

Научная статья  
УДК 629.5  
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-2-25-31>  
EDN TQOTXY

## Технология изготовления образцов из композитных материалов для проведения лабораторных испытаний

---

*А. Р. Рубан, В. П. Булгаков, К. Е. Хмельницкий<sup>✉</sup>, С. В. Власов, А. В. Мельников*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, [chuchera80@mail.ru](mailto:chuchera80@mail.ru)<sup>✉</sup>*

---

**Аннотация.** На основании наработанного опыта сотрудников института морских технологий, энергетики и транспорта ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» начато развитие направления производства различных деталей корпусов судов, элементов главных и вспомогательных энергетических установок, в том числе различных крепежных элементов и станин, при помощи аддитивной технологии и других способов формования композитных материалов. В ходе реализации разрабатываемого направления возникают вопросы снижения стоимости, веса изготовленных деталей и повышения характеристик звукопоглощения, звукоизоляции, виброизоляции и т. д. Несмотря на то что клеи на основе эпоксидной или полиэфирной смолы, согласно технической документации, являются клеями быстрого отверждения, они не применимы для производства деталей по технологиям трехмерной печати по нескольким причинам. Перечислены факторы, препятствующие использованию материалов для производства такого рода деталей: минимальное время отверждения одного слоя клея при оптимальных условиях составляет от полутора часов и выше, что заметно увеличивает межслойный временной интервал; слой из клея не является самонесущей конструкцией ввиду того, что во время индукционного периода находится в жидком состоянии; изготовленные изделия из данного клея без армирования не выдерживают требуемых динамических нагрузок. В процессе экспериментальных исследований получен ряд рецептур на основе полиэфирной смолы с разными наполнителями, которые имеют необходимую консистенцию, позволяющую наносить слои поверх предыдущего, не дожидаясь отверждения, а также содержат в своем составе необходимое количество армирующего материала и иных наполнителей, требуемых для решения задач, связанных с виброизоляцией и звукоизоляцией.

**Ключевые слова:** судно, шумоизоляция, виброизоляция, аддитивные технологии, полиэфирная смола, судостроение, судовые энергетические установки

**Для цитирования:** 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 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2024. № 2. С. 25–31. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-2-25-31>. EDN TQOTXY.

Original article

## Technology of manufacturing samples from composite materials for laboratory testing

---

*A. R. Ruban, V. P. Bulgakov, K. E. Khmel'nitsky<sup>✉</sup>, S. V. Vlasov, A. V. Melnikov*

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, [chuchera80@mail.ru](mailto:chuchera80@mail.ru)<sup>✉</sup>*

---

**Abstract.** Based on the accumulated experience of the staff of the Institute of Marine Technologies, Energy and Transport of the Astrakhan State Technical University, the development of the production of various parts of ship hulls, elements of main and auxiliary power plants, including various fasteners and stanchions, using additive technology and other methods of forming composite materials has begun. During the implementation of the developed direction, issues arise of reducing the cost, weight of manufactured parts and improving the characteristics of sound absorption, sound insulation, vibration isolation, etc. Despite the fact that adhesives based on epoxy or polyester resin, according to technical documentation, are fast-curing adhesives, they are not applicable for the production of products

using three-dimensional printing technologies. for several reasons. The factors preventing the use of materials for the production of such parts are listed: the minimum curing time of one layer of glue under optimal conditions is from one and a half hours or more, which significantly increases the interlayer time interval; the glue layer is not a self-supporting structure due to the fact that it is in a liquid state during the induction period; products made of this adhesive without reinforcement cannot withstand the required dynamic loads. In the process of experimental studies, a number of formulations based on polyester resin with different fillers were obtained, which have the necessary consistency to apply layers on top of the previous one without waiting for curing, and also contain the necessary amount of reinforcing material and other fillers required to solve problems related to vibration isolation and sound insulation.

**Keywords:** ship, noise insulation, vibration isolation, additive technologies, polyester resin, shipbuilding, marine power plants

**For citation:** Ruban A. R., Bulgakov V. P., Khmel'nitsky K. E., Vlasov S. V., Melnikov A. V. Technology of manufacturing samples from composite materials for laboratory testing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2024;2:25-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-2-25-31>. EDN TQOTXY.

