

Научная статья

УДК 639.2; 532.58

DOI 10.46845/1997-3071-2025-77-99-111

Методика обоснования тяги на швартовых маломерного рыболовного судна

Александр Алексеевич Недоступ¹, Егор Ильич Сергеев², Павел Владимирович Насенков³, Карина Витальевна Коновалова⁴, Артур Александрович Волошин⁵, Егор Андреевич Анфилофьев⁶, Кирилл Владимирович Афиногенов⁷, Карина Андреевна Терентьева⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹nedostup@klgtu.ru

Аннотация. Актуальность описанного в статье исследования обусловлена необходимостью получения достоверной информации о тяге на швартовых для рыболовных судов, а также для транспортных судов, задействованных в буксировке рыболовных лодок как в прибрежной зоне, так и во внутренних водоемах РФ. Современное состояние маломерного рыболовного флота характеризуется наличием устаревших судов, требующих постоянного ремонта и модернизации. Одной из ключевых характеристик, определяющих эффективность рыболовного судна, является его тяга на швартовых, которая влияет на маневренность и безопасность судна в условиях ограниченного пространства. Однако необходимо отметить, что не всегда возможно точно определить тягу на швартовых маломерного судна, основываясь исключительно на математических зависимостях. Это связано с тем, что в математические модели включаются эмпирические коэффициенты, полученные не для всего диапазона характеристик различных типов рыболовных судов, их двигателей и типов винтов. Данное обстоятельство значительно ограничивает возможности применения математического аппарата для обоснования тяги на швартовых маломерного рыболовного судна. В статье представлены приближенные зависимости тяги на швартовых для рыболовного маломерного судна, что позволяет улучшить точность расчетов и повысить надежность эксплуатации флота. Данная методика может служить основой для дальнейших исследований в области оптимизации характеристик маломерного рыболовного флота и его обновления, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению общей эффективности рыболовства в стране.

Ключевые слова: катамаран, гидродинамика, катамаран, эксперименты, бассейн.

© Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Насенков П. В., Коновалова К. В., Волошин А. А., Анфилофьев Е. А., Афиногенов К. В., Терентьева К. А., 2025

Финансирование: Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме «Разработка беспроводной системы контроля параметров трала с элементами искусственного интеллекта “Автотрал”».

Для цитирования: Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Насенков П. В., Конова-лова К. В., Волошин А. А., Анфилофьев Е. А., Афиногенов К. В., Терентьева К. А. Методика обоснования тяги на швартовых маломерного рыболовного судна // Известия КГТУ. 2025. № 77. С. 99–111. DOI 10.46845/1997-3071-2025-77-99-111.

Original article

Methodology for substantiating the traction on the mooring lines of a small fishing vessel

Aleksandr A. Nedostup¹, Egor I. Sergeev², Pavel V. Nasenkov³, Karina V. Konovalova⁴, Artur A. Voloshin⁵, Egor A. Anfilof'ev⁶, Kirill V. Afinogenov⁷, Karina A. Terent'eva⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹nedostup@klgtu.ru

Abstract. The relevance of the study is stipulated by the need to obtain reliable information on the mooring pull for fishing vessels, as well as for transport vessels involved in towing fishing boats both in the coastal zone and inland waters of the Russian Federation. The current state of the small fishing fleet is characterized by the presence of obsolete vessels that require constant repair and modernization. One of the key characteristics that determine the efficiency of a fishing vessel is its mooring pull, which affects the maneuverability and safety of the vessel in confined spaces. However, it should be noted that it is not always possible to accurately determine the mooring pull of a small vessel based solely on mathematical dependencies. This is due to the fact that the mathematical models include empirical coefficients obtained not for the entire range of characteristics of various types of fishing vessels, their engines and types of propellers. This circumstance significantly limits the possibilities of using the mathematical apparatus to justify the traction on the mooring lines of a small fishing vessel. The article presents approximate dependencies of the traction on the mooring lines for a small fishing vessel, which allows improving the accuracy of calculations and increasing the reliability of fleet operation. This technique can serve as a basis for further research in the field of optimizing the characteristics of the small fishing fleet and its renewal, which, in turn, will contribute to improving the overall efficiency of fisheries in the country.

Keywords: catamaran, hydrodynamics, catamaran, experiments, pool.

Funding: The study was carried out within the framework of the state assignment on the topic "Development of a wireless system for monitoring trawl parameters with elements of artificial intelligence “Autotrawl” ”.

