

Научная статья
УДК 629.12
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-28-36>
EDN JUCFUR

Обзор композиционных материалов, используемых в отечественном судостроении

Сергей Вячеславович Власов

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

Аннотация. Приводятся результаты обзора видов полимерных композиционных материалов, используемых в отечественном судостроении для производства корпусов судов и конструкций. Установлено, что строительство судов с длиной корпуса более 70 м из полимерных композиционных материалов в настоящее время не осуществляется по нескольким причинам: ограничение длины требованиями правил классификационных обществ, отсутствие единой общепризнанной мировой методики расчета параметров прочности корпусов судов из композитов, высокая стоимость, ограничения применения композитов требованиями международных конвенций и кодексов в области пожарной безопасности. Определено, что наиболее часто для изготовления судовых конструкций в отечественном судостроении используются полимерные композиционные материалы на основе стеклянных волокон и эпоксидной (или полиэфирной) смолы в качестве связующей среды. В качестве методов изготовления чаще всего применяется формование, а при наличии специального оборудования – вакуумная инфузия. Это связано с экономией затрат, необходимостью при производстве элементов судовых энергетических установок и конструкций внедрения сложных и дорогих систем вакуумной инфузии, систем вентиляции производственных помещений и обеспечением нагрева слоев из композиционных материалов. Со снижением стоимости таких материалов, как углепластик, армированных базальтом комплексов, углеводородного волокна и других, открывается перспектива применения композитов не только для маломерных, но и крупнотоннажных водоизмещающих судов для изготовления корпусных конструкций и надстроек, деталей двигателей внутреннего сгорания и других элементов. Рассматриваются такие недостатки полимерных композиционных материалов, как высокая стоимость, сложная утилизация и несоответствие пожароопасности, согласно требованиям международных морских кодексов и конвенций, что может являться направлением для будущих исследований.

Ключевые слова: судостроение, полимерные композиционные материалы, стеклопластик, углепластик, маломерное судно

Для цитирования: Власов С. В. Обзор композиционных материалов, используемых в отечественном судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 1. С. 28–36. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-28-36>. EDN JUCFUR.

Original article

Overview of composite materials used in domestic shipbuilding

Sergey V. Vlasov

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

Abstract. The results of the review of the types of polymer composite materials used in domestic shipbuilding for the production of ship hulls and structures are presented. It has been established that the construction of vessels with a hull length of more than 70 m from polymer composite materials is currently not carried out for several reasons: limitation of length by the requirements of the rules of classification societies, lack of a single universally recognized worldwide methodology for calculating the strength parameters of composite hulls, high cost, restrictions on the use of composites by the requirements of international conventions and codes in the field of fire safety security. It is determined that polymer composite materials based on glass fibers and epoxy (or polyester) resin as a binding medium are most often used for the manufacture of ship structures in domestic shipbuilding. Molding is most often used as manufacturing

methods, and vacuum infusion is used if special equipment is available. This is due to cost savings, the need for the introduction of complex and expensive vacuum infusion systems, ventilation systems for production facilities and heating of layers of composite materials in the production of elements of marine power plants and structures. With the reduction in the cost of materials such as carbon fiber, basalt-reinforced complexes, hydrocarbon fiber, and others, the prospect of using composites opens up not only for small-scale, but also large-tonnage displacement vessels for the manufacture of hull structures and superstructures, internal combustion engine parts, and other elements. The disadvantages of polymer composite materials such as high cost, difficult disposal and non-compliance with fire hazard, according to the requirements of international maritime codes and conventions, are considered, which may be a direction for future research.

Keywords: shipbuilding, polymer composite materials, fiberglass, carbon fiber, small vessel

For citation: Vlasov S. V. Overview of composite materials used in domestic shipbuilding. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2025;1:28-36.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-28-36>. EDN JUCFUR.