### Введение

Широкое применение композитных материалов на основании клеев из полиэфирных и эпоксидных смол в разных областях промышленности и техники приводит к необходимости совершенствования существующих методов изготовления из них различных изделий. В настоящее время специалисты выделяют такие методы, как контактное (ручное) формование, вакуумное формование, вакуумная инфузия, формование с подачей смолы, автоклавное формование, намотка нитей, прессование композитов, склейка композитов и др. [1–3]. В данной исследовательской работе приводится наиболее оптимальный для лабораторных исследований способ изготовления различных образцов на основе полиэфирной смолы с различными наполнителями. Основной состав композитного материала для изготовления образцов выбирался на основе рекомендаций, приведенных в «Правилах классификации и постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства [4], дополнительные составляющие и наполнители выбирались исходя из дальнейшего применения готовых изделий для решения задач, связанных с вибро- и звукоизоляцией. Консистенцию готового материала для формования изделий выбирали из соображений, что готовая клеевая субстанция с наполнителями должна быть, с одной стороны, достаточно жидкой, чтобы при создании определенного давления она могла беспрепятственно проходить по трубопроводу и выходить через сопло формирователя, а с другой – иметь достаточную вязкость, позволяющую создавать многослойную самонесущую конструкцию, не дожидаясь полного отверждения предыдущего слоя.

### Описание конструкции лабораторного стенда для изготовления образцов

Основа производственного стола была изготовлена из профильной трубы квадратного сечения, царга выполнена из профильной трубы прямоугольного сечения. Металлический каркас скреплен сварным соединением и окрашен ударопроч-

ным порошково-полимерным покрытием. Столешница длиной 1 200 мм и шириной 500 мм выполнена из ламинированной древесно-стружечной плиты ЛДСП Е2 толщиной 16 мм и крепится к металлическому каркасу с помощью скрытых металлических футорок без выступающих на рабочей поверхности болтов. Для удобства длительной работы с образцами в положении человека стоя высота производственного стола была подобрана с учетом рекомендаций и составляет 860 мм. Ножки производственного стола имеют пластиковые заглушки для предотвращения порчи напольного покрытия.

Для избегания склеивания готовых образцов с поверхностью стола в качестве разделителя сверху стол покрывается стрейч-пленкой, нейтральной к жирам, кислотам, щелочам, с температурой начала деформации не ниже 250 °С, т. к. не исключается процесс закипания полиэфирной смолы, сопровождающийся повышением температуры клея. Прежде чем покрыть столешницу стрейч-пленкой, ее промазывают кистью машинным маслом, которое обеспечивает адгезию поверхности столешницы и пленки, исключая образование пузырей, которые (исходя из первых опытов) приводят к образованию неравномерности наружного слоя образца, что влияет на различие толщины в разных точках.

Сверху на пленку накладываются металлические полосы с прямоугольным поперечным сечением толщиной 4,2 мм (толщина металлических полос была подобрана из расчета усадки в период индукции материала на 5 %) в виде прямоугольников, создавая на производственном столе емкости требуемого размера (рис. 1).

Металлические полосы окрашены гладкой глянцевой эмалью, которая при высыхании не имеет видимых оптических дефектов и волокон, что позволяет снизить адгезию клеевой субстанции и упрощает съем готового материала из формы.

Металлические полосы по краям фиксируются на столешнице ручными зажимами в виде F-образных струбцин (рис. 2).