For citation: Nedostup A. A., Sergeev E. I., Nasenkov P. V., Konovalova K. V., Voloshin A. A., Anfilofyev E. A., Afinogenov K. V., Terentyeva K. A. Methodology

for justifying thrust on mooring lines of a small fishing vessel. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(77):99–111. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-77-99-111.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из самых важных характеристик, служащей обоснованием подбора активного орудия промышленного рыболовства, в том числе разноглубинного трала, а также выбора транспортного судна, является определение располагаемой тяги рыболовного судна P_p [1–6]. Сопряжение располагаемой тяги судна (траулера) P_p и агрегатного трала R_x становится основной задачей при выборе активного орудия промышленного рыболовства, в нашем случае трала [7]. Схема прямолинейного движения рыболовного (а) и транспортного (б) судов представлена на рис. 1.

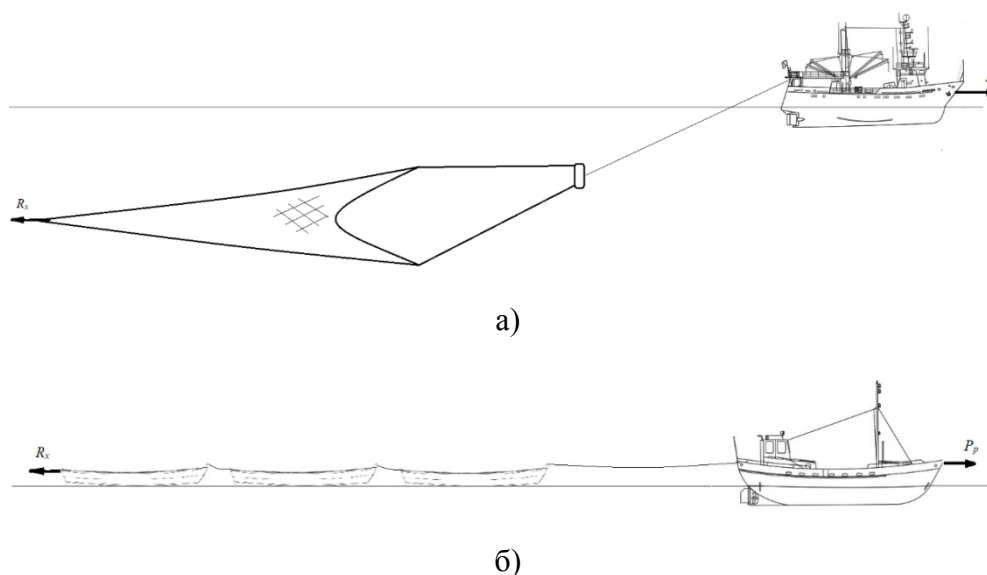


Рис. 1. Схематизация выражения $P_p \geq R_x$
 а) рыболовное судно буксирует разноглубинный трал;
 б) малый рыболовный бот буксирует лодки

Fig. 1. Schematization of an expression $P_p \geq R_x$
 а) a fishing vessel towing a mid-water trawl;
 б) a small fishing boat tows boats

На рис. 1 изображена схематизация выражения:

$$P_p \geq R_x, \quad (1)$$

где для варианта (а) судно-буксировщик, т. е. малый рыболовный траулер, который буксирует трал с заданной скоростью v и создает его агрегатное сопротивление R_x ; для варианта (б) судно буксировщик, т. е. малый рыболовный бот, буксирующий лодки с заданной скоростью v , которая позволяет перевозить улов с ми-

нимальными затратами на топливо и обеспечивает безопасность перевозок, при этом создает сопротивление лодок R_x .

Выражение (1) представим в виде

$$P_p(v) \geq R_x(v), \quad (2)$$

при условии, что P_p и R_x зависят от скорости буксировки v для одних и тех же тралов и лодок при постоянном раскрытии устья трала и постоянной осадке лодок.

