

Научная статья
УДК 629.12
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-76-82>
EDN DXQFSW

Результаты разработки и испытаний на прочность элементов судовых конструкций из композиционных материалов

***Сергей Вячеславович Власов[✉], Константин Евгеньевич Хмельницкий,
Анатолий Рашидович Рубан***

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, vlas120180@rambler.ru[✉]*

Аннотация. В настоящее время композиционные материалы на основе армирующих компонентов из стекловолокна или углеродного волокна, связанных смолами, используются для изготовления элементов судовых конструкций, что связано с меньшим весом конструкций, по сравнению со стальными, и сохранением высоких прочностных свойств. Требования к композиционным материалам приводятся в ряде нормативных документов, включая «Правила классификации и постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства. Проблемой для широкого применения композиционных материалов в судостроении является их высокая стоимость и большие затраты на изготовление из них требуемых элементов. Требуется поиск новых, более дешевых видов материалов и упрощение технологии изготовления из них судовых конструкций, но с обеспечением требуемых прочностных характеристик и соответствия другим требованиям, предъявляемым к применяемым в судостроении материалам. Приводятся результаты авторской разработки элементов конструкций из композиционного материала двух составов: первый – эпоксидный компаунд Noарох 7550, отвердитель и полимерная нить; второй – эпоксидный клей ЭДП и полимерная нить. В результате были изготовлены листовые конструкции (маты) толщиной до 5 мм, которые возможно применять для изготовления как корпусных элементов, так и элементов надстроек маломерных судов. Изготовление конструктивных элементов из композиционных материалов производилось на основе ручной контактной открытой формовки в лаборатории подвешенных лодочных моторов ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» с последующими испытаниями для определения фактических прочностных показателей в лаборатории по изучению износов и испытаниям материалов ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта». В результате проведенных испытаний серии из пяти образцов было установлено, что у композиционного материала на базе эпоксидного компаунда Noарох 7550 среднее значение параметра временного сопротивления при испытаниях на растяжение составило 22,8 МПа, среднее значение предела текучести – 21,2 МПа, а у материала на основе эпоксидного клея ЭДП средние значения этих параметров составили 15,1 и 9,3 МПа соответственно.

Ключевые слова: судостроение, композиционные материалы, полимерная нить, маломерное судно, контактное формование

Для цитирования: Власов С. В., Хмельницкий К. Е., Рубан А. Р. Результаты разработки и испытаний на прочность элементов судовых конструкций из композиционных материалов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 2. С. 76–82. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-76-82>. EDN DXQFSW.

Original article

The results of the development and testing of the strength of ship structures made of composite materials elements

Sergey V. Vlasov[✉], Konstantin E. Khmelnsky, Anatoly R. Ruban

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, vlas120180@rambler.ru[✉]*

Abstract. Currently, composite materials based on reinforcing components made of fiberglass or carbon fiber bonded with resins are used to manufacture elements of ship structures, which is associated with a lower weight of structures

compared to steel and the preservation of high strength properties. The requirements for composite materials are specified in a number of regulatory documents, including the "Rules for the Classification and Construction of Naval Vessels" of the Russian Maritime Register of Shipping. The problem for the widespread use of composite materials in shipbuilding is their high cost and high costs for manufacturing the required elements from them. It is necessary to search for new, cheaper types of materials and simplify the manufacturing technology of ship structures from them, but with the required strength characteristics and compliance with other requirements for materials used in shipbuilding. The results of the author's development of structural elements from a composite material of two compositions are presented: the first is the epoxy compound Noapox 7550, a hardener and a polymer thread; the second is the epoxy adhesive EDP and a polymer thread. As a result, sheet structures (mats) with a thickness of up to 5 mm were produced, which can be used for the manufacture of both hull elements and superstructure elements of small vessels. The manufacture of structural elements from composite materials was carried out on the basis of manual contact open forming in the laboratory of outboard motors of the Astrakhan State Technical University with subsequent tests to determine the actual strength parameters in the laboratory for the study of wear and testing of materials of the Volga State University of Water Transport. As a result of the tests of a series of five samples, it was found that the composite material based on the epoxy compound Noapox 7550 had an average value of the time resistance parameter during tensile testing of 22.8 MPa, the average value of the yield strength of 21.2 MPa, and the material based on epoxy adhesive EDP, the average values of these parameters were 15.1 and 9.3 MPa, respectively.

