузли, тобто охоплює весь водозміщувальний діапазон.

Результати буксирувань були перенесені на натурну яхту за стандартною схемою [4].

Для обох корпусів були проаналізовані: опір; бокова сила; вплив кута крену 5° , 10° , 15° ; вплив кута дрейфу 2° , 4° , 6° ; вплив кута диференту $0-3^\circ$.

На рис. 4, 5 зображено картини хвильутворення для кормової кінцевості обох моделей за швидкості 6,15 вузлів.

Рис. 1. Модель наявної яхти

Рис. 2. Модель модернізованої яхти

Побудова теоретичних креслень і 3D-моделей корпусу була виконана за допомогою програмних комплексів «RhinoCeros» та «AutoCad» (рис. 3). У САПР «Maxsurf» здійснені розрахунки з гідростатики, остійності та ходовості для обох моделей.

Рис. 3. 3D-модель корпусу яхти

Рис. 4. Картина хвильутворення наявної яхти

Для прикладу на рис. 6 наведені криві опору наявної та модернізованої яхт для крену 0° та 5° на попутному курсі.

Рис. 5. Картина хвильутворення модернізованої яхти

Рис. 6. Криві опору яхт

Пунктиром позначено опір наявної яхти для кутів крену 5° та 10° .

Рис. 7. Вплив диференту на опір

Рис. 8. Опір за дрейфу 6°

ВИСНОВКИ ПО ЯХТІ ЧВЕРЬТОННОГО КЛАСУ

За результатами модельних випробувань «прототипу» та «проекту» можна зробити такі висновки.

З курсом фордевінд за кутів крену 0°, 5°, 10°, 15° опір модернізованої яхти зменшується з 24% до 11% за швидкостей від 4 до 7 вузлів, відповідно. Також невеликий диферент на корму (3°), всупереч поширеній думці, зменшує опір у розглянутому діапазоні швидкостей з 4,6% до 6,2% (див. рис. 7).

За дрейфу в 2 градуси (лавівування за слабого вітру) за тих же швидкостей і кутів опір зменшується з 14% до 7%.

За дрейфу в 6 градусів (лавівування за сильного вітру) за тих же швидкостей і кутів опір збільшується з 2,5% до 8% (див. рис. 8).

Рис. 9. Перероблена кормова кінцевість яхти

Проведені розрахунки хитавиці та модельні випробування також показали, що збільшення позовдовжнього моменту інерції маси яхти (тобто рознесення змінних вантажів відносно міделя) сприятливо позначається на опорі за коротких хвиль, характерних для лиманної й прибережної морської акваторії.

Модернізація наявної яхти показала, що хвильова картина обтікання корпусу суттєво змінилася, що призвело до підвищення швидкості яхти в реальних вітрильних перегонах.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ПО ЯХТІ ПІВТОННОГО КЛАСУ

Метою роботи є вдосконалення обводів вітрильно-перегонової яхти півтонного класу крейсерського яхт-клубу НУК для підвищення її швидкості. Такі яхти є оптимальними для прибережних морських перегонів. Вони швидкохідні, легше справляються з зустрічною хвилею, мають більші можливості підбору вітрил залежно від вітру і порівняно комфортні для екіпажу. Природні та кліматичні умови півдня України дозволяють успішно розвивати яхти півтонного класу. Визнаними світовими лідерами у побудові таких яхт є компанії «Farr Yacht Design» та «Dufour».

Судно півтонного класу може стати базовою моделлю для створення низки сучасних, порівняно легких і недорогих крейсерсько-перегонових яхт. Судно, що модернізується, було побудовано зі склопластику аматорами самостійно за проектом французького яхтового конструктора Ж.-М. Фіно. Але за понад 20 років експлуатації яхти морально застаріла та вимагала модернізації корпусу.

