

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-728-737

EDN ODYKHD

THE CHOICE OF METHODS FOR MANUFACTURING HULL STRUCTURES OF SHIPS FROM POLYMER COMPOSITE MATERIALS

M. A. Moskalenko, S. E. Chernyakhovich, I. V. Tuzyuk

Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

This paper discusses the application of polymer composite processing technologies in the manufacture of hull structures of displacement vessels, describes the main components used, and reviews the primary manufacturing methods approved for use by the Russian Maritime Register of Shipping. The selection of a specific method depends on multiple factors, and in certain cases, shipyards are compelled to deviate from the classification society's recommendation to apply the resin infusion method as the main process. Technological procedures employing the contact molding method are analyzed. For the particular case of producing the outer hull plating of a displacement vessel, justification is provided for selecting a method other than the recommended one. With an identical reinforcement scheme, the side plating thickness obtained by the infusion method was, as expected, lower than that produced by contact molding; however, the contact molding method ensured compliance with the design thickness. Applying the infusion method required the addition of extra reinforcement layers, increasing cost, production time, and structural weight. At the same time, tensile strength and stiffness characteristics of the infusion-produced samples exceeded those of the contact-molded ones. The contact molding method proved more cost-effective, primarily due to lower material consumption, the use of less-skilled labor, and the absence of high production risks. It is proposed to adopt the infusion method as a baseline for calculating hull plating thickness, which could serve as one of the approaches to incorporating the manufacturing method into the structural design process. Addressing the challenges in this field will facilitate the industrial implementation of advanced composite manufacturing technologies based on resin infusion.

Keywords: hull structures, polymer composite materials, manufacturing methods, contact molding, resin infusion, reinforcement scheme, hull plating thickness.

For citation:

Moskalenko, Mikhail A., S. E. Chernyakhovich and I. V. Tuzyuk. "The choice of methods for manufacturing hull structures of ships from polymer composite materials." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 17.5 (2025): 728–737. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-728-737.

УДК 629.123:656.61.052

ВЫБОР МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. А. Москаленко, С. Е. Черняхович, И. В. Тузюк

Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Россия

Рассмотрены вопросы применения технологий переработки полимерных композиционных материалов в корпусные конструкции водоизмещающих судов, дано описание исходных компонентов и рассмотрены основные методы изготовления конструкций, допускаемые к применению Российским морским регистром судоходства. Применение определенного метода зависит от ряда факторов и в некоторых случаях верфям-изготовителям приходится отклонять рекомендацию классификационного общества об использовании преиму-

щественно метода инфузии. Исследованы технологические процессы с применением метода контактного формования. Для частного случая изготовления наружной обшивки водоизмещающего судна дано обоснование выбора метода не в пользу рекомендуемой технологии, так как при одинаковой схеме армирования толщина бортовой обшивки корпуса, изготовленная методом инфузии, оказалась ожидаемо меньше, чем изготовленная методом контактного формования. При этом метод контактного формования обеспечил толщину в соответствии с проектом. Для применения метода инфузии требовалось в схему армирования внести дополнительные слои армирующего материала, увеличивая стоимость, время изготовления и вес конструкции. В то же время прочностные характеристики отобранных образцов обшивки, изготовленной методом инфузии, превысили показатели прочности образцов обшивки, изготовленной методом контактного формования. Метод контактного формования оказался экономически более эффективным в первую очередь за счет применения меньшего объема материалов, привлечения малоквалифицированной рабочей силы и отсутствия риска форс-мажорных обстоятельств. Предлагается принять метод инфузии базовым в расчетах толщины обшивки корпуса, что может служить одним из вариантов использования метода изготовления корпусных конструкций корпуса. Решение задач в этой области позволит беспрепятственно внедрять и применять на производстве более совершенные технологии с использованием метода инфузии.

Ключевые слова: корпусные конструкции, полимерный композиционный материал, методы изготовления, контактное формование, инфузия, схема армирования, толщина обшивки.