Keywords: shipbuilding, composite materials, polymer thread, small vessel, contact molding

For citation: Vlasov S. V., Khmel'nitsky K. E., Ruban A. R. The results of the development and testing of the strength of ship structures made of composite materials elements. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2025;2:76-82.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-76-82>. EDN DXQFSW.

Введение

Наиболее часто в судостроении применяются полимерные композиционные материалы, которые, согласно нормативным документам Российского морского регистра судоходства (РМРС) «Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов», пункт 1.2.2 [1], и «Правила классификации и постройки морских судов. Часть XIII. Материалы» [2], имеют в своем составе армирующие соединения и полимерную матрицу.

Согласно пункту 2.1.1 [1], требования РМРС распространяются на материалы, которые имеют в своем составе наполнители из стеклянных (или углеродных, арамидных) волокон и полимерные смолы. Данный вид материалов используется для изготовления корпусных и надстроечных элементов судов (как маломерных, так и большого водоизмещения). Композиционные материалы, которые предполагается использовать в судостроении, должны получить одобрение в РМРС, для чего необходимо пройти ряд обязательных типовых испытаний и проверок. Технология изготовления судовых конструкций из полимерных композиционных материалов должна, согласно пункту 2.1.2 [1], обеспечить стабильное качество продукции и возможность использования механизированных средств производства.

Вместе с тем ряд исследователей [3–7] отмечают, что для широкого применения полимерных композиционных материалов в судостроении необходимо снизить стоимость изготовления из них судовых конструкций.

Цель исследования – изготовить элементы судовых

конструкций из композиционных материалов и произвести их испытания на прочность в соответствии с требованиями РМРС.

Задачи исследования:

- изучить требования РМРС к полимерным композиционным материалам и их характеристикам;
- изготовить образцы судовых листовых конструкций из полимерных композиционных материалов;
- произвести сравнительные испытания изготовленных образцов полимерных композиционных материалов на прочность при растяжении и изгибе.

Методы и материалы исследования

В качестве методов исследования использовались анализ и физический эксперимент.

В статье [8] авторами были проработаны вопросы изготовления из полимерных композиционных материалов таких судовых конструкций, как элементы обшивки корпуса маломерного судна, корпуса надстроек, транцевые доски для крепления подвесных лодочных моторов, амортизационные элементы для крепления виброактивных механизмов и др. После проведения испытаний ряда полимерных композиционных материалов [8] максимальный предел прочности 3,7 Н/мм² при испытаниях на изгиб был достигнут при использовании композиционного материала со стеклянной фиброй (20 %) и полиэфирной смолой (80 %). Далее авторы приняли решение по изменению состава и пропорции полимерных композиционных материалов с целью повышения их прочностных характеристик.

В данном исследовании для изготовления листовых конструкций использовались полимерные

Власов С. В., Хмельницкий К. Е., Рубан А. Р. Результаты разработки и испытаний на прочность элементов судовых конструкций из композиционных материалов

композиционные материалы двух составов: первый – эпоксидный компаунд Noарох 7550 Medium (60 %), отвердитель (30 %) и полимерная нить (10 %); второй состав содержал эпоксидную смолу-универсал ЭД-20 (65 %), аминный отвердитель (30 %) и полимерную нить (5 %). Выбор данных составляющих связан с их широким распространением и достаточно низкой ценой, этим же обосновывается и выбор в качестве технологии изготовления открытого ручного контактного формования.

При изготовлении элементов из полимерных композиционных материалов учитывались требования РМРС [1] по относительной доле содержания армирующих материалов (в данном случае это отвердитель и полимерные нити) по массе в зависимости от методов формования. Так, при контактном формовании в полимерном композиционном материале содержание армирующих волокон должно быть не менее 0,3 – для стекломатов, 0,5 – для стекловолокна, 0,35 – для углеродного волокна.

