

УДК 629.12

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Саламех Али¹, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Судомеханические дисциплины»

e-mail: a.salameh@mail.ru

Мелешин Максим Алексеевич², аспирант

e-mail: meleshin.maxim@yandex.ru

¹ Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – Астраханский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия

² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Развитие современных технологий требует новых конструкторских решений. Одним из наиболее интересных и перспективных решений это применение композиционных материалов (КМ) для изготовления судовых конструкций и оборудования. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) стали все чаще использовать в современном промышленном машиностроении, их используют, когда никакой другой материал не отвечает растущим темпам и требованиям технологий будущего. Внедрение полимерных композиционных материалов является одним из важнейших этапов формирования и развития современного судостроения.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, предел прочности, растяжение, сжатие, изгиб, усталостная долговечность.

SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING SHIP STRUCTURES AND EQUIPMENT FROM POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Salameh Ali¹, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head at the Department of «Ship Mechanical Disciplines»

e-mail: a.salameh@mail.ru

Meleshin Maxim Alekseevich², Doctoral Student

e-mail: meleshin.maxim@yandex.ru

¹ The Caspian Institute of Marine and River Transport named after Admiral F.M. Apraksin – Astrakhan branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia

² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The development of modern technologies requires new design solutions. One of the most interesting and promising solutions is the use of composite materials (CM) for the manufacture of ship structures and equipment. Polymer composite materials (PCMs) have become increasingly used in modern industrial engineering; they are used when no other material

meets the growing pace and requirements of future technologies. The introduction of polymer composite materials is one of the most important stages in the formation and development of modern shipbuilding.

Keywords: polymer composite materials, tensile strength, tensile, compression, bending, fatigue life.

Предмет исследования

Область применения полимерных композиционных материалов постоянно расширяется в отличие от традиционных конструкционных материалов, таких как металл, алюминиевые сплавы, дерево и железобетон. Это связано с особенностью характеристик ПКМ к которым, можно отнести в первую очередь малую удельную прочность, высокую коррозионную стойкость и устойчивость к воздействию агрессивной среде такой как морская вода [1].

Стоит отметить, что конструкции, изготовленные из ПКМ, имеют отличительную особенность, которая заключается в возможности контролирования и регулирования механических характеристик данных конструкций на этапе их изготовления одним из следующих способов:

- оптимизацией технологического процесса изготовления конструкции;
- рациональным выбором состава компонентов и элементов (армирующие и связующие материалы) являющихся основой ПКМ;
- правильным подбором схемы и порядка укладки составляющих элементов и компонентов [2].

Представленная отличительная особенность ПКМ является поводом для проведения представленных в данной статье исследований.

В статье представляются результаты испытания по определению механических характеристик, в частности пределов прочности при изгибе, растяжении и сжатии в зависимости от состава, количества и расположения слоев ПКМ, а также рассмотрена возможность использования ПКМ для изготовления цистерн энергетических установок транспортных судов. Получены результаты изменения пределов прочности образцов после погружения их в жидкость при разных схемах армирования.

В основу структуры образцов из ПКМ, используемых для проведения исследования применялись следующие компоненты [3]:

- стекломат марки (EMC-600) и ровинговая стеклоткань марки EWR 580 как армирующие элементы;
- в качестве связующего рассматривались следующие типы смол: полиэфирная марки Яркопол -110 ТУ 2226-131-05011907-2004, винилэфирная марки Crystic VE 679 PA и эпоксидная ЭД-20 ГОСТ 10587-84 смолы.

Все образцы, использованные для проведения испытаний, изготовились методом контактного формования согласно ГОСТам 33345-2015 и 33346-2015.

Структурный состав четырех групп образцов для проведения исследования изготавливались с использованием следующих компонентов:

Образцы группы А- в структуру данной группы образцов входят эмульсионный стекломат и полиэфирная смол;

Образцы группы В – в состав образцов данной группы входят эмульсионный стекломат, ровинговая стеклоткань и полиэфирная смола;

Образцы группы С – образцы изготовились с применением эмульсионного стекломата и винилэфирной смолы;

Образцы группы D – образцы на основе эмульсионного стекломата и эпоксидной смолы.



