



Igor F. Davydov
Давыдов
Игорь
Филиппович

УДК 629.5.016
Д13

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE IMPROVED HULL LINES FOR THE SLOW-SPEED VESSEL WITH HIGH BLOCK COEFFICIENT

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ОБВОДОВ ТИХОХОДНОГО СУДНА БОЛЬШОЙ ПОЛНОТЫ

DOI 10.15589/SMI. 2015.02.07

Igor F. Davydov

И. Ф. Давыдов, канд. техн. наук, доц.¹
davydov_mob@mail.ru
ORC ID: 0000-0001-9944-4864

Aleksandr V. Demidyuk

А. В. Демидюк, канд. техн. наук, доц.²
alexander_demidiuk@rambler.ru
ORC ID: 0000-0003-4441-7054

Andrey V. Pechenyuk

А. В. Печенюк, асп.¹
anpech@gmail.com
ORC ID: 0000-0003-3315-5132



Aleksandr V. Demidyuk
Демидюк
Александр
Владимирович

¹*Odessa National Maritime Academy, Odessa*

²*Odessa National Maritime University, Odessa*

¹*Одесская национальная морская академия, г. Одесса*

²*Одесский национальный морской университет, г. Одесса*



Andrey V. Pechenyuk
Печенюк
Андрей
Владимирович

Abstract. The hull lines optimization of for the minimum still water resistance is a problem of current interest in ship hydrodynamics. A new method [3] of in-detail hull form design based on the wave pattern optimization has been applied to the bow of a low-speed river-sea vessel with high block coefficient. As a result, two solutions that showed 4–5% decrease in resistance according to the CFD data were developed. The experimental study was carried out in the Odessa National Maritime University experimental tank. Three variants of the ship's bow were studied: the initial variant; the optimum variant according to CFD calculations; the initial variant with a bulb. A special uncertainty analysis was made for better reliability of comparison. The original ship's bow and hull form in general had some distinctions according to CFD analysis. Due to these distinctions, more impact on resistance could be expected. The final results showed interesting characteristics, as the resistance has decrease by 7–16%. They can be used in practical ship design for significant improvement of propulsion properties.

Keywords: model test; experimental tank; hull lines improvement.

Анотація. Виконано оцінку ефективності вдосконалених обводів носової частини тихохідного судна великої повноти за допомогою модельного експерименту в дослідному басейні. Аналіз отриманих результатів показав, що запропоновані рішення забезпечують значне зменшення буксирувального опору.

Ключові слова: модельний експеримент; дослідний басейн; удосконалення судових обводів.

Аннотация. Выполнена оценка эффективности усовершенствованных обводов носовой оконечности тихоходного судна большой полноты с помощью модельного эксперимента в опытовом бассейне. Анализ полученных результатов показал, что предложенные решения обеспечивают значительный выигрыш в буксировочном сопротивлении.

Ключевые слова: модельный эксперимент; опытовый бассейн; совершенствование судовых обводов.

References

[1] Demidyuk A. V. Modernizatsiya systemy izmereniy opytovogo basseyna ONMU [Modernization of the measurement system of the ONMU experimental tank]. *Visnyk ONMU: zbirnyk naukovykh prats* [Bulletin of ONMU: digest of the scientific works], 2012, issue 34, pp. 67–76.

[2] Pechenyuk A. V. Model izmeneniy sudovoy poverkhnosti [Model of hull surface variation]. *Materialy III Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii "Innovatsii v sudnobudu-*

vanni ta okeanotekhnitsi (4–6.10.2012)” [Proc. of the 3rd Int. Scientific and Technical Conf. “Innovations in Shipbuilding and Ocean Technology”. Mykolaiv, 2012, pp. 179–181.

[3] Pechenyuk A. V. Uluchshenie formy korpusa tikhokhodnogo sudna s bolshoy polnotoy obvodov chislennymi metodami [Improvement of the hull form of the low-speed vessel with high block coefficient by numerical methods]. *Tez. dokl. vseukr. nauch.-tekhnich. konf. “Suchasni tekhnologii proektivannia, pobudovy, ekspluatatsii i remontu suden, morskyykh tekhnichnykh zasobiv i inzhenernykh sporud (21–22.05.2014)”*. [Proc. of the Ukrainian Scientific and Technical Conf. “Modern Technologies in the Design, Construction, Operation and Repairs of the Ships, Marine Technical Facilities and Engineering Constructions”. Mykolaiv, 2014.