Для соответствия требованиям по плотности укладки армирующих связей относительное содержание связующего материала в разных точках листов (матов) отличалось от среднего значения не более чем на 2 %. В качестве типовой конструкции листового элемента использовалась однослойная пластина. Изготовление конструктивных элементов из полимерных композиционных материалов производилось в лаборатории подвесных лодочных моторов ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» по технологии, ранее описанной авторами в статье [8]. Общий вид полученных образцов из полимерных композиционных материалов приведен на рис. 1, 2.



Рис. 1. Конструктивный элемент из полимерного композиционного материала

Fig. 1. Structural element made of polymer composite material



Рис. 2. Образцы из полимерных композиционных материалов для проведения испытаний

Fig. 2. Samples of polymer composite materials for testing

Вид серии образцов для отправки в лабораторию для испытаний приведен на рис. 3, а упакованных и отмаркированных образцов – на рис. 4.



Рис. 3. Вид серии образцов для отправки в лабораторию для испытаний

Fig. 3. View of a series of samples to be sent to the laboratory for testing



Рис. 4. Упакованные и отмаркированные образцы для испытаний

Fig. 4. Packaged and labeled test samples

Дополнительно авторами был произведен анализ научно-технической литературы [9–12] с примерами результатов уже выполненных испытаний полимерных композиционных материалов, используемых в судостроении и судоремонте. В результате было установлено, что наиболее целесообразным является проведение испытаний на прочностные характеристики, а затем уже на водопоглощение, противопожарные свойства и т. д. При неудовлетворительных результатах основных прочностных испытаний проведение остальных видов испытаний уже не представляется необходимым.

При испытаниях образцов из композиционных материалов учитывались требования пункта 2.3.1.9 [1], согласно которым изготовителем армирующих материалов или конструкций из полимерных композиционных материалов должны быть проверены ламинирующие свойства этих материалов путем изготовления из них пластин методом контактного формования и методом инфузии на основе выбранных полиэфирных и винилэфирных связующих.

Из этих пластин должны быть вырезаны образцы в основных направлениях армирования и испытаны по методикам международных и/или национальных стандартов или по другим методикам, согласованным с Регистром, для определения следующих характеристик:

- предел прочности и модуля нормальной упругости при растяжении;
- предел прочности при изгибе;
- предел прочности при межслойном сдвиге.

Испытания производились специалистами лаборатории по изучению износов и испытаниям материалов ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» (г. Астрахань) в соответствии с требованиями ГОСТ 11262-2017 [13] и ГОСТ 4648-2014 [14] на испытательной универсальной машине ТРМ-П 100А1 Tochtline и поверенными средствами измерений (рис. 5, 6).

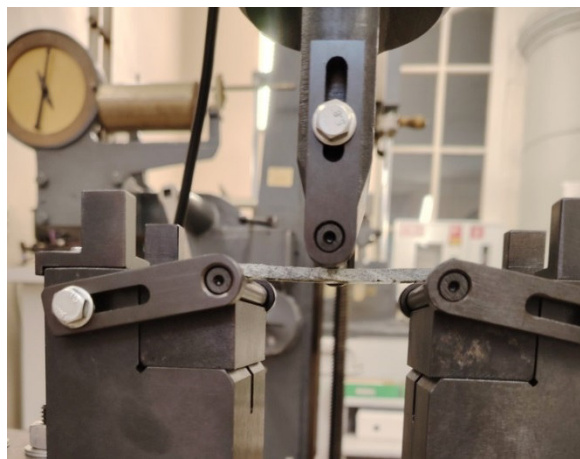


Рис. 5. Испытания образцов на изгиб

Fig. 5. Bending tests of samples



Рис. 6. Испытания образцов на растяжение

Fig. 6. Tensile testing of samples

Испытания образцов производились в равных условиях при температуре 21 °С и относительной влажности 67 %.

Результаты исследования

В результате проведения испытаний были получены нижеследующие прочностные характеристики полимерных композиционных материалов обоих составов (количество образцов для испытаний составляло 5 шт. для каждого состава). Результаты ис-

пытаний приведены в таблице, сформированной по протоколам № 352цр, № 353из, № 353цр, № 354из, № 355из от 22.10.2024 и др., выданным лабораторией по изучению износов и испытаниям материалов ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» (г. Астрахань).