Для цитирования:

Москаленко М. А. Выбор методов изготовления корпусных конструкций судов из полимерных композиционных материалов / М. А. Москаленко, С. Е. Черняхович, И. В. Тузюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 5. — С. 728–737. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-728-737. — EDN ODYKHD.

Введение (Introduction)

В настоящее время в Российской Федерации изготовление конструкций корпусов судов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) регламентировано Правилами классификации и постройки морских судов (Правила РС), ч. XVI «Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов» 2025 г. издания¹. Правила 2018 г. издания² распространялись на водоизмещающие суда длиной 12–30 м. Развитие технологий и применение новых материалов, рассмотренных в работе [1], позволило в современных Правилах РС начиная с 2019 г. распространить требования на корпуса водоизмещающих судов длиной до 70 м включительно. Проектные особенности изготовления корпусов водоизмещающих судов из ПКМ рассмотрены в статье [2].

В современных Правилах РС, изданных на английском языке — Rules for the classification and construction of sea-going ships, part XVI: Structure and strength of fiber-reinforced plastic ships³, полимерные конструкционные материалы (ПКМ) обозначаются как Fiber-Reinforced Plastic (FRP) — армированный волокнами пластик. Следует заметить, что за рубежом аббревиатура FRP — традиционное обозначение армированного волокнами пластика, в том числе стеклопластика — Fibreglass Reinforced Plastic (FRP), также известного как Glass Reinforced Plastic (GRP) — пластик с армирующими волокнами из стекла.

В соответствии с Правилами РС для изготовления корпусов водоизмещающих судов допустимы к применению ПКМ на основе армирующих материалов, полимерной матрицы, состоящей из отвержденного полиэфирного, винилэфирного или эпоксидного связующего и в некоторых случаях заполнителей средних слоев в трехслойных или многослойных конструкциях⁴.

В судостроении при строительстве водоизмещающих судов применяют стеклопластик, где в качестве армирующего материала традиционно используется стекловолокно, а в качестве

¹ Правила классификации и постройки морских судов, часть XVI «Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов». Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2025. 168 с.

² Правила классификации и постройки морских судов, часть XVI «Конструкция и прочность корпусов судов и шлюпок из стеклопластика». Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2018. 32 с.

³ Rules for the classification and construction of sea-going ships part XVI: Structure and strength of fiber-reinforced plastic ships. St. Petersburg: Russian Maritime Register of Shipping, 2025. 160 с.

⁴ Материалы / [Электронный ресурс] // Группа компаний Композит: [сайт]. URL: <https://composite.ru/materialy> (дата обращения: 13.08.2025).

связующего — полиэфирная и винилэфирная смолы. Технологии переработки ПКМ в корпусные конструкции, допускаемые Правилами РС, должны обеспечить получение материала с требуемыми характеристиками, высокое качество изготовления без недопустимых дефектов и возможность применения метода инфузии. В работах [3] и [4] приведены классификация, структура и описание основных технологических процессов формирования конструкций из ПКМ. Применение определенного метода при изготовлении корпусных конструкций зависит от ряда факторов. Иногда верфям-изготовителям приходится отказываться от рекомендации РС преимущественного использования метода инфузии. В обзоре [5] подробно описаны различные виды инфузии, их достоинства и недостатки, а также перспективы применения. Некоторые закономерности, связывающие количество слоев с толщиной и плотностью ПКМ в изготовленной конструкции методом инфузии, рассмотрены в исследовании [6]. В случае невыполнения рекомендации применяется традиционный метод контактного формования.

В целом применение метода инфузии позволяет изготавливать качественные с высокими прочностными характеристиками судовые корпусные конструкции, в первую очередь корпуса судов, наиболее подверженных разрушительному влиянию окружающей среды и механическим повреждениям. Способы оценки технического состояния, информация о построечных и эксплуатационных повреждениях и методах борьбы с ними подробно описаны в работах [7–9].