Введение

Композиционные материалы имеют широкую перспективу применения в области транспорта, строительства, ветроэнергетики, производства труб и резервуаров, судостроении, электроники, аэрокосмической промышленности и т. д. Объем применения композиционных материалов в отраслях промышленности и техники постоянно увеличивается, например доля используемого в авиации слоистого карбопласта, многослойного углеволокна при производстве фюзеляжей самолетов «Боинг» и «Аэрбас» увеличилась с 5 % в 1990 г. до 50 % в 2020 г. В настоящее время объем использования композитов в автомобильной промышленности достиг 14 %, в судостроении – 10 % (при строительстве маломерных судов с длиной до 24 м – до 40 %), в строительстве – 31 %, при производстве труб, цистерн – до 16 %. Мировой объем рынка композиционных материалов оценивался в 114,68 млрд долл. США в 2024 г. и, по прогнозам, превысит 272,06 млрд долл. США к концу 2037 г., а среднегодовой темп роста составит более 6,9 % в период с 2025 по 2037 г. [1].

Наиболее часто в судостроении применяются полимерные композиционные материалы (ПКМ). Классификационные общества, ведущие надзор за судами при их строительстве и эксплуатации, – Российский морской регистр судоходства (РМРС), Российское классификационное общество (РКО) – определяют виды ПКМ, которые могут применяться в судостроении.

Согласно нормативному документу РМРС «Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов», пункт 1.2.2 [2], ПКМ имеет гетерогенную природу и состоит из армирующих элементов и полимерной матрицы.

Согласно пункту 2.1.1 [2], требования РМРС распространяются на ПКМ на основе армирующих наполнителей из стеклянных или/и углеродных, а также арамидных волокон, терморезистивных полимерных связующих – полиэфирных, винилэфир-

ных и эпоксидных, которые применяются для изготовления корпусов и надстроек судов различного водоизмещения, в том числе катеров и лодок. Полимерные композиционные материалы, которые предоставляются для одобрения в РМРС, должны соответствовать требованиям [2, 3] и пройти ряд обязательных типовых испытаний и проверок. Конкретная технология для изготовления судовых конструкций из ПКМ в правилах РМРС не указана, но она должна, согласно пункту 2.1.2 [2], обеспечивать стабильное качество готового материала, а также возможность применения высокоэффективных методов формования и средств механизации.

Правила РМРС [2] распространяются на корпуса и надстройки из ПКМ следующих типов судов: водоизмещающих с длиной 15–70 м включительно; высокоскоростных водоизмещающих судов с числом Фруда в пределах $F_{rv} \approx 1,0-2,5$; шлюпок и катеров с длиной 4,5–15 м и числом Фруда $F_{rv} < 2,5$.

Вместе с тем современные ПКМ, по мнению многих специалистов, позволяют строить суда с длиной до 100 м, поэтому возникает вопрос о возможности увеличения допустимой длины судов с корпусами из ПКМ от 70 до 100 м с одобрением классификационными обществами.

Цель исследования – анализ опыта изготовления судов из ПКМ на основе научной и технической литературы.

Задачи исследования:

- рассмотреть требования отечественных классификационных обществ к максимальным размерам корпусов судов из ПКМ;
- выполнить анализ наиболее часто используемых в России ПКМ и методов изготовления из них судовых конструкций и корпусов на основе научной и технической литературы;
- провести анализ возможности применения ПКМ для строительства судов с длиной более 70 м.

Методы и материалы исследования

В качестве методов исследования использовались обзор научно-технической литературы, систематизация выявленных источников и их анализ.

Особенности применения ПКМ в судостроении: высокие циклические нагрузки на корпус судна, включая изгибные и поперечные; длительное воздействие со стороны Солнца и его излучения; высокие риски возникновения коррозии; необходимость утилизации судна после морального и физического износа; работа с виброактивными меха-

низмами; перепады температур; сложность геометрии форм корпусов современных судов.

В таблице приведены результаты анализа отечественной научно-технической литературы в области применения ПКМ в судостроении для определения наиболее часто используемых материалов и способов изготовления из них судовых конструкций.