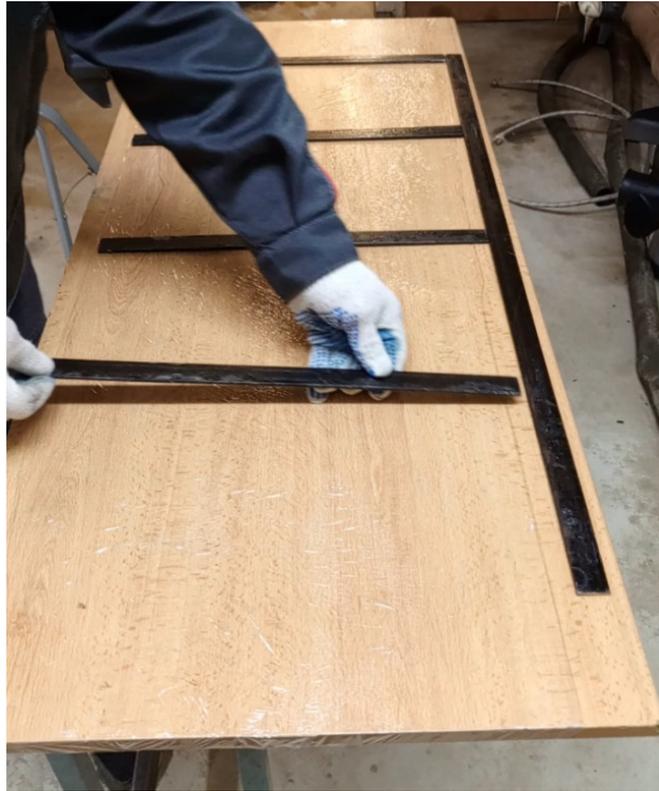


Рис. 1. Установка металлических полос на производственный стол

Fig. 1. Installation of metal strips on the production table

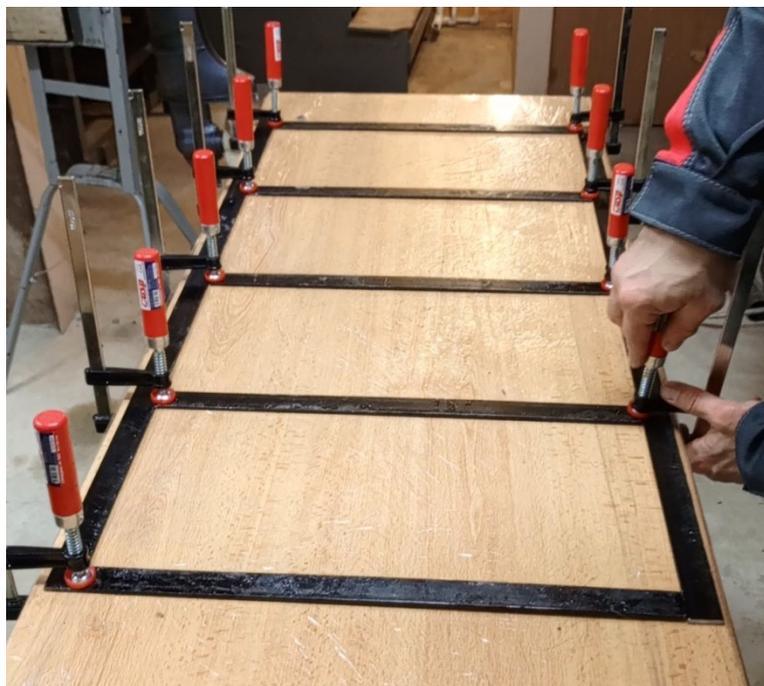


Рис. 2. Крепление металлических полос струбцинами к столешнице

Fig. 2. Fastening of metal strips with clamps to the table top

Губка струбцин имеет пластиковый пятак, который захватывает края двух перпендикулярно лежащих полос, тем самым создается плотное прилегание формы к столешнице и исключается протекание.

### **Изготовление образцов**

Согласно «Правилам классификации постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства [4], материалы, используемые при постройке судов, армированные стекловолокном на 50 % по массе от готового изделия, должны отвечать следующим основным характеристикам:

- модуль нормальной упругости – 16 ГПа (при армировании тканью); 30 ГПа (при армировании лентой);
- предел прочности при растяжении – 250 МПа (при армировании тканью); 550 МПа (при армировании лентой);
- предел прочности при сжатии – 200 МПа (при армировании тканью); 300 МПа (при армировании лентой).

Соответственно, для лабораторных испытаний потребовались образцы следующих конфигураций:

1. Для определения модуля нормальной упругости, согласно ГОСТу [5], образец был выполнен в виде пластины длиной 80 мм, шириной 10 мм и толщиной 4 мм.
2. Для определения предела прочности при сжатии, согласно ГОСТу [6], образец был выполнен в виде прямой призмы толщиной 4 мм, имеющей в основании квадрат с длиной граней 10 мм.
3. Для определения предела прочности при растяжении, согласно ГОСТу [7], образец был выполнен в виде пластины длиной 250 мм, шириной 25 мм и толщиной 4 мм.