Для маломерного флота крайне важна информация о располагаемой тяге рыболовных судов, а также транспортных судов, которые задействованы в процессе буксировки рыболовных лодок как в прибрежной зоне, так и во внутренних водоемах Российской Федерации. На сегодняшний день состояние маломерного рыболовного флота характеризуется наличием устаревших судов, которые требуют постоянного ремонта и технического обслуживания. В связи с этой ситуацией Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин поддержал инициативу о необходимости обновления маломерного флота, касающуюся Балтийского, Каспийского и Азово-Черноморского бассейнов. Данная инициатива была озвучена руководителем рыболовецкого колхоза Калининградской области на встрече с представителями агропромышленного комплекса, состоявшейся 5 марта 2024 года. Одной из ключевых характеристик, определяющих эффективность рыболовного судна, является его располагаемая тяга, которая непосредственно влияет на маневренность и безопасность судна в ограниченных водных пространствах, однако не всегда возможно точно определить располагаемую тягу маломерного судна, основываясь на математических зависимостях, поскольку в математическую модель включаются эмпирические коэффициенты, полученные не для всего диапазона характеристик различных типов рыболовных судов, их двигателей и типов винтов. Это обстоятельство значительно ограничивает возможности использования математического аппарата для обоснования и точного расчета располагаемой тяги рыболовного маломерного судна, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований в данной области.

Располагаемую тягу судна P_p можно оценить приближенно, без учета ветрового сопротивления надводной части корпуса, волнового сопротивления подводной части, а также без учета присоединенных масс воды:

$$P_p(v) = Z_0 - R_{xc}(v), \quad (3)$$

где Z_0 – тяга на швартовых; $R_{xc}(v)$ – сопротивление подводной части корпуса судна.

Тяга на швартовых Z_0 является первичным фактором для обоснования располагаемой тяги судна P_p , причем данный фактор зависит от параметров:

$$Z_0 = f(N_n, n_e), \quad (4)$$

где N_n – полезная мощность на валу главного двигателя; n_e – тип винта, который характеризует количество лопастей и шаг винта h .

Полезная мощность на валу главного двигателя определяется выражением

$$N_n = M\omega, \quad (5)$$

где M – крутящий момент на валу главного двигателя; ω – угловая скорость вала.

Коэффициент полезного действия оценивается по выражению

$$\eta = \frac{N_n}{N}, \quad (6)$$

где N – мощность двигателя.

Угловую скорость вала находим по формуле

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (7)$$

где n – количество оборотов вала в минуту.

Сопротивление подводной части корпуса судна $R_{xc}(v)$ определяется на основании модельных опытов в бассейнах [8] или с помощью компьютерных программ. В нашем случае были проведены опыты с моделью катамарана в опытовом бассейне Калининградского государственного технического университета (ФГБОУ ВО «КГТУ»). Характеристики модели катамарана ПК-1 указаны в табл. 1.

Таблица 1. Геометрические и конструктивные характеристики катамарана ПК-1
Table 1. Geometric and structural characteristics of the catamaran FC-1

Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Материал корпуса
0,645	0,6	0,097	Стеклопластик, пеноплекс, деревянные балки

На рис. 2 изображен промышленный катамаран ПК-1.



Рис. 2. Модель катамарана ПК-1
Fig. 2. Catamaran model FC-1

В специализированной программе Maxsurf Resistance [9] также были определены значения сопротивления подводной части корпуса катамарана [8].

Для обоснования методики сопряжения тяги на швартовых маломерного рыболовного судна и агрегатного сопротивления траловой системы необходимо составить блок-схему основных систем промыслового катамарана (рис. 3).

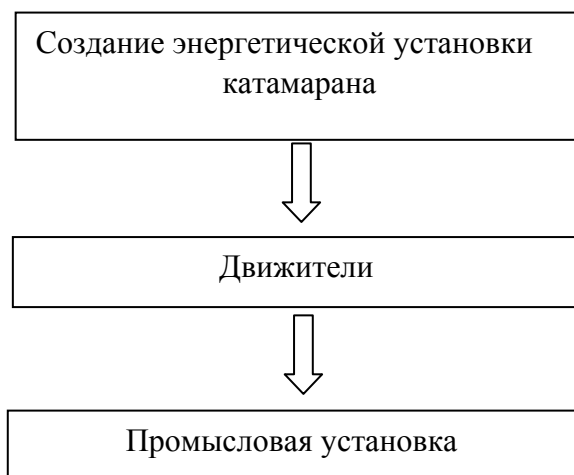


Рис. 3. Блок-схема основных систем промыслового катамарана
Fig. 3. Block diagram of the main systems of a fishing catamaran

ПРОЕКТНЫЕ РАБОТЫ

Создание промыслового катамарана ПК-1 выполнялось на основании всех процедур проектирования рыболовного судна, причем учитывалось важное обстоятельство: энергетическая установка – это аккумуляторы постоянного тока на 21 В, а двигатели – это электродвигатели постоянного тока на 21 В. Всего электродвигателей на катамаране шесть штук, по три на каждую лодку, из которых состоит ПК-1. Траловые лебедки включали электромоторы на 12 В и редукторы.