Результаты анализа отечественной научно-технической литературы

The results of the analysis of Russian scientific and technical literature

Вид судовой конструкции	Вид ПКМ	Способ изготовления конструкции из ПКМ	Источник
Корпус и элементы корпуса маломерного судна – шлюпки	Стеклопластиковые композиционные материалы	Ручная формовка, вакуумная инфузия, напыление	[4]
Надстройка маломерного судна	Стеклопластиковые композиционные материалы	Ручная формовка	[5]
Моторная лодка, маломерный катер	Композиционный материал на основе пластика и полиэфирной смолы	Инфузия (налив) или послойное формование	[6]
Муфта валопровода	Стеклопластик на основе ткани Т-10-14 и винилэфирного связующего DION FR 9300	Метод контактного формования либо метод инфузии	[7]
Балки набора корпуса и элементы надстройки	Углепластик	Метод вакуумной диффузии	[8]
Элементы корпуса	Стекломат марки EMC-600-1250-E, термореактивная ортофталевая полиэфирная смола, ровинговая стеклоткань марки EWR 560	Ручная формовка	[9]
Гребные винты	Стекловолокно, карбон, Е-стекло (алюмоборосиликатное стекловолокно с содержанием щелочных элементов менее 2 %)	Формовка	[10]
Корпуса маломерных судов	Стекловолокно	Формовка и инфузия	[11]
Корпус маломерного судна – моторной лодки	Стеклопластик и смола	Формование	[12]
Корпуса яхт и маломерных судов	Стеклопластик	Формование, вакуумная инфузия	[13]
Надстройки судов	Стеклопластик, углепластик, боропластик	Вакуумная диффузия	[14]
Надстройки судов (ремонт)	Стеклопластик, углепластик	Инфузия и горячее прессование	[15]
Корпуса судов и надстройки	Стеклопластик	Вакуумная инфузия	[16]
Корпус судна, наружная обшивка	Базальтовое волокно в композиции с полиэфирными, эпоксидными и винилэфирными смолами	Метод контактного формования	[17]
Судовые конструкции разнообразного назначения	Стеклопластик	Метод формирования	[18]

Таким образом, наиболее часто для изготовления судовых конструкций в отечественном судостроении используются ПКМ на базе стеклопластика и эпоксидных смол в качестве связующей среды. Данный вид ПКМ соответствует требованиям РМРС [2, 3]. В качестве методов изготовления

корпусов судов и конструкций из ПКМ чаще всего применяется формование и вакуумная инфузия, они соответствуют требованиям РМРС [2, 3] и обеспечивают, согласно пункту 2.1.2 [2], стабильное качество, возможность применения высокоэффективных методов формования и средств

механизации.

Результаты исследования

Рассмотрим более подробно результаты проведенного анализа источников научно-технической информации.

1. Вид изделий, изготавливаемых из ПКМ в судостроении.

Наиболее часто из ПКМ изготавливаются корпуса маломерных судов с длиной до 24 м (рис. 1) или элементы надстроек и судовых конструкций (рис. 2), в меньшей степени производится строительство судов с длиной более 24 м (с пределом до 100 м), и большую часть в этом секторе занимают военные суда и яхты (рис. 3). В большинстве проанализированных источников длина корпуса судна из ПКМ составляет до 40 м для гражданских судов и до 70 м для военных кораблей. Отдельно мелкосерийными партиями производятся из ПКМ гребные валы, упругие муфты и гребные винты (рис. 4) [19–21].



Рис. 1. Маломерное судно из полимерных композиционных материалов

Fig. 1. Small vessel made of polymer composite materials



Рис. 2. Надстройка из полимерных композиционных материалов

Fig. 2. Superstructure made of polymer composite materials



Рис. 3. Катамаран из полимерных композиционных материалов

Fig. 3. Catamaran made of polymer composite materials



Рис. 4. Гребной винт из полимерных композиционных материалов

Fig. 4. A propeller made of polymer composite materials

Ведущие специалисты в области судостроения считают, что максимальный размер корпуса из ПКМ не должен превышать 100 м. За последние 50 лет длина судов из ПКМ увеличилась, но фундаментальные технические проблемы, связанные с изготовлением судов с длиной 100 м и более, остаются нерешенными. При этом исследования [22, 23] прогнозируют возможную экономию веса корпуса при его изготовлении из ПКМ на 30 % по сравнению с корпусом из стали.