После сборки лабораторного стенда для изготовления образцов приготавливают клеевой материал с наполнителями и выкладывают в форму, образованную металлическими полосками, которые играют роль маяков при выравнивании правилом (рис. 3).

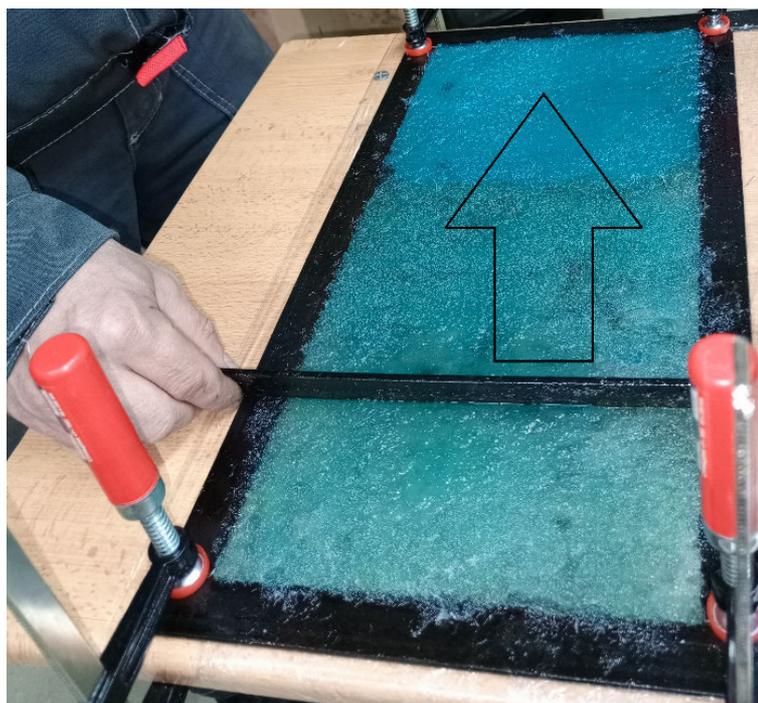


Рис. 3. Формование образцов (стрелкой указано направление движения правила)

Fig. 3. Forming samples (the arrow indicates the direction of movement of the rule)

Опираясь правилом на ребра соседних металлических полосок (маяков), производят протягивание, клеевой материал равномерно распределится по всей площади, излишки выдавливаются за пределы формы. Весь процесс должен занимать не более 10–12 мин, т. к. далее наблюдаются процессы желатинизации клеевой основы. После процесса формо-

вания заготовки оставляют в форме на 24 ч при температуре окружающей среды выше 18 °С.

По истечении времени полного отверждения заготовок из них изготавливаются образцы для испытаний путем резки пластин углошлифовальной машиной (рис. 4.)



Рис. 4. Подготовка образцов к испытаниям

Fig. 4. Preparation of samples for testing

Изготавливаемые образцы для испытаний на статический изгиб, сжатие и растяжение нумеруются и отдельно упаковываются. Подобная подготовка к исследованию образцов наблюдалась в работе [8].

#### Приготовление клеевого материала

Клеевой материал для приготовления образцов в своей основе содержит полиэфирную смолу ПН-1, смешиваемую в процессе приготовления с отвердителем «бутанокс» в пропорции 1:100. Далее в готовую клеевую массу добавляется армирующий компонент в виде фибры, т. е. измельченной стеклонити или полимерной нити длиной 4 мм, диаметром до 12 мкм. В момент смешивания добавка повышает вязкость клеевого материала, клеевой материал приобретает самонесущие свойства и не растекается. Также после отверждения армирующие добавки на основе фибры из стеклонити или полимерной нити увеличивают прочностные характеристики материала, показатели упругости, улучшают свойства затвердевшего материала. Армирование на основе фибры дает возможность равномерно распределиться ему в клеевом материале при хорошем перемешивании. Добавки на основе фибры из стеклонити или полимерной нити не подвержены коррозии, легко вводятся в смесь, гарантируя равномерное дисперсионное армирование. Наличие стеклонитей или полимерных нитей предупреждает появление микротрещин при пластичной усадке при отверждении образца. Количество армирующего материала вводилось в соответствии с «Правилами классификации постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства [4].