Предметом настоящего исследования явилось обстоятельство, с учетом которого был определен выбор метода изготовления обшивки корпуса водоизмещающего судна в условиях реального производства. При одинаковой схеме армирования толщина бортовой обшивки, изготовленная методом инфузии, оказалась ожидаемо меньше, чем изготовленная методом контактного формования, в то же время метод контактного формования обеспечил толщину в соответствии с проектом, одобренным РС. Для возможности применения метода инфузии требовалось в схему армирования внести дополнительные слои армирующего материала, что увеличивало стоимость, время изготовления и вес конструкции. В то же время прочностные характеристики отобранных образцов обшивки, изготовленной методом инфузии, превысили показатели прочности образцов обшивки, изготовленной методом контактного формования. Испытание образцов на прочность выполнялись силами лаборатории верфи-изготовителя без учета упругих свойств композита, определение которых в инженерной практике описано в работе [10]. Метод контактного формования оказался экономически более эффективным в первую очередь за счет применения меньшего объема материалов, привлечения малоквалифицированной рабочей силы и отсутствия риска форс-мажорных обстоятельств.

Целью настоящей работы является выявление фактора, препятствующего внедрению и применению наиболее совершенного метода изготовления корпусных конструкций — инфузии. Достижение поставленной цели требует выявления тенденции изменения фактической толщины обшивки в зависимости от применяемого метода изготовления корпусных конструкций при неизменной схеме армирования с соблюдением требований РС к жесткости и прочности материала и конструкций в целом.

Методы и материалы (Methods and Materials)

ПКМ применяются для изготовления однослойных, трехслойных или многослойных сэндвичевых конструкций, состоящих из наружных несущих слоев и средних слоев заполнителей. Армирующий материал, входящий в состав ПКМ обеспечивает достижение заданных жесткостных и прочностных характеристик. Основные виды армирующих материалов представлены плетеными, мультиаксиальными тканями с разным направлением армирования, матами. Армирующие материалы могут быть из стеклянных волокон для получения стеклопластиков, из углеродных волокон для конструкционных углепластиков и арамидных волокон, применяемых для конструкций судов, испытывающих ударные и вибрационные нагрузки в качестве заполнителя между слоями стекло- или углепластика.

Связующее в составе ПКМ должно обладать требуемыми механическими прочностными и жесткостными характеристиками в отвержденном состоянии, высокой адгезией к армирующему материалу и стойкостью к длительному воздействию окружающей среды. Связующим могут быть

полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы. Связующие обеспечивают различные свойства создаваемого ПКМ: прочность, устойчивость к среде, свойства для использования в технологии. Для каждого типа связующего применяются свои системы отверждения. Основные компоненты системы отверждения: инициатор (катализатор) и ускоритель (отвердитель), вводятся в связующее для отверждения и получения полимерной матрицы. Гелькоут — наружный слой конструкции судна из ПКМ, является стойким к воздействию окружающей среды высокопрочным декоративно-защитным покрытием.

Заполнители — материалы для сэндвич-структур и заполнителей балок набора, создают объем ПКМ для устойчивости оболочек и жесткости. В качестве заполнителей применяются пенопласты, конструкционные элементы в виде сот, сферопластики, балла, а также легковесные маты. Кроме материалов и компонентов для создания ПКМ, изготовление корпусных конструкций судна требует наличия технологической оснастки. Основным элементом для изготовления корпусных конструкций судна является матрица — формообразующая оснастка, повторяющая наружные обводы корпусных конструкций. Основной матрицей, наиболее объемной и материалоемкой, является *матрица корпуса судна*. Применяются как временные матрицы, изготавливаемые из древесины и фанеры, рассчитанные на формовку одной или нескольких конструкций, так и матрицы, изготавливаемые из стеклопластика или металла, рассчитанные на массовую формовку изделий. Для подготовки матриц к формовке конструкций применяют разделительные составы, наносимые на поверхность матриц корпусных конструкций судна для предотвращения адгезии между ПКМ и поверхностью матрицы.

Технологии создания корпусных конструкций из ПКМ допускают применение ряда методов, отличающихся между собой по степени сложности, стоимости, а также используемому оборудованию. В настоящее время, в соответствии с требованиями Правил РС, допускаются к производству и применению на практике следующие методы изготовления корпусных конструкций водоизмещающих судов:

- контактного ручного формования;
- закрытого формования, включающего метод инфузии;
- напыления рубленного волокна.