На рис. 4 изображен промысловый катамаран ПК-1 с двигателями, аккумуляторами и траловыми лебедками.



Рис. 4. Модель катамарана ПК-1 с двигателями, аккумуляторами и траловыми лебедками

Fig. 4. Catamaran model FC-1 with propellers, batteries and trawl winches

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты по определению тяги на швартовых катамарана выполнялись в малом бассейне ФГБОУ ВО «КГТУ» (рис. 5).



Рис. 5. Малый бассейн ФГБОУ ВО «КГТУ»
Fig. 5. Small pool at FSEI HE "KSTU"

Для проведения опытов использовался измерительный комплекс МІС-200 (рис. 6).



Рис. 6. Измерительный комплекс МІС-200
Fig. 6. Measuring complex MIC-200

Рассмотрим тягу на швартовых ПК-1 (табл. 2).

Таблица 2. Тяга на швартовых ПК-1

Table 2. Mooring pull of FC-1

Тип винта, диаметр винта D , мм	Количество лопастей n_6	Количество моторов n_m	Тяга на швартовых Z_0 Н	Максимальная скорость v_{max} , м/с	Относительный шаг винта h
 $D=39$ мм	3	2	2,0	0,35	0,018
		4	4,0	0,5	0,027
		6	6,0	0,55	0,029

Для сопоставления тяги на швартовых с номинальной мощностью на валу электромотора необходимо рассчитать относительный шаг винта при максимальной скорости движения модели судна:

$$h = \frac{v_{max}}{nD}, \quad (8)$$

где v_{max} – максимальная скорость судна; D – диаметр винта.

Из табл. 2 видно, что тяга на швартовых увеличивается пропорционально увеличению количества моторов.

Согласно данным [8], полученным по итогам исследования сопротивления подводной части катамарана, определим его коэффициент сопротивления c_x :

$$c_x = \frac{2R_{xc}}{\rho v^2 \Omega}, \quad (9)$$

где ρ – плотность воды 1000 кг/м^3 ; v – скорость судна; Ω – площадь подводной части корпуса катамарана.

В опытовом бассейне ФГБОУ ВО «КГТУ» проведены исследования гидродинамических характеристик модели катамарана с учетом методики выполнения опытов с корпусами моделей судов [8, 10]. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний катамарана ПК-1

Table 3. Test results of the catamaran FC-1

Скорость v , м/с	Сопротивление R_{xc} , Н
0	0
0,99	0,19
1,52	0,54
2,51	0,69

Примечание: расстояние от бортов – 75 мм.

Результаты расчетов сведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчетов
Table 4. Calculation results

v , м/с	$Re=Lv/U$ 10^6	$Fr=v/\sqrt{gL}$	c_x 10^{-3}
0,99	0,63	0,398	1,2
1,52	0,96	0,596	1,8
2,51	1,60	0,994	0,8

Примечание: c_x – коэффициент полного сопротивления подводной части катамарана. Площадь смоченной поверхности катамарана без выступающих частей соответствовала $\Omega=0,31 \text{ м}^2$, плотность воды – $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$.

Воздушным сопротивлением модели катамарана пренебрегаем. Коэффициент кинематической вязкости воды в опытовом бассейне и гидроканале при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ составил $\nu=1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Экспериментальные исследования проводились в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «КГТУ» (рис. 7) и гидроканале «Фишеринг Сервис» (рис. 8) с моделью разноглубинного трала 1,65/6 м.



Рис. 7. Эксперименты в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «КГТУ»
Fig. 7. Experiments in the experimental pool of FSEI HE "KSTU"