Также в качестве пластификатора в состав некоторых образцов была введена добавка в виде резиновой бутылкаучуковой крошки диаметром 0,5 мм. Ожидается, что введение в состав образцов резиновой бутылкаучуковой крошки, относящейся к резинам специального назначения с высоким сопротивлением к истиранию и стойкостью к химическому воздействию топлива, повысит свойства вибропоглощения и звукопоглощения за счет демпфирующих свойств резины.

В данном исследовании было произведено 4 различных материала с различным армированием и наполнителями:

1. Полиэфирная смола + отвердитель + армирование на основе фибры из стекловолкна.
2. Полиэфирная смола + отвердитель + армирование на основе фибры из полимерного волокна.
3. Полиэфирная смола + отвердитель + армирование на основе фибры из стекловолкна с наполнителем из резиновой крошки.
4. Полиэфирная смола + отвердитель + армирование на основе фибры из полимерного волокна с наполнителем из резиновой крошки.

После полного отверждения образцов было отмечено, что образцы, имеющие армирование в виде фибры из полимерного волокна, дали значительную усадку, образовав зазор по всему периметру формы в среднем на 3 мм, что составляет около 4,2 % (рис. 5). У этого образца после отверждения наблюдается также многочисленное поднятие волокон полимерной фибры, создающее эффект игольчатого покрова, который может давать дополнительное скрепление при проникновении в структуру следующего нанесенного слоя клеевого материала.

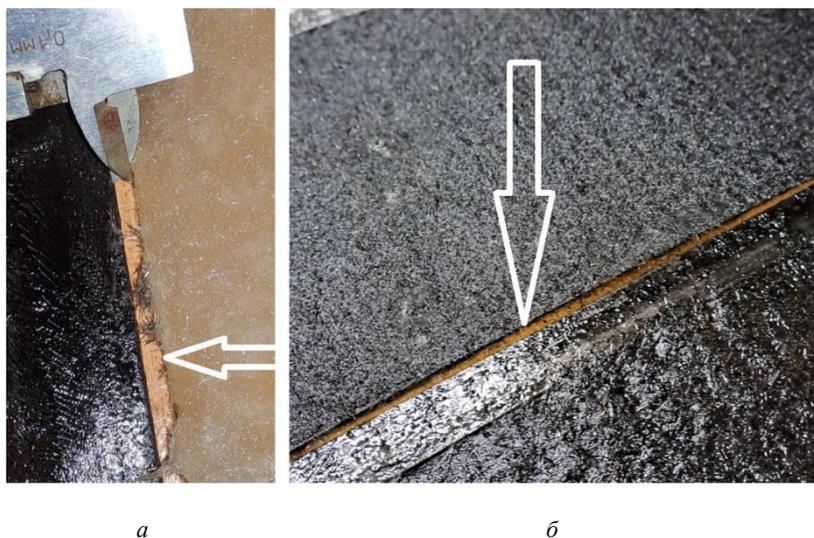


Рис. 5. Усадка образцов в форме: *а* – усадка образца с армированием на основе фибры из полимерного волокна; *б* – усадка образца с армированием на основе фибры из полимерного волокна с наполнителем из резиновой крошки

Fig. 5. Shrinkage of samples in the form: *a* – shrinkage of a sample with reinforcement based on polymer fiber; *b* – shrinkage of a sample with reinforcement based on polymer fiber with a filler made of rubber crumbs

Образцы, имеющие в своем составе армирующий материал из фибры из стекловолокна, не дали видимой усадки.

#### Заключение

Описанный в статье способ является достаточно удобным вариантом производства образцов для испытаний в связи с тем, что разработанный лабораторный стенд можно приспособить для изготовления листового материала любого размера и формы. Предполагается, что армирование на основе фибры из стекловолокна позволит добиться более

упругих конструкций по сравнению с материалами, изготовленными на основе фибры из полимера, но при одинаковой конфигурации этих образцов материал на основе фибры из полимерного волокна в среднем легче на 13,1 %. Использование резиновой крошки в качестве наполнителя может значительно снизить коэффициент модуля Юнга готового изделия, но может повысить свойства вибро- и звукоизоляции, поэтому данный материал можно использовать в вибро- и звукоизолирующих конструкциях, где прочностные свойства менее важны или не регламентируются нормативными документами.