[4] Sizov V. G. Ob odnom sposobe uluchsheniya formy sudna [On a method of ship form improvement]. *Visnyk ONMU: zbirnyk naukovykh prats* [Bulletin of ONMU: digest of the scientific works], 2006, issue 19, pp. 14–19.

Problem statement. The problem of improving the ship form of the considering the propulsion criterion at the design stage is of high importance. The hull form has a great influence on the seaworthiness of the ship, which is closely related to the main technical and operational and economic characteristics. The problem has been studied for a long time in different definitions.

This article represents the results of the study on the effectiveness of solutions for hull lines of the bow of mixed navigation ship (MNS) of «Volga-Don max» class, which is performed using an experimental approach. As a part of the experiment, the towing resistance of the ship with three variants of the bow hull lines (the original one and two advanced) is determined.

Latest research and publications analysis. A method of consistent improvement of the hull form, based on variation principles, was suggested by V. G. Sizov in article [4]. Report [3] represented the results of the numerical study on the improvement of hull lines of low-speed ship with high block coefficient formed on the basis of concept [4]. It is shown that the hull towing resistance can be reduced by 4–5 % by relatively small changes in the bow form.

THE ARTICLE AIM is to experimentally evaluate the effectiveness of improved bow hull lines for the full low-speed MNS of «Volga-Don max» class with the help of a model test in experimental tank.

Basic material. The method for improving the ship hull lines using methods of computational fluid dynamics is represented in [3]. According to numerical estimation, its application to the bow of the full low-speed ($\delta = 0.892$, $Fr = 0.182$) MNS under the condition of constant displacement and bottom plating form provided the decrease in the hull towing resistance by 4.1 % in full scale.

The hull lines improvement was performed by the longitudinal displacement redistribution using a special model of systematic changes in hull form [2]. The model considers the modification of the form of the curve of areas.

Постановка проблемы. Проблема совершенствования формы судна по критерию ходкости на этапе проектирования является весьма актуальной. Форма корпуса оказывает большое влияние на мореходные качества судна, тесно связанные с основными технико-эксплуатационными и экономическими показателями. В различных постановках данная проблема анализируется уже достаточно давно.

В настоящей работе представлены результаты исследования эффективности решений для обводов носовой оконечности судна смешанного плавания (ССП) класса «Волго-Дон макс», которое выполнено с помощью экспериментального подхода. В рамках эксперимента определено буксировочное сопротивление судна с тремя вариантами обводов носовой оконечности — исходного и двух усовершенствованных.

Анализ последних исследований и публикаций. Способ последовательного улучшения формы корпуса, основанный на вариационных принципах, был предложен В. Г. Сизовым в статье [4]. В докладе [3] содержатся результаты численного исследования по совершенствованию обводов тихоходного судна большой полноты, выполненного на основе концепции [4]. Показано, что за счет относительно небольших изменений формы носовой оконечности можно снизить буксировочное сопротивление корпуса на 4–5 %.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — экспериментальная оценка эффективности усовершенствованных обводов носовой оконечности для полных тихоходных ССП класса «Волго-Дон макс» с помощью модельного эксперимента в опытовом бассейне.

Изложение основного материала. В работе [3] указан метод совершенствования судовых обводов с использованием методов вычислительной гидродинамики. Согласно численным оценкам его применение к носовой части полного тихоходного ($\delta = 0.892$, $Fr = 0.182$) ССП при условии постоянства водоизмещения и формы диаметральной плоскости (ДП) обеспечило снижение буксировочного сопротивления корпуса на 4,1 % в масштабе натуры.

Совершенствование обводов выполнено за счет продольного перераспределения водоизмещения с использованием специальной модели систематических изменений формы корпуса [2]. Модель предусматривает модификацию формы строевой по шпангоутам на локальных участках.

The towing resistance is reduced mainly due to the weakening of the bow transverse waves and strengthening of divergent ones.