Испытание образцов из ПКМ для определения пределов прочности проводилось в сертифицированной и лицензированной лаборатории Российским морским регистром судоходства и речным классификационным обществом «Лаборатория по изучению износов и испытаниям материалов». Определение пределов прочности при растяжении и сжатии проводилось согласно ГОСТу 11262-2017 на универсальной испытательной машине типа Р-5, а испытание на изгибе регламентировались ГОСТом 4648-2014.

Результаты проведенных испытаний подверглись статистической обработке, где было обнаружено, что графики пределов прочности при испытаниях на сжатие, растяжение и изгиб изменяются по нормальному закону распределения, что соответствует большинству результатов механических испытаний материалов, в том числе ПКМ.

Результаты определения пределов прочности образцов в зависимости от типа связующего компонента [4]

По полученным результатам в ходе проведенных испытаний на образцах групп А, В, С и D, с целью установления влияния типа используемых смол на механические характеристики ПКМ были рассчитаны средние значения пределов прочности при растяжении, сжатии и при изгибе, который предлагает использовать два вида образцов – плоские и двухсторонние лопатки.

Полученные результаты представлены иллюстрационным способом в виде графиков на Рисунке 1.

На графиках использовались следующие обозначения:

- П.С. – полиэфирная смола;
- В.С. – винил эфирная смола;
- Э.С. – эпоксидная смола

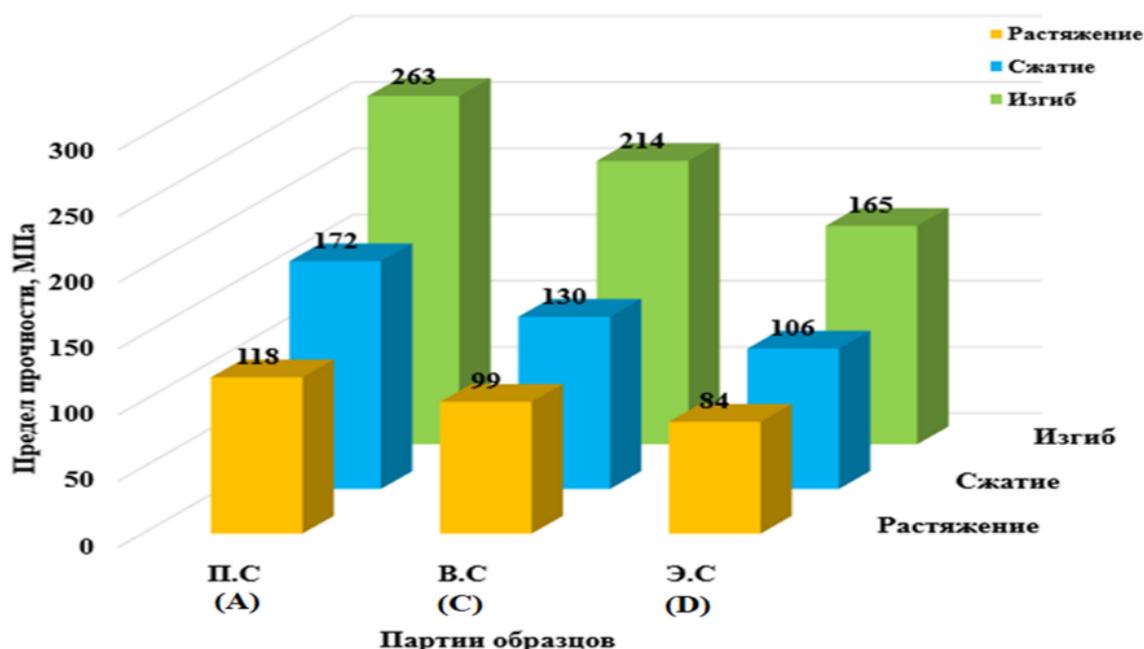
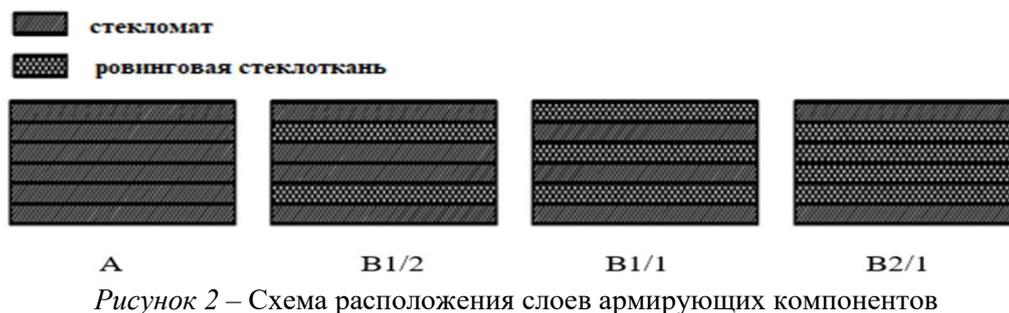