#### Список источников

1. Петров П. Ю. Преимущества применения полимерных композитных материалов при изготовлении маломерных судов // Мор. вестн. 2021. № 4 (80). С. 11–12.
2. Цыварев М. В., Ветлугина А. С., Миронов М. Ю. Расчетно-экспериментальная оценка применимости экструдированного пенополистирола бытового назначения в трехслойных конструкциях корпуса маломерного судна // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2022. Т. 4. № 402. С. 75–84.
3. Цыварев М. В., Ветлугина А. С. Технология изготовления корпуса маломерного судна методами ручной формовки из многослойных композиционных материалов // Тр. Санкт-Петербург. гос. мор. техн. ун-та. 2023. № 1 (5). С. 120–132.
4. Правила классификации и постройки морских

- судов. Ч. XIII. Материалы. СПб.: Изд. РКО, 2019. 18 с.
5. ГОСТ 4648-71. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. М.: Изд-во стандартов, 1992. 4 с.
6. ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002). Пластмассы. Метод испытания на сжатие. М.: Стандартинформ, 2014. 3 с.
7. ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2018. 4 с.
8. Алсаид Мазен, Саламех Али. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 37–47. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.

#### References

1. 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.
2. Tsyvarev M. V., Vetlugina A. S., Mironov M. Iu. Raschetno-eksperimental'naia otsenka primenimosti ekstrudirovannogo penopolistirola bytovogo naznacheniiia v trekh-

sloinykh konstruktivnykh korpusa malomernogo sudna [Computational and experimental assessment of the applicability of extruded polystyrene foam for domestic use in three-layer structures of the hull of a small vessel]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2022, vol. 4, no. 402, pp. 75-84.

3. Tsyvarev M. V., Vetlugina A. S. Tekhnologiya izgotovleniya korpusa malomernogo sudna metodami ruchnoi formovki iz mnogosloinykh kompozitsionnykh materialov [The technology of manufacturing the hull of a small vessel using manual molding methods from multilayer composite materials]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta*, 2023, no. 1 (5), pp. 120-132.

4. *Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh sudov. Part XIII. Materialy* [Rules for the classification and construction of naval vessels. Part XIII. Materials]. Saint Petersburg, Izdanie RKO, 2019. 18 p.

5. GOST 4648-71. *Plastmassy. Metod ispytaniia na staticheskii izgib* [ISS 4648-71. Plastics. Static bending test method]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1992. 4 p.

6. GOST 4651-2014 (ISO 604:2002). *Plastmassy. Metod ispytaniia na szhatie* [ISS 4651-2014 (ISO 604:2002). Plastics. Compression test method]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 3 p.

7. 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. 4 p.

8. Alsaïd Mazen, Salamekh Ali. Obosnovanie primeniia mnogosloinykh kompozitnykh materialov v sudostroenii [Alsaïd Mazen, Salameh Ali. Justification of the use of multilayer composite materials in shipbuilding]. *Vestnik Astrakhan'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiya*, 2019, no. 2, pp. 37-47. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.

Статья поступила в редакцию 05.02.2024; одобрена после рецензирования 05.03.2024; принята к публикации 02.04.2024  
The article was submitted 05.02.2024; approved after reviewing 05.03.2024; accepted for publication 02.04.2024

#### Информация об авторах / Information about the authors

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

**Владимир Павлович Булгаков** – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; secmt@astu.org

**Vladimir P. Bulgakov** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering; Astrakhan State Technical University; secmt@astu.org

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

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

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

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

**Александр Викторович Мельников** – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры аквакультуры и водных биоресурсов; Астраханский государственный технический университет; melnikov@mtpo.ru

**Alexander V. Melnikov** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Aquaculture and Aquatic Bioresources; Astrakhan State Technical University; melnikov@mtpo.ru