Допускаемые к применению методы инъекции — одни из методов закрытого формования (метод RTM — Resin Transfer Moulding) и автоклавное формование на основе препрегов — практически не применяются в судостроении.

Наиболее простым с точки зрения технологии, а также самым экономичным в организации является *контактное формование*, используемое для изготовления единичных или небольшого количества корпусных конструкций. Правила РС рекомендуют применять *закрытый метод вакуумной инфузии*, а ручное формование — в местах, где сложно или нецелесообразно использовать метод инфузии (например, стыковка связей набора или соединение конструкций между собой).

Метод инфузии позволяет получать более прочный ПКМ за счет большего содержания армирующего материала. Данный метод позволяет повысить производительность труда и снизить вредное воздействие в производственных помещениях, но его недостаткам можно отнести необходимость в высококвалифицированном персонале, затраты на дорогостоящее оборудование и расходные материалы, повышенные риски потенциальных потерь по сравнению с методом контактного формования.

Метод напыления используется редко при изготовлении корпусных конструкций в судостроении. Правила РС рекомендуют применять этот метод при изготовлении неотчетственных конструкций, не подверженных нагрузкам и не обеспечивающих жесткость. К недостаткам данного метода можно отнести необходимость в дорогостоящем оборудовании и применении ручного труда для прокатки нанесенных слоев.

Результаты (Results)

На практике для изготовления корпусов судов применяются методы контактного формования и инфузии. Правила РС рекомендуют при выборе технологии изготовления конструкций учитывать степень отлаженности применения того или иного метода на верфи-изготовителе, наличие опреде-

ленной квалификации персонала и необходимого оборудования. При этом на практике могут возникнуть определенные условия, влияющие на выбор метода изготовления, кажущейся, на первый взгляд, неочевидным.

Рассмотрим изготовление корпуса водоизмещающего судна длиной 25,5 м и шириной 8 м под надзором РС на одной из верфей Китая. Верфью и заказчиком по согласованию с РС принято решение изготовить корпус головного судна методом контактного формования. Изготовлена матрица корпуса, на ее внутреннюю глянецовую поверхность в несколько приемов нанесен разделительный слой. Поверхность матрицы покрывается гелькоутом и после полимеризации покрытия до отлипа начинается поэтапная формовка обшивки корпуса. Процесс формовки заключается в последовательном нанесении слоев армирующего стекломатериала с пропиткой связующим каждого слоя и уплотнением металлическими валиками (рис. 1). Процесс формовки разбит на этапы и подробно описан в Construction technology instruction book (Инструкция по технологии строительства, содержащая в том числе схему армирования). Итогом формовки является монолитная «скорлупа», повторяющая обводы корпуса судна с толщиной борта 24 мм и толщиной днища 28 мм.



Рис. 1. Процесс формовки обшивки в матрице методом контактного формования

Контактное (ручное) формование имеет высокую трудоемкость и подразумевает использование имеющей производственный опыт малоквалифицированной рабочей силы. Так как площадь поверхности и толщина обшивки значительны, формовка делится на этапы согласно Инструкции. На примере изготовления бортовой обшивки при формовке корпуса в целом процесс разбивается на семь этапов по количеству затрачиваемых рабочих дней.

Каждый этап дает возможность выполнить запланированные работы в течение одного рабочего дня максимальным количеством формовщиков, рационально распределенных по рабочим зонам в матрице корпуса. Ограниченный объем работ каждого этапа обусловлен не только продолжительностью рабочего дня, но и более существенными причинами, такими как длительное нахождение персонала, выполняющего работы внутри матрицы и подвергающегося несмотря на принудительную вентиляцию рабочих зон и применяемых средств индивидуальной защиты, влиянию вредных испарений, саморазогревание ламината при отверждении, возникающее при непрерывной формовке определенного объема, что делает невозможным нанесение последующих слоев и увеличивает интенсивность выделения вредных паров.