Рисунок 1 – Графики влияния типа связующего на прочностные характеристики ПКМ

Результаты показывают, что применение полиэфирной смолы в качестве связующего компонента для создания конструкций из ПКМ повышает предел прочности при растяжении, сжатии, а также при изгибе по сравнению с конструкциями, изготовленными с использованием связующего компонента в виде винилэфирной или эпоксидной смол.

Результаты определения влияние схемы укладки армирующих элементов на пределы прочности образцов

С целью решения поставленной задачи были изготовлены шестислойные образцы с разной схемой укладки слоев как представлено на Рисунке 2.



Для изготовления всех партий образцов использовалась только полиэфирная смола в одинаковых пропорциях. Структурный состав каждой партии образцов представлен в табличной форме (см. Таблица 1).

Таблица 1

Схема расположения армирующих компонентов

Обозначение партии образцов	Количество слоёв ровинговой стеклоткани в составе образцов	Количество слоёв стекломата в составе образцов	Отношение количества ровинговой стеклоткани к количеству стекломата
А	-	6	0
В 1/2	2	4	1/2
В 1/1	3	3	1/1
В 2/1	4	2	2/1

Графики, представленные на Рисунке 3, показывают зависимость средних значений пределов прочности образцов при соответствующих испытаниях и полученных после статистической обработки результатов испытаний от схемы укладки армирующих компонентов.

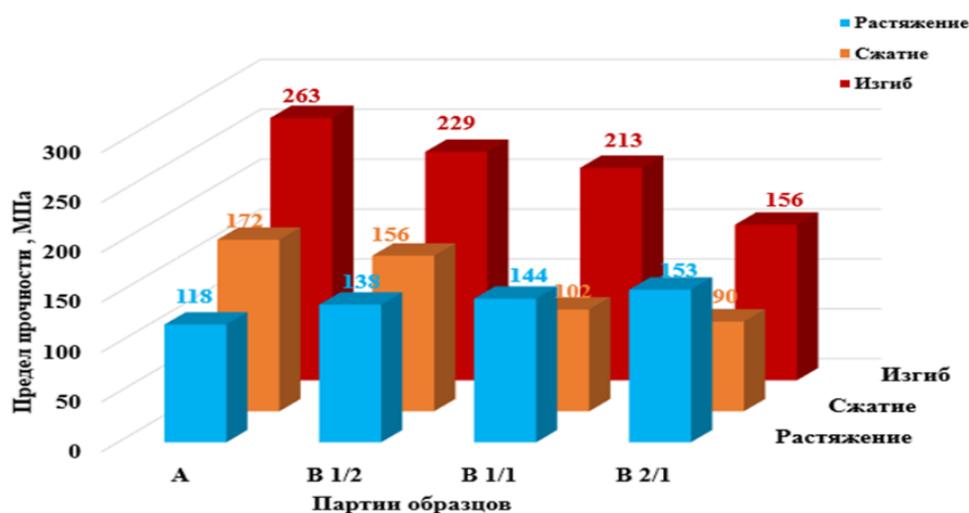


Рисунок 3 – Графики зависимости пределов прочности образцов от схем расположения армирующих компонентов

Полученные результаты показывают, что увеличение содержания ровинговой стеклоткани в составе образцов положительно влияет на предел прочности при растяжении повышая его значения, однако наблюдается обратная картина при определении пределов прочности на сжатии и изгибе, где заметно, что увеличение содержания ровинговой стеклоткани в структуре образцов снижает пределы прочности.