The analysis of the influence of the curve form on the resistance showed that, when waiving the conditions of constant displacement and bottom plating form, the favorable changes in a small area near the stem can be localized. This can be represented in the form of bulb on the original hull lines, which is very convenient for the modernization of existing ships. The numerical simulation of ship towage using such bulb showed a decrease in resistance by 5.6%. An additional effect is explained by an increase of the bulb advance out the fore perpendicular.

The considered method is designed primarily for detailed development of the hull form taking into account its initial characteristics. However, in the above case, the range of possible variations of the bow form is quite small because of the high block coefficient and other design constraints. In essence, this range has been fully elaborated in the study. Thus, the obtained results, primarily the curve form, are expected to represent the universal and close to optimum solution for ships with similar form characteristics and speed mode.

The subject of the present study is a hull of a full low-speed MNS, the original hull lines of which have some differences from the original hull lines of the object of study [3]. The bow hull lines are ram and conical. The transom aft is adapted for installation of two full-circle rudder propellers. The skeg is installed in the centreline (CL).

The following are considered as the improved hull lines: 1) bow hull lines with the displacement redistribution along the length from [3] (replacement of the entire bow of the original subject of this article); 2) bow hull lines fitted with the bulb, the form of which is similar to that studied in [3]. The hull lines sketch is shown in Fig. 1. Table 1 represents the main geometric characteristics of the considered hulls in a model scale of 1:50.

Снижение буксировочного сопротивления получено, главным образом, за счет ослабления поперечных волн носовой системы при одновременном усилении расходящихся.

Анализ влияния формы строевой на сопротивление показал, что при отказе от условий постоянства водоизмещения и формы ДП можно локализовать выгодные изменения на небольшом участке вблизи форштевня. Это может быть оформлено в виде бульбовой наделки на исходные обводы, что весьма удобно для модернизации существующих судов. Численное моделирование буксировки судна с такой наделкой показало снижение сопротивления на 5,6%. Дополнительный эффект объясняется увеличением выдвига бульба за носовой перпендикуляр.

Примененный метод предназначен в основном для детальной отработки формы корпуса с учетом ее исходных особенностей. Однако в рассмотренном случае диапазон возможных вариаций формы носовой оконечности достаточно узок из-за большой полноты и других проектных ограничений. По сути, этот диапазон был полностью проработан в рамках исследования. Поэтому можно ожидать, что полученные результаты, прежде всего, форма строевой по шпангоутам, представляют собой общее решение, близкое к оптимальному, для судов с подобными характеристиками формы и скоростным режимом.

Объектом настоящего исследования является корпус полного тихоходного ССП, исходные обводы которого имеют некоторые отличия от исходных обводов объекта исследования [3]. Носовые обводы таранно-конические, транцевая кормовая оконечность санного типа приспособлена для установки двух полноповоротных винто-рулевых колонок, в ДП установлен скег.

В качестве усовершенствованных обводов проанализированы: 1) носовые обводы с перераспределением водоизмещения по длине из работы [3] (замена всей носовой части у исходного объекта данной работы); 2) носовые обводы с добавлением бульбовой наделки, форма которой аналогична изученной в [3]. Эскиз обводов показан на рис. 1. В табл. 1 представлены основные геометрические характеристики рассмотренных корпусов в модельном масштабе 1:50.

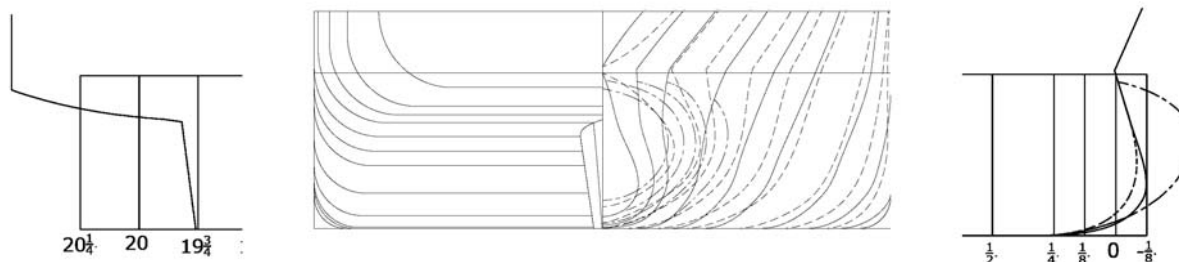


Fig. 1. Sketch of original and improved hull lines

Рис. 1. Эскиз исходных и усовершенствованных обводов

Table 1. Geometrical characteristics of hulls (scale 1:50)