Рассмотрим основные причины ограничения длины судов из ПКМ до 70 м.

1. Ограничение длины 70 м в правилах РМРС [2], что уже рассматривалось выше.

2. Отсутствие единой мировой общепризнанной методики расчета параметров прочности корпуса судов из ПКМ.

Расчет прочности судовых конструкций из ПКМ традиционно сводится к ряду задач анализа: общей прочности корпуса судна в виде балки; местной прочности пластин и балок; прочности элементов, таких как фундаменты двигателя, мач-

ты, крепления и т. д.

В исследовании [22] приводятся критерии прочности судовых конструкций из ПКМ для трехслойных пластин (конструкция, наиболее часто применяемая в судостроении при использовании ПКМ) в соответствии с требованиями отечественных и международных классификационных обществ. Согласно правилам РМРС и РКО, при расчетах прочностных параметров корпусов судов из ПКМ требуется оценивать следующие основные параметры: нормальные напряжения, касательные напряжения в наполнителе, деформации с учетом сдвига. В то же время для зарубежных классификационных обществ LR, ABS, BV, DNV GL и др., помимо указанных выше параметров, требуется расчет минимальной толщины наполнителя или всей панели, минимального момента сопротивления судовой конструкции, деформаций без учета сдвига, межслойного сдвига и др. Данные параметры зависят от длины конструкции, и, соответственно, параметры прочности судна, рассчитанные по правилам одного из классификационных обществ, не будут соответствовать требованиям другого.

3. Затраты на изготовление корпуса судна и судовых конструкций из ПКМ.

В исследовании [23] указано, что композиты дороже, чем их металлические конкуренты, что объясняется высокой ценой на стекловолокно, углеволокно, вспененные материалы для сэндвич-конструкций, а также термопластичные и терморезистивные смолы. К тому же, когда дело доходит непосредственно до изготовления композитных деталей, производитель сталкивается с тем, что капитальные затраты на организацию такого производства выше, а оборудование дороже по сравнению с металлами. В то же время годовые затраты на топливо, наоборот, ниже при использовании ПКМ для изготовления корпуса судна, что позволяет после 7 лет эксплуатации окупить затраты.

2. Вид наиболее часто используемых ПКМ в судостроении и причины их выбора.

По данным [11], в 2011 г. доля стеклопластика в объеме ПКМ для судостроения составила 80 %, сэндвич-материалов – 15 %, остальные 5 % составляет углепластик.

В соответствии с правилами РМРС [2], судовые конструкции, изготовленные с применением ПКМ, должны сохранять свои качества, прежде всего работоспособность и надежность, при эксплуатации в морских условиях в заданных диапазонах температур (от –40 до +60 °С) в течение длительного времени (не менее 20 лет); применяемые материалы, технологии и конструктивные решения должны обеспечивать пригодность корпусных конструкций к ремонту как в заводских условиях,

так и при эксплуатации в море. Материалы должны соответствовать требованиям к огнестойкости, взрывозащите и токсичности при повышенных температурах, т. е. не представлять опасности для жизни и здоровья человека.

Правила РМРС допускают использование двух типов ПКМ в судовых конструкциях: однослойные и трехслойные. К однослойным относятся материалы на основе стеклянных, углеродных арамидных волокон, при этом требуется применять терморезистивные полимерные связующие, полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы. К трехслойным материалам относятся конструкции, состоящие из наружных несущих слоев, выполненных из ПКМ, и среднего слоя наполнителя, в качестве которого правила РМРС допускают применять следующее: поливинилхлоридные пенопласты, имеющие жесткую закрытую структуру, пенополиуретан, легковесные маты с микросферами.

Многослойные ПКМ имеют неоднородную структуру, и на их прочность в большей степени оказывают влияние следующие факторы [9]: количество и порядок укладки слоев армирующего элемента; свойства и соотношение количеств использованных армирующего элемента и связующего; направление волокна относительно оси воздействия нагрузок; атмосферные факторы (температура, давление); экономичный метод изготовления.