В результате изготовления корпуса в соответствии с Инструкции по технологии строительства получена фактическая толщина обшивки борта 24–25 мм при проектной толщине 24 мм. Следует отметить, что отклонение толщины обшивки от проектной в сторону увеличения обусловлено технологическими перекосями стекломатериала в ламинате ПКМ.

При строительстве второго судна этого проекта верфью было предложено изготовление обшивки корпуса *методом инфузии*. Это было связано с сокращением сроков работ в крытом эллинге с целью освобождения производственного помещения для других проектов и ввиду предстоящего на-

ступления холодного времени года, непригодного для изготовления объемных конструкций из ПКМ. Необходимо отметить, что на верфях Китая активно применяется метод инфузии для изготовления корпусных конструкций, чему способствует большой выбор на китайском рынке необходимых материалов и оборудования, а также наличие подготовленных квалифицированных специалистов.

Решение о применении метода инфузии должно быть принято по результатам опытной формовки фрагмента обшивки левого борта в районе мидель-шпангоута шириной 2 м и протяженностью от диаметральной плоскости до ширстрека (рис. 2) после согласования с РС соответствия фрагмента обшивки требованиям в первую очередь к размерам толщин.



Рис. 2 Изготовление фрагмента обшивки корпуса судна методом инфузии

Когда фрагмент обшивки был изготовлен, результаты замеров толщины борта показали уменьшение толщины по сравнению с изготовленной методом контактного формования на 2,0–2,5 мм. Это объясняется в первую очередь тем, что при изготовлении обшивки корпуса методом контактного формования по завершении формовки каждого этапа в течение нескольких часов просушки в верхнем слое ламината формируется слой полимеризовавшегося связующего, дающего дополнительную прибавку к толщине обшивки.

Теоретически при изготовлении обшивки непрерывно до проектной толщины вынужденных увеличений толщины не будет, но изготовление корпуса методом контактного формования в один прием невозможно технологически. Опытным путем определено, что после каждого этапа формовки на поверхности ламината образуется слой отвержденного связующего толщиной 0,2–0,3 мм. Кроме того, уменьшение фактической толщины явилось следствием более плотного ПКМ с увеличенным содержанием армирующего материала и снижения количества пустот в ламинате, прижатом пленкой под действием вакуума. Физико-механические свойства конструкций возрастают при увеличении объемного содержания армирующего материала в ламинате, что в наибольшей степени реализует свойства армирующих волокон в готовом ПКМ.

Отобранные из фрагмента обшивки образцы подверглись комплексу физико-механических испытаний в соответствии с программой испытаний по определению свойств прочности при растяжении, изгибе и межслойном сдвиге (рис. 3). Прочностные характеристики образцов, отобранных из фрагмента обшивки, изготовленной методом инфузии, превысили показания прочности образцов обшивки корпуса судна, изготовленной методом контактного формования.

В соответствии с требованиями Правил РС для однослойной наружной обшивки регламентируются тип, марка, способ укладки армирующего материала и технология изготовления из него обшивки с использованием методов контактного формования или инфузии. Это является единственным упоминанием о методах изготовления в требованиях к определению толщины обшивки. Настоящими Правилами РС не лимитируется численное влияние метода изготовления на величину толщины обшивки. В такой ситуации при подтверждении проектантом выбора толщины обшивки

расчетами общей и местной прочности корпуса оптимально принимать в качестве базового метод контактного формования как менее затратный. При этом выбор метода зависит не только от желания заказчика судна сократить расходы, но и от возможностей верфи-изготовителя. Метод контактного формования на верфях-изготовителях постепенно вытесняется методом инфузии, технически более совершенным и более экологичным.