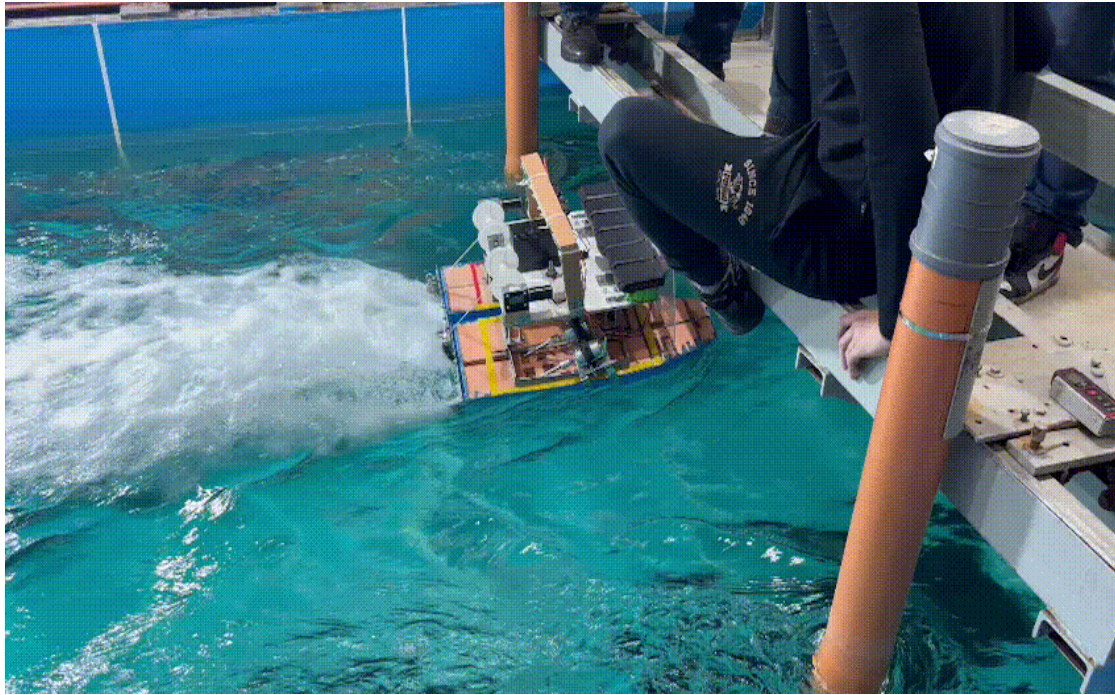


Рис. 8. Эксперименты в гидроканале «Фишеринг Сервис»
Fig. 8. Experiments in the «Fishing Service» hydrochannel

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана методика обоснования тяги на швартовых маломерного рыболовного судна, предназначенная для применения в расчетах располагаемой тяги судна. Обоснованы экспериментальные исследования характеристик корпуса катамарана и его движительной установки.

Получены следующие результаты:

1. На методическом уровне прописаны задачи и пути решения проблемы обоснования тяговых характеристик промыслового катамарана.
2. Сопоставлены результаты экспериментальных исследований с методическим уровнем.
3. Обоснована методика получения тяги на швартовых рыболовного маломерного судна.

Список источников

1. Каменский Е. В., Терентьев Г. Б. Траулеры и сейнеры. Ленинград: Судостроение, 1978. 216 с.
2. Коршунов Л. П. Энергетические установки траулеров. Государственное союзное издательство судостроительной промышленности, 1963. 296 с.
3. Бронников А. В. Проектирование судов. Ленинград: Судостроение, 1991. 320 с.
4. Севастьянов Н. Б., Раков А. И. Проектирование промысловых судов. Ленинград: Судостроение, 1981. 374 с.
5. Афрамеев Э. А., Рабинович Я. С. Некоторые гидродинамические особенности катеров-катамаранов // Судостроение. 1977. № 70. С. 56–58.
6. Колончин К. В., Левашов Д. Е. Особенности конструкции и оснащения современных зарубежных маломерных НИС-катамаранов, используемых в рыбохозяйственных целях // Рыбное хозяйство. 2023. № 3. С. 88–95.
7. Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Насенков П. В., Коновалова К. В., Волошин А. А. Приближенное обоснование тяги на швартовых маломерного рыболовного судна // Материалы XII Международного Балтийского морского форума 30 сентября – 04 октября 2024 года «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», XII Международная научная конференция. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ». 2024. С. 247–251.
8. Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Чуреев Е. А. Экспериментальные исследования катамарана // Известия Калининградского государственного технического университета. 2024. № 72. С. 105–114.
9. Официальный сайт Maxsurf Resistance. URL: [https:// maxsurf.net/resistance-and-power-requirements](https://maxsurf.net/resistance-and-power-requirements) (дата обращения: 14.08.2024).
10. Недоступ А. А., Дятченко С. В., Сергеев Е. И., Насенков П. В., Ражев А. О. Натурные эксперименты, физическое и имитационное моделирование гидродинамики корпуса катамарана, состоящего из двух моторных лодок типа «Wyatboat-430» // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 3 (1). С. 308–315.