Полимерные композиционные материалы являются предпочтительным материалом для небольших судов из-за простоты изготовления, обеспечения необходимой жесткости для изготовления балок судового корпуса, устойчивости материала к изгибу, коррозии и ударам под водой. При этом ряд специалистов считает, что армирование углеродным волокном может обеспечить более экономичное решение (на 20–25 % дешевле), чем изготовление материала из чистого стекловолокна.

3. Особенности использования ПКМ на судах с точки зрения пожарной безопасности.

В требованиях главы II-2 Международной конвенции СОЛАС (правило 2) указано, что корпус, надстройки, конструктивные переборки, палубы и рубки должны быть изготовлены из стали или другого эквивалентного материала [24], а правило 17 главы II-2 Конвенции СОЛАС предусматривает «альтернативную конструкцию и приспособления» на основе эквивалентной безопасности. Шведский проект по применению легких конструкций на море (LASS) провел огневые испытания с использованием «реальных» сценариев пожара, чтобы продемонстрировать, что пожар как основное препятствие для более широкого использования ПКМ на судах может быть преодолен как с технической, так и с практической точек зрения. Композитная система с противопожарной изоляцией из мине-

ральной ваты толщиной 75 мм и плотностью 110 кг/м³, противопожарная защита, рассчитанная на 60 мин, была на 15 % легче стальных переборок класса «А» [25]. Морские ПКМ должны иметь противопожарную защиту от пожаров сроком до 2,5 ч. В настоящее время стеклопластиковые материалы на судах с длиной более 50 м допускаются только для изготовления вторичных конструктивных элементов. В практике РФ требования по негорючести материалов для постройки судов введены в технический регламент о безопасности объектов морского транспорта, РМРС, а также в правила РКО для пассажирских судов категорий О-ПР и выше.

4. Вид наиболее часто используемых методов для изготовления элементов судовых конструкций из ПКМ и причины их выбора.

В источнике [18] приводится статистика применяемых методов для изготовления из ПКМ элементов судовых конструкций: намотка – 5 %; напыление – 5 %; прессование – 10 %; контактное формование – 80 %.

Обычно изготовление морских судов из ПКМ осуществляется с помощью пресс-формы. Для крупного гражданского судна (более 40 м) затраты на оснастку, связанные с малым объемом производства, могут сделать проект финансово невыгодным. Суда из ПКМ могут изготавливаться методом нанесения гелевого покрытия на открытые формы, а затем методом распыления или ручного ламинирования, но при этом здоровье и безопасность рабочих, связанные с воздействием летучих органических соединений (особенно стирола), требуют дорогостоящих инвестиций в вентиляцию рабочего пространства.

Наиболее предпочтительными процессами для изготовления корпусов крупных судов являются заливка смолы с помощью гибкой оснастки (RIFT, также известной как SCRIMP™, или VARTM) для прогулочных судов или предварительно обработанные материалы в вакуумном пакете для гоночных судов. Компоненты, изготовленные с использованием технологии VARTM (вариант RIFT), обладают механическими свойствами, сравнимыми с мокрой укладкой или приготовлением препрега в автоклаве.

Качественно изготовленные корпуса из ПКМ не подвержены коррозии и, следовательно, требуют меньшего количества защитной краски против обрастания судового корпуса. Это сокращает время, затрачиваемое на техническое обслуживание, увеличивает время пребывания в море, срок службы судна и прибыль в коммерческой сфере.

5. Особенности утилизации судов из ПКМ.

Любое изделие, изготовленное из ПКМ, должно пройти оценку жизненного цикла, чтобы свести к минимуму его воздействие на окружающую сре-

ду. Морские суда проектируются и строятся таким образом, чтобы они были долговечны, но по истечении срока службы судна это создает большой объем отходов, с которыми трудно справиться. В то время как металлические конструкции могут быть относительно легко расплавлены и переработаны, высокая прочность ПКМ ограничивает возможности утилизации по истечении срока эксплуатации. Длительный срок службы судов из ПКМ может привести к тому, что на протяжении всего срока эксплуатации у них будет несколько владельцев. Денежные затраты на захоронение отходов и ограничения на сжигание увеличивают риск того, что брошенные малые и средние суда из ПКМ окажутся в географически удаленных от основных центров переработки местах.