Данный вывод объясняется тем, что ровинговая стеклоткань является двунаправленной стеклотканью, где несущая способность в направлении волокна отличается от этой способности в других направлениях. Поскольку эта ткань стеклянная, то её поведение под нагрузкой аналогично стеклянным волокнам, которые выдерживают растягивающие нагрузки гораздо лучше, чем сжимающие и изгибающие.

Результаты определения влияния количества слоев на предел прочности образцов при растяжении [5]

Данное исследование проводилось на образцах с разным количеством слоев, где за основу была принята ячейка, которая состоит из двух слоев стекломата и одного слоя ровинговой стеклоткани. Испытания проводились на образцах, состоящих из одной ячейки (3 слоя), двух ячеек (6 слоев), трех ячеек (9 слоев), четырех ячеек (12 слоев) и пяти ячеек (15 слоев). Схема расположения слоев представлена на Рисунке 4.

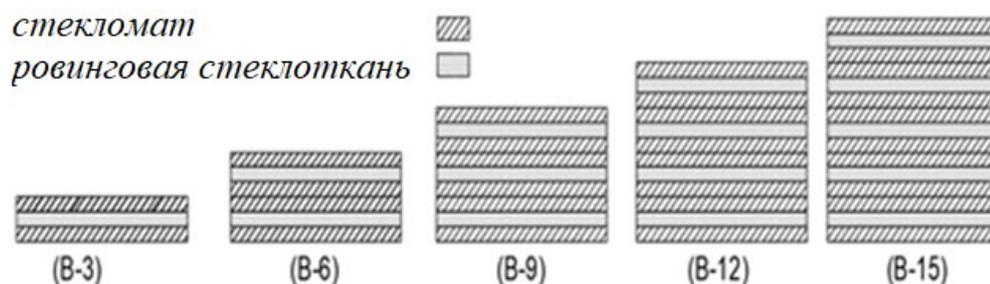


Рисунок 4 – Образцы с разным количеством слоев для испытания на растяжение

Построенные графики изменения пределов прочности образцов при растяжении в зависимости от количества армирующих компонентов на Рисунке 4. показывают линейность отношения между количеством слоев и пределом прочности. Однако снижение пределов прочности при увеличении количества слоев, несмотря на то, что разрушающая нагрузка при этом заметно повышается объясняется тем, что с увеличением количества слоев, связано с увеличением количества добавленной смолы в сечениях образца, что приведет к увеличению толщины материала и, следовательно, к увеличению площади сечения испытываемых образцов с одной стороны, а с другой – к увеличению количества внутренних связей в каждом слое на границах раздела между смолой и волокном.