References

1. Kamenskiy E. V., Terent'ev G. B. *Traulery i seynery* [Trawlers and seiners]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1978, 216 p.
2. Korshunov L. P. *Energeticheskie ustanovki traulerov* [Trawler Propulsion Systems]. Gosudarstvennoe soyuznoe izdatel'stvo sudostroitel'noy promyshlennosti Publ., 1963, 296 p.
3. Bronnikov A. V. *Proektirovanie sudov* [Ship design]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1991, 320 p.
4. Sevast'yanov N. B., Rakov A. I. *Proektirovanie promyslovykh sudov* [Design of fishing vessels]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1981, 374 p.
5. Aframeev E. A., Rabinovich Ya. S. Nekotorye gidrodinamicheskie osobennosti katerov-katamaranov [Some hydrodynamic features of catamaran boats]. *Sudostroenie*, 1977, no. 70, pp. 56–58.

6. Kolonchin K. V., Levashov D. E. Osobennosti konstruktсии i osnashcheniya so-vremennykh zarubezhnykh malomernykh NIS-katamaranov, ispol'zuemykh v rybokho-zyaystvennykh tselyakh [Features of the design and equipment of modern foreign small-sized research vessel-catamarans used for fishery purposes]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2023, no. 3, pp. 88–95.

7. Nedostup A. A., Sergeev E. I., Nasenkov P. V., Konovalova K. V., Voloshin A. A. Priblizhennoe obosnovanie tyagi na shvartovykh malomernogo rybolovnogo sudna [Approximate justification of the traction on the mooring lines of a small fishing vessel]. *Materialy XII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 30 sentyabrya – 04 oktyabrya 2024 goda «Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoy industrii», XII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* [Proc. of the XII International Baltic Maritime Forum September 30 – October 04, 2024 "Marine Engineering and Technology. Safety of the Maritime Industry", XII International Scientific Conference]. Kaliningrad, Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2024, pp. 247–251.

8. Nedostup A. A., Sergeev E. I., Chureev E. A. Eksperimental'nye issledovaniya katamarana [Experimental studies of a catamaran]. *Izvestiya KGTU*, 2024, no. 72, pp. 105–114.

9. Ofitsial'nyy sayt Maxsurf Resistance [Official website of Maxsurf Resistance]. Available at: [https:// maxsurf.net/resistance-and-power-requirements](https://maxsurf.net/resistance-and-power-requirements) (accessed 14 August 2024).

10. Nedostup A. A., Dyatchenko S. V., Sergeev E. I., Nasenkov P. V., Razhev A. O. Naturnye eksperimenty, fizicheskoe i imitatsionnoe modelirovanie gidrodinamiki korpusa katamarana, sostoyashchego iz dvukh motornykh lodok tipa «Wyatboat-430» [Full-scale experiments, physical and simulation modeling of hydrodynamics of the catamaran hull, consisting of two motor boats of the type "Wyatboat-430"]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2024, no. 3 (1), pp. 308–315.

Информация об авторах

А. А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

Е. И. Сергеев – аспирант кафедры промышленного рыболовства

П. В. Насенков – старший преподаватель кафедры промышленного рыболовства

К. В. Коновалова – ведущий инженер кафедры промышленного рыболовства

А. А. Волошин – магистрант кафедры промышленного рыболовства

Е. А. Анфилофьев – магистрант кафедры промышленного рыболовства

К. В. Афиногенов – магистрант кафедры промышленного рыболовства

К. А. Терентьева – магистрант кафедры промышленного рыболовства

Information about the authors

A. A. Nedostup – PhD, Associate Professor, head Department of Commercial Fisheries

E. I. Sergeev – Postgraduate Student of the Department of Commercial Fisheries

P. V. Nasenkov – Senior Lecturer of the Department of Commercial Fisheries

K. V. Konovalova – Leading Engineer of the Department of Commercial Fisheries

A. A. Voloshin – Master's Student of the Department of Commercial Fisheries

E. A. Anfilofyev – Master's Student of the Department of Commercial Fisheries

K. V. Afinogenov – Master's Student of the Department of Commercial Fisheries

K. A. Terentyeva – Master's Student of the Department of Commercial Fisheries

Статья поступила в редакцию 04.03.2025; одобрена после рецензирования 10.03.2025; принята к публикации 13.03.2025.

The article was submitted 04.03.2025; approved after reviewing 10.03.2025; accepted for publication 13.03.2025.