Таблица 1. Геометрические характеристики корпусов (масштаб 1:50)

Characteristics / Характеристики		Original hull lines from [3] Исходные обводы из [3]	Original hull lines Исходные обводы	Redistributed displacement Перераспределенное водоизмещение	Bulb / Бульбовая наделка
Variant of the hull form / Вариант формы корпуса		–	1	2	3
Length at construction waterline, L_{CWL} / Длина по КВЛ, $L_{КВЛ}$	m / м	2.755	2.727		
Width / Ширина, B	m / м	0.330	0.330		
Draught at construction waterline / Осадка по КВЛ, T	m / м	0.092	0.086		
Displacement / Водоизмещение, V	m^3 / m^3	0.0746	0.0689	0.0691	0.0692
Wetted area / Смоченная поверхность, S	m^2 / m^2	1.3086	1.2734	1.2732	1.2814
Bulb cross-section area at the fore perpendicular, A_{wl} Площадь сечения бульба на НП, $A_{ВТ}$	m^2 / m^2	0.0015	0.0019	0.0042	0.0053
Abscissa of the value center / Абсцисса центра величины, x_c	m / м	0.034	0.029	0.032	0.034
Block coefficient / Коэффициент общей полноты, δ	–	0.892	0.891	0.892	0.894
Midship coefficient / Коэффициент полноты миделя, β	–	0.994	0.995		
Waterplane coefficient / Коэффициент полноты КВЛ, α	–	0.965	0.961	0.964	0.961
Prismatic coefficient / Коэффициент продольной полноты, φ	–	0.897	0.895	0.897	0.899

Towing tests of the model with three variants of the hull form were carried out in the experimental tank of Odessa National Maritime University (ONMU) in the summer of 2014.

The models are made in a 1:50 scale; they are of foam plastics and coated with a paraffin-wax alloy. In order to provide a turbulent flow regime in the boundary layer, two trip wires of a 1.5 mm diameter were installed at the forward perpendicular and the first transverse section of the bow.

The ONMU experimental tank is a gravity type tank of the Wellenkamp system with the water tunnel dimensions of 35.5×6.0×2.2 m and volume of 400 m³. The water tunnel is made in the form of a reinforced concrete structure with the parabola-shaped bottom part.

In the ONMU tank, the model movement occurs under the force of the weight falling into the pit of a 20 m depth and with the use of a towing mechanism with a gear ratio of 0.5. After the model reaches a constant speed, its resistance is determined by the towage weight value. To reach a speed close to the constant one, an acceleration device is included to the towing mechanism within an area of limited length. A braking device is used for a smooth stop of the model. The tank is equipped with a wave annihilation system.

The results of the towing tests in the ONMU experimental tank are recorded and processed by the speed measuring system of the model. Currently, the speed

Буксировочные испытания модели с тремя вариантами формы корпуса проводились летом 2014 г. в опытовом бассейне Одесского национального морского университета (ОНМУ).

Модели изготовлены в масштабе 1:50 из пенопласта и покрыты сплавом парафина с воском. Для обеспечения турбулентного режима течения в пограничном слое в носовой части устанавливались два проволочных турбулизатора диаметром 1,5 мм — на носовом перпендикуляре и первом теоретическом шпангоуте.

Опытовый бассейн ОНМУ является бассейном гравитационного типа системы Веленкампа с размерами гидроканала 35,5×6,0×2,2 м, емкостью 400 м³. Гидроканал выполнен в виде железобетонной конструкции, днищевая часть которой имеет параболическую форму.

В бассейне ОНМУ движение модели происходит под действием силы веса груза, падающего в шахту глубиной 20 м, с помощью буксирующего механизма с передаточным числом 0,5. По достижении моделью постоянной скорости ее сопротивление определяется величиной буксирующего груза. Для достижения скорости, близкой к постоянной, в пределах участка ограниченной длины в механизм буксировки включено разгонное устройство. Для плавной остановки модели применяется устройство торможения. Бассейн оборудован системой волногашения.