Результаты испытаний серии композиционных материалов

Test results of a series of composite materials

Номер образца	1	2	3	4	5	Среднее
Состав № 1: эпоксидный компаунд Ноарох 7550, отвердитель и полимерная нить						
<i>Испытания на изгиб</i>						
Предел прочности, Н/мм ²	3,8	3,7	3,8	3,6	3,9	3,8
<i>Испытания на растяжение</i>						
Временное сопротивление, МПа	22,7	22,8	22,6	22,9	23,0	22,8
Предел текучести, МПа	21,2	21,6	21,0	20,8	21,4	21,2
Состав № 2: эпоксидный клей ЭДП и полимерная нить						
<i>Испытания на изгиб</i>						
Предел прочности, Н/мм ²	4,1	4,2	4,1	4,0	3,9	4,1
<i>Испытания на растяжение</i>						
Временное сопротивление, МПа	15,1	15,0	15,3	15,2	15,0	15,1
Предел текучести, МПа	9,2	9,1	9,4	9,3	9,4	9,3

Далее результаты представлены в виде средних значений для каждого объема выборки.

Для композиционного материала состава № 1: эпоксидный компаунд Ноарох 7550, отвердитель и полимерная нить:

1. Испытания на изгиб: предел прочности – 3,8 Н/мм² при максимальной нагрузке 72 Н.

2. Испытания на растяжение:
- максимальная нагрузка – 2 520 Н;
 - временное сопротивление – 22,8 МПа;
 - предел текучести – 21,2 МПа.

Для композиционного материала состава № 2: эпоксидный клей ЭДП и полимерная нить:

1. Испытания на изгиб: предел прочности – 4,1 Н/мм² при максимальной нагрузке 108 Н.

2. Испытания на растяжение:
- максимальная нагрузка – 1 980 Н;
 - временное сопротивление – 15,1 МПа;
 - предел текучести – 9,3 МПа.

Согласно полученным результатам, при использовании эпоксидного компаунда Ноарох 7550 и отвердителя временное сопротивление – больше на 51 %, а предел текучести – на 128 %, чем при использовании эпоксидного клея ЭДП. Предел прочности при изгибе у второго варианта композиционного материала – на 7,8 % выше, чем у первого. В то же время предел прочности новых материалов выше, чем при ранее используемом материале со стеклянной фиброй и полиэфирной смолой, соответственно, для материала первого варианта – на 3 %, а для второго – на 11 %.

Очевидно, что более высокие значения времен-

ного сопротивления и предела текучести у полимерного композиционного материала состава № 1 позволяют говорить о большей применимости его для изготовления элементов судовых конструкций, в отличие от материала состава № 2.

Если сравнить полученные результаты с нормами в отношении предела прочности на растяжение (которое соответствует временному сопротивлению материала), которые предъявляются РМРС [1], то для материалов на основе стекловолокна он должен быть не менее 63 МПа, а для углеродного волокна – не менее 85 МПа. Однако, поскольку в качестве основы в обоих вариантах композиционного материала использовалась полимерная нить, то возможно применение указанных выше материалов не для корпусных конструкций, а для вспомогательных, что требует проведения дальнейших исследований и обоснования для согласования области применения данных материалов в судостроении РМРС и Российским классификационным обществом (РКО). Например, формование с применением препрегов допускается применять для судов с длиной корпуса до 15 м и других конструкций, согласованных с Регистром.

Выводы

1. Применение распространенных компонентов типа эпоксидных клеев ЭДП или компаундов Ноарох 7550 для получения полимерных композиционных материалов низкой стоимости не позволяет получить материалы с требуемыми прочностными характеристиками для изготовления основ-

ных судовых конструкций. Например, требуемый минимальный уровень предела прочности при растяжении для первого варианта композиционного материала ниже нормы для стекловолоконных полимерных материалов в 2,8 раза, а для второго варианта состава – в 4,2 раза.