Вибір форми корпусу малих яхт — складне завдання, пов'язане з забезпеченням необхідної ходовості і мореплавності за порівняно високих швидкостей руху, а також безпеки мореплавання. Під час проектування теоретичного креслення доводиться враховувати широкий комплекс вимог гідродинамічного, конструктивно-технологічного, експлуатаційного характеру. Для поліпшення ходових якостей було запропоновано збільшити довжину ватерлінії та повноту носових шпангоутів з метою підвищення призматичного коефіцієнта, що зменшує опір яхти. Оскільки судно не мало теоретичного креслення, то його обводи були зняті з наявної яхти та узгоджені.

Рис. 10. Теоретичне креслення наявної яхти

Побудова 3D-моделей корпусів була виконана за допомогою програмних комплексів «RhinoCeros» та «AutoCad» (див. рис. 3). У САПР «Maxsurf» здійснені розрахунки з гідростатики, остійності та ходовості для обох варіантів корпусів яхт.

Рис. 11. Форма носової кінцевості наявної яхти

Рис. 12. Форма носової кінцевості модернізованої яхти

Рис. 13. Яхта з переробленою носовою кінцевістю

Нижче наведено порівняльну таблицю розрахунків буксирувальної потужності в САПР «Maxsurf» для обох корпусів за методикою [3].

вузл	EPS, kW, Di, II Існуюч.	EPS, kW, Di, II Модерніз.	%
0,5	0,001	0,001	
1	0,004	0,004	
1,5	0,013	0,013	
2	0,03	0,03	
2,5	0,065	0,066	1,538
3	0,113	0,115	1,770
3,5	0,182	0,182	0
4	0,286	0,287	0,350
4,5	0,419	0,42	0,239
5	0,604	0,607	0,497
5,5	0,99	0,984	-0,606
6	1,739	1,727	-0,690
6,5	3,273	3,137	-4,155
7	5,682	5,528	-2,710
7,5	8,904	8,51	-4,425
8	10,375	9,9	-4,578
8,5	14,483	13,758	-5,006
9	18,071	17,422	-3,591
9,5	21,633	20,963	-3,097
10	24,737	24,086	-2,632

ВИСНОВКИ ПО ЯХТІ ПІВТОННОГО КЛАСУ

Аналіз розрахунків показує, що до швидкості 5 вузлів буксирувальна потужність яхти незначно підвищується (менш ніж на 2%), що пояснюється переважанням сили тертя в балансі сил опору.

Зі збільшенням швидкості опір яхти зменшується (до 5%), що пояснюється зменшенням сили хвильового опору.

REFERENCES

- [1] Zaburdaev L. V., Pashchenko Yu. N. (1982) Modernizatsiya tallinskogo chetverttonnika [Modernization of a Tallinn quarter-ton yacht]. *Katera i yakhthy*. № 3 (97). [in Russian]
- [2] Gerritsma J., Moeyes G., Onnink R. (1978) Test Result of a Systematic Yacht Hull Series. *International Shipbuilding Progress*. Vol. 125. № 287.
- [3] Gerritsma J., Onnink R., Versluis A. (1991) Geometry, resistance and stability of the Delft Systematic Yacht Hull Series. *10th Chesapeake Sailing Yacht Symposium*.
- [4] Voytkunskiy Ya. I. (1988) Soprotivlenie dvizheniyu sudov [Resistance of Ships] : uchebnik. Leningrad : Sudostroenie. 288 p. [in Russian]

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Забурдаєв Л. В., Пашченко Ю. Н. Модернізація таллінського чотвертьтонника. *Катера і яхти*. 1982. № 3(97).
- [2] Gerritsma J., Moeyes G., Onnink R. Test Result of a Systematic Yacht Hull Series. *International Shipbuilding Progress*. 1978. Vol. 125. № 287.
- [3] Gerritsma J., Onnink R., Versluis A. Geometry, resistance and stability of the Delft Systematic Yacht Hull Series. *10th Chesapeake Sailing Yacht Symposium*, 1991.
- [4] Войткунський Я. И. Сопротивление движению судов : учебник. Ленинград : Судостроение, 1988. 288 с.

© Пашченко Ю. М.

Дата надходження статті до редакції: 17.09.2021 р.

Дата затвердження статті до друку: 30.09.2021 р.