Использование матричных систем из термореактивных смол серьезно ограничивает возможности утилизации как отходов производства, так и готовых изделий. Когда судно становится морально и физически устаревшим и не может быть далее использовано по основному назначению, оно может применяться в качестве учебного, вспомогательного или в качестве объекта инфраструктуры.

Наиболее распространенными методами переработки стеклопластика являются механический, термический или химический. В результате этих процессов образуется вторичный материал в виде наполнителя или армирующих частиц (для полимерных, асфальтовых или цементных композитов). Высокие затраты на переработку и низкая стоимость вторичного сырья в сочетании с отсутствием устойчивых рынков сбыта являются слабым стимулом для пользователей ПКМ заниматься переработкой. Для разработки практичной и экономичной технологии переработки ПКМ по-прежнему требуются значительные исследования. В методах третичной переработки используются сжигание, пиролиз или сольвотермические процессы для разрушения полимерной матрицы и удаления волокон. При использовании методов пиролиза из полимерной матрицы могут быть получены химические вещества, которые могут стать потенциальным сырьем для производства ПКМ. Термическое удаление матрицы значительно снижает прочность стекловолокна, хотя кратковременная обработка переработанных стекловолокон горячей щелочью может восстановить их способность выступать в качестве эффективного армирующего материала в ПКМ второго поколения. Небольшие суда из ПКМ могут быть очищены от ценных материалов перед дроблением корпусов, но загрязнение корпусов топливом, смазочными материалами, краской и/или противобрастающими средствами может ограничить возможности утилизации.

Выводы

1. В настоящее время наиболее часто, согласно источникам [4, 5, 7, 9–16, 18], для изготовления корпусов маломерных судов и судовых конструкций используются ПКМ на базе стеклянного волокна со связующими слоями из эпоксидных смол.
2. Строительство судов с длиной более 70 м из ПКМ в настоящее время ограничивается требованиями правил классификационных обществ (РМРС) [2], отсутствием единой мировой общепринятой методики расчета на прочность корпуса судна из ПКМ, более высокой стоимостью корпуса судна по сравнению с изготовлением его из металла, ограничением применения ПКМ по пожарной безопасности.
3. Возрастает проблема утилизации и переработки корпусов судов и судовых конструкций из

ПКМ, что требует разработки соответствующих решений как для нормативной базы, так и в технологической области.

4. Наиболее распространенным методом изготовления изделий из ПКМ является формовка, но она требует обеспечения безопасности для рабочих в производственном помещении, что связано с вредным воздействием паров эпоксидных и полиэфирных смол на организм человека.

5. Отечественное судостроение использует ПКМ в основном для изготовления корпусов судов и надстроек, но не освоило в необходимом для рынка судостроения объеме технологии изготовления элементов судовых энергетических установок – гребных валов, винтов, упругих муфт и т. д.