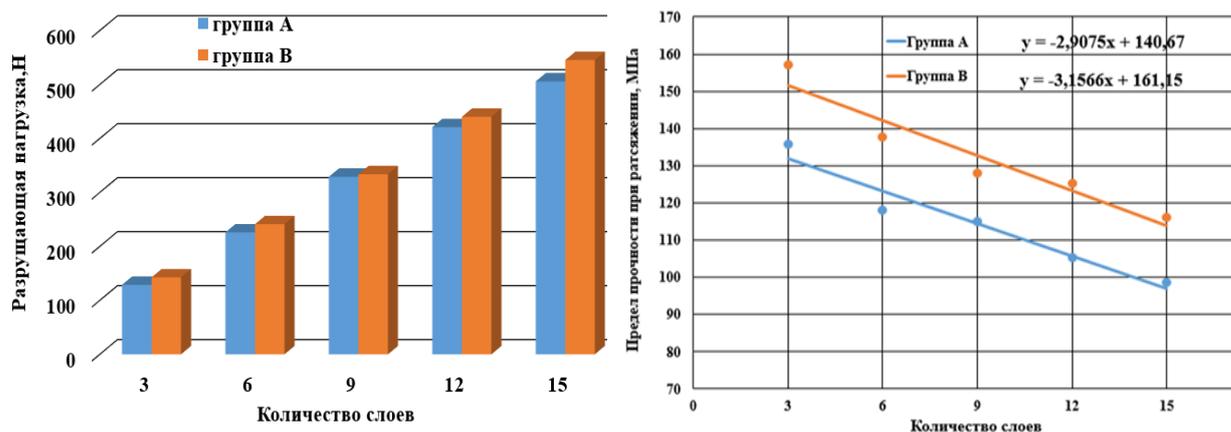


Рисунок 4 – График изменения пределов прочности и разрушающих нагрузок образцов из ПКМ в зависимости от количества слоев армирующих компонентов

Исследование о возможности применения ПКМ для изготовления судовых цистерн

Российский морской регистр судоходства информирует о допуске с 1 января 2024 года к международной морской перевозке нефтепродуктов в контейнерах-цистернах, изготовленных из МКМ, что послужило аргументом для рассмотрения возможности использования ПКМ для изготовления цистерн судовых энергетических установок [6]. С этой целью необходимо проводить исследования для определения способности жидкости к проникновению в состав ПКМ и установления степени изменения механических характеристик в результате проникновения жидкости в структуру материала.

Для проведения экспериментов были изготовлены шестислойные образцы из (ПКМ) двух разных схем армирования. Для испытаний на изгиб, сжатие и растяжение после их погружения в воду на определенный промежуток времени.

Схема армирования образцов следующая:

Схема I: стекломат, стекломат, ровинговая стеклоткань, ровинговая стеклоткань, стекломат, стекломат.

Схема II: ровинговая стеклоткань, ровинговая стеклоткань, стекломат, стекломат, ровинговая стеклоткань, ровинговая стеклоткань.

Результаты испытаний образцов из ПКМ на растяжение, сжатие и изгиб после замачивания в воде представлены на рисунках 5, 6 и 7 соответственно.

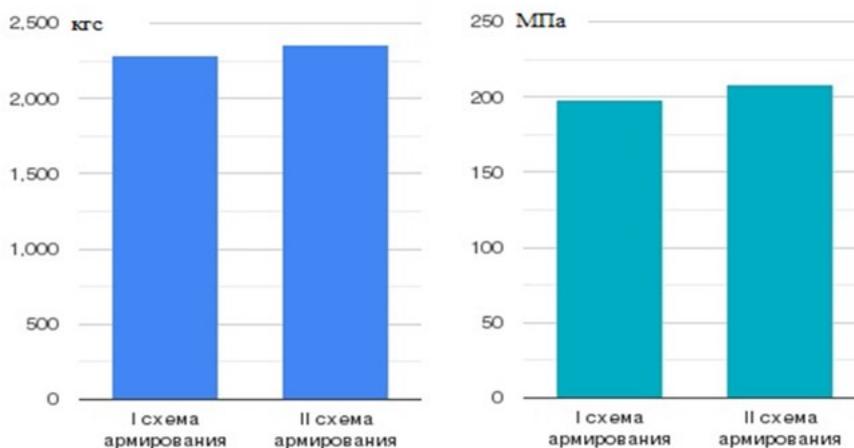


Рисунок 5 – Графики зависимости средних значений разрушающих нагрузок и пределов прочности при испытании образцов на растяжение