Результаты буксировочных испытаний в опытовом бассейне ОНМУ регистрируются и обрабатываются системой измерения скорости движения модели. В на-

measuring system has been upgraded [1] by installing advanced measuring equipment and developing appropriate software.

Acceleration is carried out under the force of the acceleration weight, which should be selected so that the model movement is steady after the acceleration. According to the ONMU procedure, the model speed is assumed to be constant if its deviation from the mean value does not exceed 0.5% in the measurement area. If the selected weight does not fully meet this requirement, the model movement speed will be slightly increased or decreased after the acceleration.

Although there are various methods for the preliminary assessment of the acceleration weight in accordance with the weight of the model and the speed to be reached by the end of the acceleration, the most reliable method is to determine the speed on the basis of the results of multiple runs with one towage weight and several acceleration ones. This is the approach used in the study. The sample of the data for selection of the run which corresponds to the steady model movement the most is presented in Fig. 2.

Comparison of the values of towing resistance of the tested models plays an important role in this study. Therefore, a special estimation of the measurement error was carried out. Analysis of the sources of the error showed that the comparison results may only be affected by a random error in the measurement of the towing speed. The other conditions for the models can be considered equivalent.

The estimation of the towing speed measurement error was performed on the basis of 14 runs of the model with the hull variant 2. The runs were carried out in the identical conditions with a towage weight of 0.7 kg and an acceleration weight of 2.2 kg. The combination of the weights provided a steady model movement with $Fr = 0.188$ on the measurement area. Upon the results processing, the estimate of the relative uncertainty of the

стоящее время система измерения скорости прошла модернизацию [1], в ходе которой была установлена современная измерительная аппаратура и создано соответствующее программное обеспечение.

Разгон осуществляется под действием силы веса разгонного груза, который необходимо подобрать так, чтобы после окончания разгона движение модели было равномерным. Согласно методике ОНМУ скорость модели считается постоянной, если ее отклонение на мерном участке не превышает 0,5% от среднего значения. Если выбранный груз не вполне отвечает этому требованию, движение модели после разгона будет слегка ускоренным или замедленным.

Хотя известны различные методики для предварительной оценки величины разгонного груза в соответствии с весом модели и скоростью, которой необходимо достичь к концу разгона, наиболее надежным является определение скорости по результатам нескольких пробегов с одним буксирующим грузом и несколькими разгонными. Этот подход был применен и в настоящей публикации. Пример данных для выбора пробега, который лучше всего соответствует равномерному движению модели, представлен на рис. 2.

Сопоставление величин буксировочного сопротивления испытанных моделей играет в этом исследовании важную роль, поэтому была выполнена специальная оценка погрешности измерений. Анализ источников погрешности показал, что на результаты сопоставления может влиять лишь случайная погрешность в измерении скорости буксировки, другие условия для моделей можно считать эквивалентными.

Оценка погрешности измерений скорости буксировки выполнена на основе 14 пробегов модели с вариантом корпуса 2 в одинаковых условиях с буксирующим грузом 0,7 кг и разгонным грузом 2,2 кг. Комбинация грузов обеспечивала на мерном участке равномерное движение модели с $Fr = 0,188$. В результате обработки результатов получена оценка относительной неопределенности (доверительный интервал с надежностью 95%) измерений скорости $\pm 0,46\%$, что соответствует относительной неопределенности буксировочного сопротивления $\pm 0,92\%$.

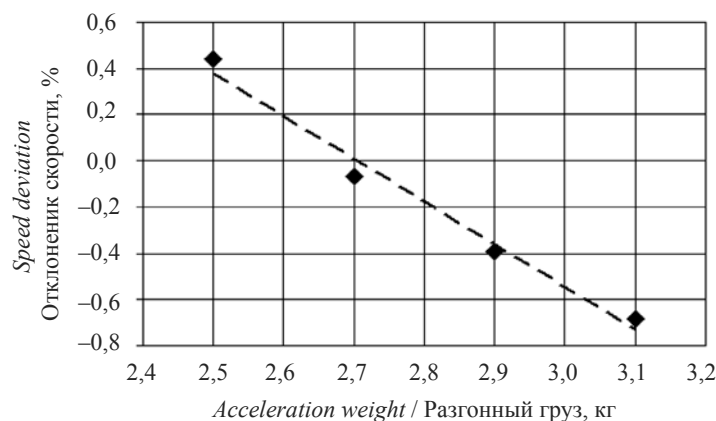


Fig. 2. Results of the runs with a towage weight of 0.9 kg ($Fr = 0.20$)