Список источников

1. Размер и доля рынка композитов, глобальный прогнозный отчет на 2037 год. URL: <https://www.researchnester.com/ru/reports/composites-market/4570> (дата обращения: 21.12.2024).
2. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов. СПб.: Изд-во РМРС, 2025. 168 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XIII. Материалы. СПб.: Изд-во РМРС, 2025. 367 с.
4. Цыварев М. В., Ветлугина А. С. Подходы к технологии изготовления оболочек маломерного судна из КМ с легким наполнителем методом вакуумной инфузии // Неделя науки Санкт-Петербург. гос. мор. техн. ун-та. 2022. № 1-1. С. 94.
5. Корбова А. А. Проектирование легкой катерной надстройки из полимерных композиционных материалов // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2020. Вып. 2. С. 242–249.
6. Петров П. Ю. Преимущества применения полимерных композитных материалов при изготовлении маломерных судов // Мор. вестн. 2021. № 4 (80). С. 11–12.
7. Лысенко А. П., Ярцев Б. А. Упругие вибропоглощающие соединительные муфты из полимерных композиционных материалов. 1. Конструкции, нагрузки, материалы // Тр. Центр. науч.-исслед. ин-та им. акад. А. Н. Крылова. 2013. № 75 (359). С. 51–60.
8. Булкин В. А., Федонюк Н. Н., Шляхтенко А. В. Применение перспективных композиционных материалов в надводном судостроении // Мор. вестн. 2013. № 1 (45). С. 7–8.
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. Пустошный А. В., Маринич Н. В., Савченко О. В. Анализ перспектив применения композитных гребных винтов в судостроении // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2023. Вып. 3 (405). С. 26–48.
11. Leonidas Dokos. Выбор композитов для судостроения – глобальная перспектива. URL: https://composite.ru/files/vybor_kompozitov_dlya_sudostroeniya.pdf (дата обращения: 21.12.2024).
12. Алиева М. А., Головина Е. А. Выбор материала и технология изготовления моторной лодки. URL: http://edu.secna.ru/media/f/new_material_tez_2016_pdf (дата обращения: 21.12.2024).
13. Арсатов А. Катера и яхты ПОЛИТЕРМО // Композит. мир. 2011 (март–апрель). С. 24–25.
14. Елисеева О. В., Романова Э. В. Композитные материалы в судостроении // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 30. С. 557–561.
15. Нелюб В. А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2013. № 5. С. 21–24.
16. 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.
17. 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.
18. Фирсова А. В., Щигорцов М. Ю. Технологические особенности и перспективы применения полимерных композиционных материалов при постройке судов // Мор. интеллектуал. технологии. 2022. № 4-2 (58). С. 58–66.
19. Шапошников В. М. Полимерные композиционные материалы в судостроении / Крыловский государственный научный центр, 2019. 12 с. URL: <https://soyuzmash.ru/docs/prez/prez-kopk-220219-6.pdf?ysclid=m6z1a9k2hi568266946> (дата обращения: 21.12.2024).
20. Зазимко В. Н. Опыт применения композитов / Композитный Кластер Санкт-Петербурга: докл. (Санкт-Петербург, 17–20 сентября 2019 г.). СПб.: Нева, 2019. 35 с.
21. 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.
22. 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.

23. Композитный кластер Петербурга и новинки судостроения из Северной столицы. URL: <http://www.cclspb.ru/kompozitnyy-klaster-peterburga-i-novinki-sudostroeniya-iz-severnoy-stoliczyi.html> (дата обращения: 04.12.2024).

24. Международная Конвенция по охране челове-

ской жизни на море 1974 года. СОЛАС: в 2-х т. СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 2024. 1232 с.

25. Hertzberg T. LASS, Lightweight Construction Applications at Sea. SP Technical Research Institute of Sweden, 2009. 221 p.

References

1. *Razmer i dolia rynka kompozitov, global'nyi prognozniy otchet na 2037 god* [Composites market size and share, global forecast report for 2037]. Available at: <https://www.researchnester.com/ru/reports/composites-market/4570> (accessed: 21.12.2024).

2. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Part 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.

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

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, p. 94.

5. Korbova A. A. Proektirovanie legkoi katernoi 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.

6. Petrov P. Iu. Preimushchestva primeniia 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.

7. Lysenko A. P., Iartsev B. A. Uprugie vibropogloshchayushchie soedinitel'nye mufty iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. 1. Konstruktsii, nagruzki, materialy [Elastic vibration-absorbing couplings made of polymer composite materials. 1. Structures, loads, materials]. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta imeni akademika A. N. Krylova*, 2013, no. 75 (359), pp. 51-60.

8. Bulkin V. A., Fedoniuk N. N., Shliakhtenko A. V. Primenenie perspektivnykh kompozitsionnykh materialov v nadvodnom sudostroenii [Application of advanced composite materials in surface shipbuilding]. *Morskoi vestnik*, 2013, no. 1 (45), pp. 7-8.

9. Alsaid 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. Pustoshnyi A. V., Marinich N. V., Savchenko O. V. Analiz perspektiv primeniia kompozitnykh grebnykh

vintov v sudostroenii [Analysis of prospects for the use of composite propellers in shipbuilding]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2023, iss. 3 (405), pp. 26-48.