Рис. 3. Процесс проведения физико-механических испытаний в заводской лаборатории

В целях поддержки рекомендаций Правил РС по преимущественному применению метода инфузии авторами работы предлагается внести в Правила РС, в гл. 3.2 «Конструкция корпуса», в пп. 3.2.1.1.7 следующие пояснения:

- определение толщины обшивки в средней части корпуса судна подразумевает применение метода инфузии, устанавливающего нижний предел толщины обшивки, не ограничивая при этом применение метода контактного формования при одинаковой схеме армирования;
- толщину обшивки s в средней части корпуса судна, в соответствии с Правилами РС, следует определять как максимальное значение из двух величин: $s = \max(s_d, s_s)$, где s_d, s_s — толщина обшивки, определяемая по графикам (рис. 4), исходя из заданных требований к жесткости и прочности.

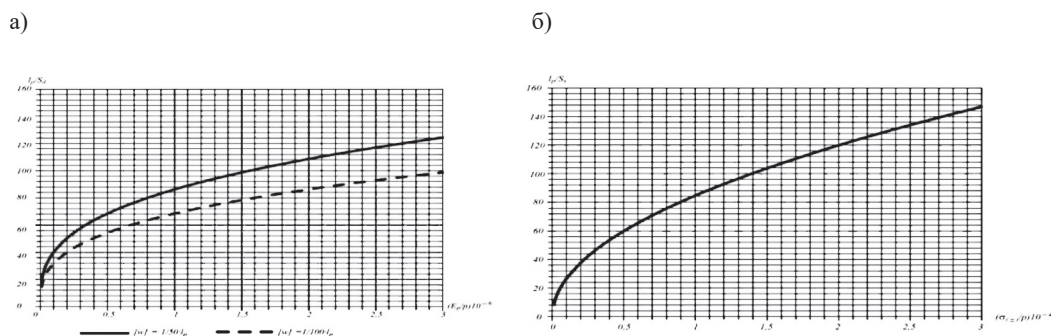


Рис. 4. Графики зависимости отношения максимальной длины l_p , м, опорного контура пластины к ее толщине s_d (s_s), м, от отношения свойств материала $E_p, \sigma_{(\pm)}$, МПа, пластины к расчетному давлению p :

a — требование по допускаемым прогибам $[w] = 1/50 l_p$, $[w] = 1/100 l_p$;

$б$ — требование по допускаемым напряжениям $[\sigma] = 0,36 \sigma_{(\pm)}$;

E_p — расчетный модуль нормальной упругости материала обшивки, МПа;

$\sigma_{(\pm)}$ — минимальное значение предела прочности материала обшивки, МПа;

l_p — длина опорного контура пластины, м

Результаты эксперимента по применению метода инфузии при переработке ПКМ в обшивку корпуса показали уменьшение толщины обшивки, изготовленной в соответствии с инструкцией, по сравнению с проектной. Из экономических соображений было принято решение второй корпус судна проекта изготавливать методом контактного формования, что позволило сохранить проектную толщину обшивки, не затрачивая средств и времени на дополнительный слой ламината.

Обсуждение (Discussion)

Отказ от применения метода инфузии позволил избежать дополнительных затрат на приобретение армирующего материала для дополнительных слоев с учетом перерасхода связующего для возможности применения метода контактного формования, затрат на расходные материалы, такие как вакуумная пленка, жертвенная ткань, сетка для распределения связующего, герметизирующий шнур, полиэтиленовые сплошные и спиральные трубки, арматура для вакуумного канала, амортизации дорогостоящего оборудования, оплаты дефицитной квалифицированной рабочей силы, а также минимизировать производственные риски в случае, когда *что-то пошло не так*.

Заключение (Conclusion)

В настоящее время в мире для изготовления корпусных конструкций водоизмещающих судов применяется стеклопластик — ПКМ на основе стекловолоконного армирующего материала. В качестве технологии изготовления конструкций традиционно применяется метод контактного формования, в последние десятилетия динамично замещаемый методом инфузии. При выборе метода Правилами РС рекомендуется учитывать степень владения верфью-изготовителем тем или иным методом изготовления конструкций, наличие квалифицированной рабочей силы и необходимого оборудования. Правилами РС рекомендуется применять преимущественно метод инфузии. Метод контактного формования допускается применять в местах, где затруднено или невозможно применение метода инфузии, например, в местах соединений и усиления конструкций. Метод напыления допускается к применению только для вспомогательных корпусных конструкций, на которые не распространяются требования Правил РС к прочности и жесткости.