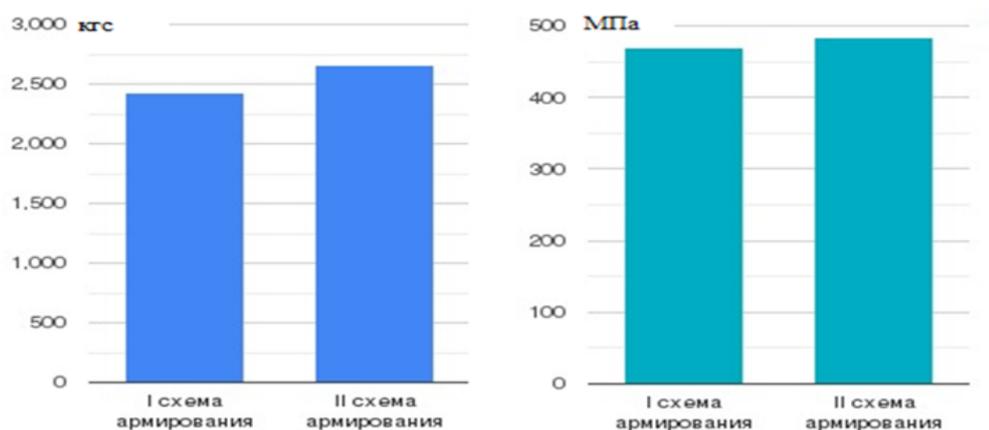


Рисунок 6 – Графики зависимости средних значений разрушающих нагрузок и пределов прочности при испытании образцов на сжатие

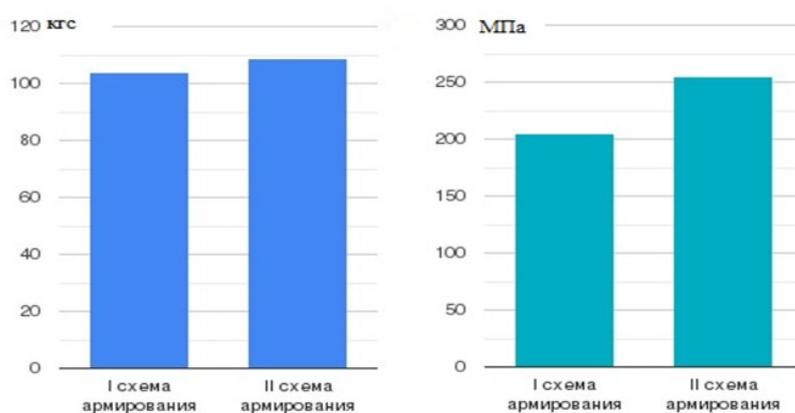


Рисунок 7 – Графики изменений средних значений разрушающих сил и пределов прочности образцов при испытании на изгиб

Заключение

Проведенные исследования показывают, что механические характеристики ПКМ зависят от типа составляющих компонентов и количества слоев. Установлено, что применение полиэфирной смолы в качестве связующего компонента повышает пределы прочности по сравнению с другими типами смол. Увеличение количества слоев ровинговой стеклоткани в структуре ПКМ повышает предел прочности при растяжении и снижает его при сжатии и изгибе. В статье доказано, что с ростом количества слоев армирующих компонентов снижается предел прочности при растяжении, но при этом разрушающая нагрузка увеличивается.

Получены результаты могут служить решением вопроса о возможности использования ПКМ для изготовления судовых цистерн.

Список литературы:

1. Мишкин, С.И. Полимерные композиционные материалы в судостроении / С.И. Мишкин, М.С. Дориомедов, А.И. Кучеровский // Новости материаловедения. наука и техника. – 2017. – № 1 (25). – с. 60 – 70
2. Кутейников, М.А. Разработка новых правил по конструкции и прочности морских судов из полимерных композиционных материалов / М.А. Кутейников, С.М. Кордонец,

Н.Н. Федонюк // Научно-технический сборник российского морского регистра судоходства. – 2017. – № 46 – 47. – с. 64 – 71.

3. Алсаид Мазен. Методика изготовления образцов из многослойных композиционных материалов для исследования их механических свойств / Алсаид Мазен, Саламех Али // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 4. – С. 16 – 23.

4. Али, С. Исследование влияния типа связывающего компонента на механические характеристики полимерных композиционных материалов / С. Али, А. Мазен // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – Т. 1, № 1 (55). – С. 52 – 62.

5. Алсаид, М. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении / М. Алсаид, А. Саламех // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 2. – С. 37 – 47.

6. Правила классификации и постройки морских судов Часть II. Корпус. – СПб: Российский морской регистр судоходства. – 2019. – 280 с.