11. Leonidas Dokos. *Vybor kompozitov dlia sudostroeniia – global'naia perspektiva* [The choice of composites for shipbuilding is a global perspective]. Available at: https://composite.ru/files/vybor_kompozitov_dlya_sudostroe_niya.pdf (accessed: 21.12.2024).

12. Alieva M. A., Golovina E. A. *Vybor materiala i tekhnologiia izgotovleniia motornoj lodki* [The choice of the material and the technology of manufacture of the motor boat]. Available at: http://edu.secna.ru/media/f/new_material_tez_2016_pdf (accessed: 21.12.2024).

13. Arsatov A. Katera i iakhty POLITERMO [Boats and yachts from PALERMO]. *Kompozitnyi mir*, 2011 (mart-aprel'), pp. 24-25.

14. Eliseeva O. V., Romanova E. V. Kompozitnye materialy v sudostroenii [Composite materials in shipbuilding]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*, 2021, no. 30, pp. 557-561.

15. Neliub V. A. Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov v sudostroenii dlia remonta korabel'nykh nadstroek [The use of polymer composite materials in shipbuilding for the repair of ship superstructures]. *Remont. Vostanovlenie. Modernizatsiia*, 2013, no. 5, pp. 21-24.

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

17. Frantsev M. E., Kireinov A. V. Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy kompozitsionnykh materialov sudostroitel'nogo naznacheniiia na osnove stekliannykh i bazaltovykh 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.

18. Firsova A. V., Shchigortsov M. Iu. Tekhnologicheskie osobennosti i perspektivy primeniia polimernykh kompozitsionnykh materialov pri postroike sudov [Technological features and prospects of using polymer composite materials in the construction of ships]. *Morskie intelektual'nye tekhnologii*, 2022, no. 4-2 (58), pp. 58-66.

19. Shaposhnikov V. M. *Polimernye kompozitsionnye materialy v sudostroenii* [Polymer composite materials in shipbuilding]. Krylovskii gosudarstvennyi nauchnyi tsentr, 2019. 12 p. Available at: <https://soyuzmash.ru/docs/prez/prez-kopk-220219-6.pdf?ysclid=m6z1a9k2hi568266946> (accessed: 21.12.2024).

20. Zazimko V. N. Opyt primeniia kompozitov [Experience in the use of composite materials in shipbuilding]. *Kompozitnyi Klaster Sankt-Peterburga: doklad (Sankt-Peterburg, 17–20 sentiabria 2019 g.)*. Saint Petersburg, Neva Publ., 2019. 35 p.

21. Meleshin M. A., Salamekh Ali, Alsaïd Mazen. Opyt primeneniia kompozitnykh materialov v sudostroenii [Opyt primeneniia kompozitnykh materialov v sudostroenii]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2022, no. 2, pp. 44-50.

22. Korolev S. A., Nazarov A. G. Sravnitel'nyi analiz kriteriev mestnoi prochnosti sudovykh konstruksii 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.

23. *Kompozitnyi klaster Peterburga i novinki su-*

dostroeniia iz Severnoi stolitsy [Composite cluster of St. Petersburg and new shipbuilding products from the Northern Capital]. Available at: <http://www.cclspb.ru/kompozitnyj-klaster-peterburga-i-novinki-sudostroeniya-iz-severnoj-stolice-zyi.html> (accessed: 04.12.2024).

24. *Mezhdunarodnaia Konventsia po okhrane chelovecheskoi zhizni na more 1974 goda. SOLAS: v 2-kh tomakh* [International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974. SOLAS: in 2 volumes]. Saint Petersburg, Izd-vo TsNIIMF, 2024. 1232 p.

25. Hertzberg T. *LASS, Lightweight Construction Applications at Sea*. SP Technical Research Institute of Sweden, 2009. 221 p.

Статья поступила в редакцию 26.12.2024; одобрена после рецензирования 03.02.2025; принята к публикации 10.02.2025
The article was submitted 26.12.2024; approved after reviewing 03.02.2025; accepted for publication 10.02.2025

Информация об авторе / Information about the author

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