Рис. 2. Результаты пробегов с буксирующим грузом 0,9 кг ($Fr = 0,20$)

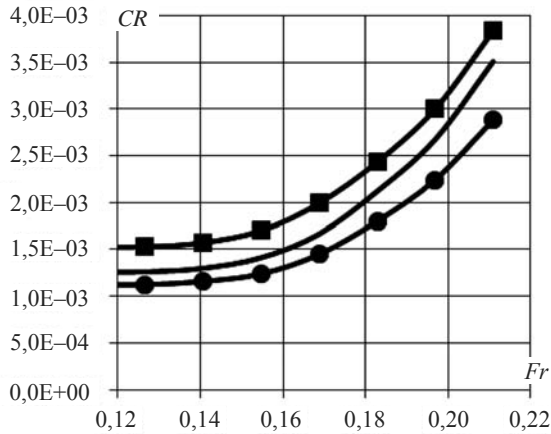


Fig. 3. Residual resistance coefficients of models

Рис. 3. Коэффициенты остаточного сопротивления моделей

■ — variant 1 (original hull size) / вариант 1 (исходные обводы); ● — variant 2 (redistr. displacement) / вариант 2 (перераспределенное водоизмещение); — — variant 3 (bulb) / вариант 3 (бульбовая наделка)

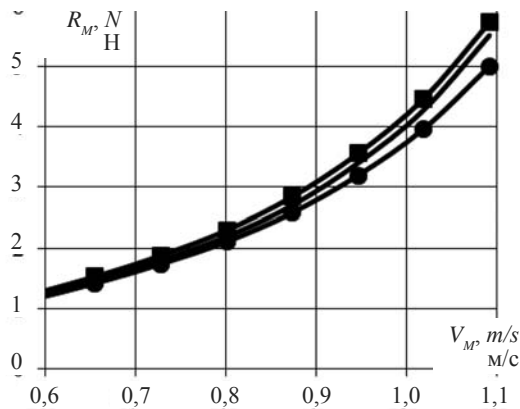


Fig. 5. Residual resistance coefficients of models

Рис. 5. Коэффициенты остаточного сопротивления моделей

■ — variant 1 (original hull size) / вариант 1 (исходные обводы); ● — variant 2 (redistr. displacement) / вариант 2 (перераспределенное водоизмещение); — — variant 3 (bulb) / вариант 3 (бульбовая наделка)

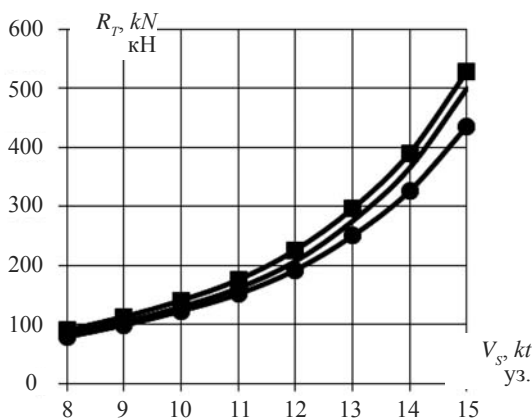


Fig. 7. Towing resistance of full-scale objects

Рис. 7. Буксировочное сопротивление моделей

■ — variant 1 (original hull size) / вариант 1 (исходные обводы); ● — variant 2 (redistr. displacement) / вариант 2 (перераспределенное водоизмещение); — — variant 3 (bulb) / вариант 3 (бульбовая наделка)