Правила РС рекомендуют внедрение и применение технологически совершенных методов изготовления корпусных конструкций судов из ПКМ. В условиях рыночной экономики верфь и заказчик в процессе согласования с РС метода изготовления корпусных конструкций судна могут сделать, на первый взгляд, неочевидный выбор в пользу той или иной технологии. В рассматриваемом случае оптимальным оказался выбор в пользу метода контактного формования, так как он выглядел экономически более эффективным в первую очередь за счет применения меньшего объема основных и вспомогательных материалов, малоквалифицированной рабочей силы и отсутствия большого риска форс-мажорных обстоятельств при проведении технологических операций. Возможно, экономия на этапе строительства компенсируется затратами судовладельца на корпусные ремонтные работы по борьбе с осмотическими явлениями, приводящими к расслоению ламината в течение срока эксплуатации судна.

Объемы и степень повреждений снижаются при изготовлении корпусных конструкций, в первую очередь обшивки корпуса методом инфузии, гарантирующим более качественный ПКМ. Современные материалы и способы работы с ними, применяемые в композитном судостроении, постоянно совершенствуются и практически сводят построечные и эксплуатационные дефекты конструкций к минимуму.

Для рационального применения технологий переработки ПКМ в корпусные конструкции на этапе проектирования необходимо согласовать определение расчетных толщин не только исходя из заданных требований к жесткости и прочности материала и конструкций в целом, но и учитывая применяемый метод изготовления. Для этого, возможно, потребуются корректирующие поправки к толщинам конструкций в зависимости от применяемого метода.

Предложение о принятии метода инфузии базовым в расчетах толщины обшивки корпуса может служить одним из вариантов учета метода изготовления корпусных конструкций корпуса.

Решение задач в этой области позволит беспрепятственно внедрять и применять на производстве более совершенные технологии, использующие метод инфузии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутейников М. А. Требования Российского морского регистра судоходства к композиционным материалам. Опыт наблюдения, перспективы развития / М. А. Кутейников, С. М. Кордонец // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2018. — № S2. — С. 140–143. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-140-143. — EDN YQZQMP.
2. Францев М. Э. Проектный анализ водоизмещающих однокорпусных противоминных кораблей из композиционных материалов / М. Э. Францев // Композитный мир. — 2020. — № 4(91). — С. 58–65. — EDN PUPMZX.
3. Фирсова А. В. Технологические особенности и перспективы применения полимерных композиционных материалов при постройке судов / А. В. Фирсова, М. Ю. Щигорцов // Морские интеллектуальные технологии. — 2022. — № 4–2(58). — С. 58–66. DOI: 10.37220/MIT.2022.58.4.006. — EDN LQXYQO.
4. Москаленко М. А. Методы изготовления корпусных конструкций судов из полимерных композиционных материалов / М. А. Москаленко, С. Е. Черняхович, И. В. Тузюк // Флагман науки. — 2025. — № 1(24). — С. 391–394. — EDN LWQIOR.
5. Донецкий К. И. Методы инфузии для изготовления полимерных композиционных материалов (обзор). Часть 1 / К. И. Донецкий, М. Н. Усачева, А. В. Хрульков // Труды ВИАМ. — 2022. — № 6(112). — С. 58–67. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-58-67. — EDN BDATWN.
6. Соколов В. В. Влияние количества слоев армирующего материала на толщину и весовые характеристики углепластиковых деталей, получаемых методом вакуумной инфузии / В. В. Соколов, П. Ю. Антипов, О. А. Голишев, С. В. Долинский // Пластические массы. — 2021. — № 1–2. — С. 62–64. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-62-64. — EDN IFIPTS.
7. Францев М. Э. Способ оценки технического состояния корпуса судна из композитов в процессе эксплуатации / М. Э. Францев // Контроль. Диагностика. — 2009. — № 11. — С. 61–68. — EDN LLREZB.
8. Емельянов М. Д. Ремонт осмотических повреждений наружной обшивки из стеклопластика / М. Д. Емельянов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2018. — № 50–51. — С. 14–21. — EDN UYIDUE.
9. Емельянов М. Д. Применение композиционных материалов при ремонте корпусов морских судов / М. Д. Емельянов, Э. В. Соминская // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2017. — № 48–49. — С. 77–84. — EDN ZULPOJ.
10. Емельянов М. Д. Упругие характеристики композитов судовых корпусных конструкций / М. Д. Емельянов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2014. — № 37. — С. 16–22. — EDN SZIUWB.