2. Сравнительные испытания свидетельствуют о том, что применение эпоксидных компаундов Ноарох 7550 с отвердителем и полимерной нити позволяет на 51 % повысить временное сопротивление материала и на 128 % увеличить предел текучести при растяжении по сравнению с первым составом. Предел прочности при изгибе снижается

при этом на 7,8 %, что (по мнению авторов) не является серьезным недостатком данного состава.

3. Применение полимерных композиционных материалов для изготовления корпусных судовых конструкций с прочностными характеристиками ниже норм, указанных в правилах классификационных обществ, возможно при условии согласования ими конкретной области судостроения или судовой энергетики, а также проведения требуемых испытаний не только на прочностные свойства, но и на вибропоглощение, пожарную безопасность, влагопоглощение и т. д.

Список источников

1. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов. СПб.: Изд-во РМРС, 2025. 168 с.

2. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XIII. Материалы. СПб.: Изд-во РМРС, 2025. 367 с.

3. Корбова А. А. Проектирование легкой катерной надстройки из полимерных композиционных материалов // Тр. Крыл. гос. науч. центра. 2020. Вып. 2. С. 242–249.

4. Цыварев М. В., Ветлугина А. С. Подходы к технологии изготовления оболочки маломерного судна из КМ с легким наполнителем методом вакуумной инфузии // Неделя науки Санкт-Петербург. гос. мор. техн. ун-та. 2022. № 1-1. Порядковый номер 94.

5. Петров П. Ю. Преимущества применения полимерных композитных материалов при изготовлении маломерных судов // Мор. вестн. 2021. № 4 (80). С. 11–12.

6. Leonidas Dokos. Выбор композитов для судостроения – глобальная перспектива. URL: https://composite.ru/files/vybor_kompozitov_dlya_sudostroeniya.pdf (дата обращения: 21.12.2024).

7. Мишкин С. И., Дориомедов М. С., Кучеровский А. И. Полимерные композиционные материалы в судостроении // Новости материаловедения. Наука и техника. 2017. № 1 (25). С. 60–70.

8. Рубан А. Р., Булгаков В. П., Хмельницкий К. Е., Власов С. В., Мельников А. В. Технология изготовления

образцов из композитных материалов для проведения лабораторных испытаний // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2024. № 2. С. 25–31.

9. Алсаид М., Саламех А., Мамонтов В. А. Исследование судостроительного полимерного композиционного материала на прочность // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 3. С. 543–553. DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-3-543-553.

10. Францев М. Э., Кирейнов А. В. Результаты сравнительных испытаний композиционных материалов судостроительного назначения на основе стеклянных и базальтовых волокон на полиэфирном связующем на водопоглощение // Трансп. системы. 2019. № 1 (11). С. 41–48.

11. Королев С. А., Назаров А. Г. Сравнительный анализ критериев местной прочности судовых конструкций из композиционных материалов // Науч. проблемы вод. трансп. 2022. № 73 (4). С. 45–56.

12. Мелешин М. А., Саламех Али, Алсаид Мазен. Опыт применения композитных материалов в судостроении // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 44–50.

13. ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2018. 20 с.

14. ГОСТ 4648-2014. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. М.: Стандартинформ, 2016. 25 с.

References

1. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' XVI. Konstruktsiia i prochnost' sudov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Rules of classification and construction of naval vessels. Part XVI. Construction and durability of vessels made of polymer composite materials]. Saint Petersburg, Izd-vo RMRS, 2025. 168 p.

2. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' XIII. Materialy* [Rules for the classification and construction of naval vessels. Part XIII. Materials]. Saint Petersburg, Izd-vo RMRS, 2025. 367 p.

3. Korbova A. A. Proektirovanie legkoi katernoii nadstroiki iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [Designing a lightweight boat superstructure made of polymer composite materials]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2020, iss. 2, pp. 242-249.

4. Tsyvarev M. V., Vetlugina A. S. Podkhody k tekhnologii izgotovleniia obolochki malomernogo sudna iz KM s legkim zapolnitelem metodom vakuumnoi infuzii [Approaches to the technology of manufacturing the shell of a small vessel from a light filler with a vacuum infusion method]. *Nedelia nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022, no. 1-1, poriadkovyi nomer 94.