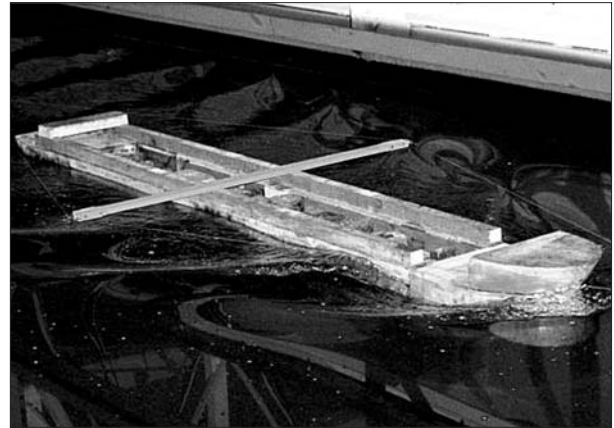


Fig. 4. Variant 2 when $Fr = 0.214$

Рис. 4. Вариант 2 при $Fr = 0,214$

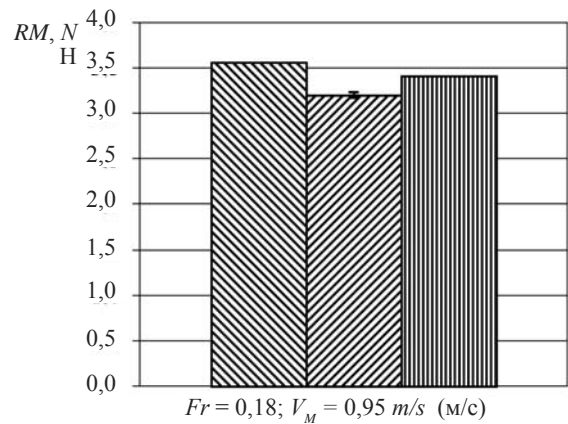


Fig. 6. Towing resistance comparison of models when $Fr = 0.183$

Рис. 6. Сопоставление буксировочного сопротивления моделей при $Fr = 0,183$

■ — variant 1 (original hull size) / вариант 1 (исходные обводы); ● — variant 2 (redistr. displacement) / вариант 2 (перераспределенное водоизмещение); — — variant 3 (bulb) / вариант 3 (бульбовая наделка)

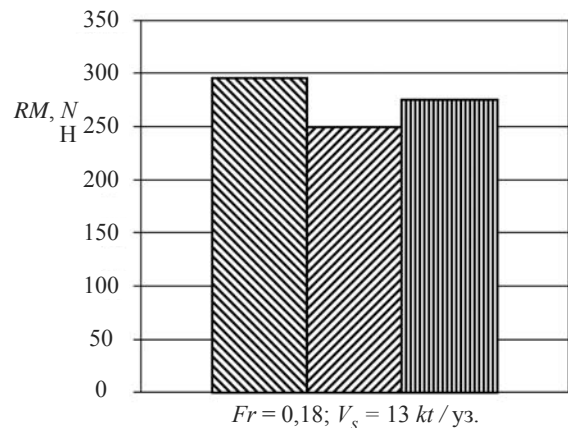


Fig. 8. Towing resistance comparison of full-scale objects when $Fr = 0.18$

Рис. 8. Сопоставление буксировочного сопротивления натуральных объектов при $Fr = 0.18$

■ — variant 1 (original hull size) / вариант 1 (исходные обводы); ● — variant 2 (redistr. displacement) / вариант 2 (перераспределенное водоизмещение); — — variant 3 (bulb) / вариант 3 (бульбовая наделка)

speed measurements was obtained as equal to $\pm 0.46\%$ (the confidence interval of 95% reliability). It corresponds to the relative uncertainty of towing resistance making up $\pm 0.92\%$.

The results of the model tests were recalculated for the full-scale ships using the standard procedure, according to which the residual resistance coefficient of the full-scale hull is equal to that of the model. The residual resistance coefficient is basically the difference of the full resistance and friction resistance coefficients, the latter being calculated for the equivalent technically smooth plate using the Prandtl-Schlichting formula. Due to the comparative nature of the study, increases for the appendages, skin roughness, and air resistance of the ship were not included to the value of the full resistance.

The curves of the model residual resistance coefficient obtained from the tests are shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a photograph of the model towing with variant 2 of the hull lines at $Fr = 0.214$.

Fig. 5 presents the towing resistance curves; Fig. 6 shows the comparison of the values of towing resistance of the variants at $Fr = 0.183$. Fig. 7 and 8 contain the same data for the full-scale ships.