REFERENCES

1. Kuteynikov, M. A. and S. M. Kordonets. “Composite material requirements of russian maritime register of shipping. experience and prospects for future developments.” *Transactions of The Krylov State Research Centre* S2 (2018): 140–143. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-140-143.
2. Frantsev, M. E. “Proektnyy analiz vodoizmeschayuschikh odnokorpusnykh protivominnykh korabley iz kompozitsionnykh materialov.” *Composite World* 4(91) (2020): 58–65.
3. Firsova, A. V. and M. Yu. Schigortsov. “Technological features and prospects for the use of polymer composite materials in the construction of ships.” *Marine intellectual Technologies* 4–2(58) (2022): 58–66. DOI: 10.37220/MIT.2022.58.4.006.
4. Moskalenko, M. A., S. E. Chernyakhovich and I. V. Tuzyuk. “Methods of manufacturing ship hull structures from polymer composite materials.” *Flagman nauki* 1(24) (2025): 391–394.
5. Donetskiy, K. I., M. N. Usacheva and A. V. Khrul'kov. “Infusion methods for the manufacture of polymer composite materials (review). Part 1.” *Proceedings of Viam* 6(112) (2022): 58–67. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-58-67.
6. Sokolov, V. V., P. Yu. Antipov, O. A. Golishev and S. V. Dolinskiy. “Effect of number of layers of the reinforcing material on the thickness and weight characteristics of carbon fiber parts produced by vacuum infusion.” *Plasticheskie Massy* 1–2 (2021): 62–64. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-62-64.

7. Frantsev, M. E. "The estimation mode of the fiberglass boat hull technical condition in exploitation." *Kontrol'. Diagnostika* 11 (2009): 61–68.

8. Emel'yanov, M. D. "Repair of osmotic damage to the fiberglass outer shell plating." *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva* 50–51 (2018): 14–21.

9. Emel'yanov, M. D. and E. V. Sominskaya. "Application of composite materials in the repair of structures of sea-going ships." *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva* 48–49 (2017): 77–84.

10. Emel'yanov, M. D. "Uprugie kharakteristiki kompozitov sudovykh korpusnykh konstruktsey." *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva* 37 (2014): 16–22.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Москаленко Михаил Анатольевич —
доктор технических наук, профессор кафедры
технологии и организации судостроения
и судоремонта

Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, г. Владивосток, ул.
Верхнепортовая, 50а
e-mail: asmsh@rambler.ru

Черняхович Станислав Евгеньевич — аспирант
Морской государственный университет имени
адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50а
e-mail: sboats@mail.ru

Тузюк Илья Витальевич — аспирант
Морской государственный университет имени
адмирала Г. И. Невельского
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50а
e-mail: illisarjt@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Moskalenko Mikhail A. —
Grand PhD in Technical Sciences,
Professor of the Department of Technology
and Organization of Shipbuilding and Ship Repair
Maritime State University
named after Admiral G. I. Nevelskoy
50a, Verkhneportovaya str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation,
e-mail: asmsh@rambler.ru

Chernyakhovich Stanislav E. — Postgraduate
Maritime State University
named after Admiral G. I. Nevelskoy
50a, Verkhneportovaya str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation,
e-mail: sboats@mail.ru

Tuzyuk Ilya V. — Postgraduate
Maritime State University
named after Admiral G. I. Nevelskoy
50a, Verkhneportovaya str., Vladivostok, 690059,
Russian Federation,
e-mail: illisarjt@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 20 августа 2025 г.

Received: Aug. 20, 2025.