5. Petrov P. Iu. Preimushchestva primeneniia polimernykh kompozitnykh materialov pri izgotovlenii malomernykh sudov [Advantages of using polymer composite materials in the manufacture of small vessels]. *Morskoi vestnik*, 2021, no. 4 (80), pp. 11-12.

6. Leonidas Dokos. *Vybor kompozitov dlia sudostroeniia – global'naia perspektiva* [The choice of compo-

sites for shipbuilding is a global perspective]. Available at: https://composite.ru/files/vybor_kompozitov_dlya_sudostroe_niya.pdf (accessed: 21.12.2024).

7. Mishkin S. I., Doriomedov M. S., Kucherovskii A. I. Polimernye kompozitsionnye materialy v sudostroenii [Polymer composite materials in shipbuilding]. *Novosti materialovedeniia. Nauka i tekhnika*, 2017, no. 1 (25), pp. 60-70.

8. Ruban A. R., Bulgakov V. P., Khmel'nitskii K. E., Vlasov S. V., Mel'nikov A. V. Tekhnologiya izgotovleniia obraztsov iz kompozitnykh materialov dlia provedeniia laboratornykh ispytaniy [The technology of manufacturing samples from composite materials for laboratory testing]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiya*, 2024, no. 2, pp. 25-31.

9. Alsaïd M., Salamekh A., Mamontov V. A. Issledovanie sudostroitel'nogo polimernogo kompozitsionnogo materiala na prochnost' [Investigation of shipbuilding polymer composite material for durability]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 543-553. DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-3-543-553.

10. Frantsev M. E., Kireinov A. V. Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy kompozitsionnykh materialov sudostroitel'nogo naznacheniia na osnove stekliannykh i ba-

zal'tovykh volokon na poliefirnom sviazuiushchem na vodopogloshchenie [Results of comparative tests of composite materials for shipbuilding purposes based on glass and basalt fibers on a polyether binder for water absorption]. *Transportnye sistemy*, 2019, no. 1 (11), pp. 41-48.

11. Korolev S. A., Nazarov A. G. Sravnitel'nyi analiz kriteriev mestnoi prochnosti sudovykh konstruktssii iz kompozitsionnykh materialov [Comparative analysis of the criteria of local strength of ship structures made of composite materials]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2022, no. 73 (4), pp. 45-56.

12. Meleshin M. A., Salamekh Ali, Alsaïd Mazen. Opyt primeniia kompozitnykh materialov v sudostroenii [Experience in the use of composite materials in ship-building]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiya*, 2022, no. 2, pp. 44-50.

13. GOST 11262-2017 (ISO 527-2:2012). *Plastmassy. Metod ispytaniia na rastiazhenie* [ISS 11262-2017 (ISO 527-2:2012). Plastics. Tensile testing method]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 20 p.

14. GOST 4648-2014. *Plastmassy. Metod ispytaniia na staticheskii izgib* [ISS 4648-2014. Plastics. Static bending test method]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 25 p.

Статья поступила в редакцию 28.03.2025; одобрена после рецензирования 07.05.2025; принята к публикации 21.05.2025
The article was submitted 28.03.2025; approved after reviewing 07.05.2025; accepted for publication 21.05.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Вячеславович Власов – аспирант кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; vlas120180@rambler.ru

Константин Евгеньевич Хмельницкий – кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства; Астраханский государственный технический университет; chuchera80@mail.ru

Анатолий Рашидович Рубан – кандидат технических наук, доцент; директор Института морских технологий, энергетики и транспорта; Астраханский государственный технический университет; a.ruban1974@mail.ru

Sergey V. Vlasov – Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; Astrakhan State Technical University; vlas120180@rambler.ru

Konstantin E. Khmel'nitsky – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation and Industrial Fishing; Astrakhan State Technical University; chuchera80@mail.ru

Anatoly R. Ruban – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Director of the Institute of Marine Technology, Energy and Transport; Astrakhan State Technical University; a.ruban1974@mail.ru