According to the obtained results, the towing resistance of variants 2 and 3 with improved hull lines is lower than that of the initial variant 1. The resistance of the hull with bulb at $Fr = 0.18$ (13 kt. for the full-scale ship) is lower than that of the initial one by 4.4% in model scale and by 7.1% in full scale. Reduction of the resistance of the hull with longitudinal redistribution of displacement in the bow made up 10.1% for the model and 15.6% for the full-scale ship.

CONCLUSIONS. The assessment of the effectiveness of the improved hull lines of the bow was carried out with the use of the model experiment in the experimental tank. Qualitatively, the results of the experimental studies fully confirmed the data of the numerical estimates obtained previously [3]. Modifications of the form of the full low-speed ship bow, which are obtained by the method of improving the ship hull lines [3], provide the reduction of towing resistance by up to 16% compared to the basic variant. This allows us to consider method [3] as an effective tool for the ship speed characteristics optimization.

Результаты модельных испытаний пересчитаны на натуру по стандартной методике, согласно которой коэффициент остаточного сопротивления натурального корпуса равен коэффициенту остаточного сопротивления модельного. Коэффициент остаточного сопротивления представляет собой разность коэффициентов полного сопротивления и сопротивления трения, вычисленного для эквивалентной технически гладкой пластины по формуле Прандтля-Шлихтинга. Ввиду сопоставительного характера исследования, надбавки на выступающие части, шероховатость обшивки, воздушное сопротивление судна в величину полного сопротивления не включались.

Кривые коэффициента остаточного сопротивления моделей, полученные в результате испытаний, показаны на рис. 3. На рис. 4 представлена фотография буксировки модели с вариантом обводов 2 при $Fr = 0,214$.

На рис. 5 обозначены кривые буксировочного сопротивления, на рис. 6 — сравнение величин буксировочного сопротивления вариантов при $Fr = 0,183$, на рис. 7 и 8 — аналогичные данные для натуре.

Согласно полученным результатам буксировочное сопротивление у вариантов 2 и 3 с усовершенствованными обводами ниже, чем у исходного варианта 1. Сопротивление корпуса с бульбовой надделкой при $Fr = 0,18$ (13 уз. для натуре) меньше, чем у исходного, на 4,4% в модельном масштабе, на 7,1% в натуре. Снижение сопротивления корпуса с продольным перераспределением водоизмещения в носовой части составило 10,1% для модели и 15,6% для натуре.

ВЫВОДЫ. Выполнена оценка эффективности усовершенствованных обводов носовой оконечности с помощью модельного эксперимента в опытовом бассейне. Результаты экспериментальных исследований качественно полностью подтвердили данные предварительно полученных численных оценок [3]. Модификации формы носовых оконечностей полного тихоходного судна, найденные с помощью метода совершенствования судовых обводов [3], обеспечивают снижение буксировочного сопротивления на величину до 16% по сравнению с базовым вариантом. Это позволяет рассматривать метод [3] как эффективный инструмент оптимизации ходовых качеств судна.

Список литературы

- [1] Демидюк, А. В. Модернизация системы измерений опытового бассейна ОНМУ [Текст] / А. В. Демидюк // Вісник ОНМУ: збірник наукових праць. — Одеса : ОНМУ, 2012. — Вип. 34. — С. 67–76.
- [2] Печенюк, А. В. Модель изменений судовой поверхности [Текст] / А. В. Печенюк // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали 3-ї Міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв : НУК, 2012. — С. 179–181.
- [3] Печенюк, А. В. Улучшение формы корпуса тихоходного судна с большой полнотой обводов численными методами [Электронный ресурс] / А. В. Печенюк // Тез. докл. всеукр. науч.-технич. конф. «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд». — Николаев : НУК, 2014. — Режим доступа: <http://conference.nuos.edu.ua>.
- [4] Сизов, В. Г. Об одном способе улучшения формы судна [Текст] / В. Г. Сизов // Вісник ОНМУ. — Одеса : ОНМУ, 2006. — Вип. 19. — С. 14–19.

© И. Ф. Давыдов, А. В. Демидюк, А. В. Печенюк
Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. В. А. Некрасов