DOI https://doi.org/10.46845/2541-8254-2026-4(56)-105-105
УДК 678.5/.6-96

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ



Е. Я. Лякина, студентка
E-mail: liakinaelizaveta1109@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

П. Р. Гришин, ст. преподаватель НОЦ СМИТ
E-mail: pavel.grishin@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

В данной статье представлен анализ физико-механических характеристик традиционных стеклопластиков на основе эпоксидной смолы Этал-247 и фотополимерных смол (включая ABS-подобные), армированных по комбинированной схеме (стеклоткань и стекломат), характерной для корпусов маломерных судов. Испытания на растяжение проводились по ГОСТ 11262–2017. Образцы, разрушившиеся вне рабочей зоны, были исключены из выборки. Установлено, что традиционные стеклопластики демонстрируют более высокие и стабильные прочностные характеристики. В свою очередь, ABS-подобные фотополимерные смолы показывают приемлемые прочностные показатели при значительном сокращении времени отверждения, что делает их перспективными для оперативного ремонта в аварийных ситуациях на борту. Даны рекомендации по использованию материалов в судоремонте с учетом требований к трудозатратам и топологии дефектов.

Ключевые слова: *фотополимерные смолы, судоремонт, эпоксидная смола, испытания на растяжение.*

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в судостроении и судоремонте активно применяются технологии, направленные на улучшение физико-механических характеристик конструкций и снижение эксплуатационных затрат [1, 2]. Несмотря на то, что более 70 % стеклопластиков в судостроении изготавливаются на основе полиэфирных смол, эпоксидные смолы занимают отдельную, важную нишу. Они обладают превосходными адгезионными и прочностными характеристиками, что делает их предпочтительными для ответственных конструкций и высококачественного ремонта, выступая в качестве эталона для сравнения [3, 4].

В последние годы особый интерес представляет использование фотополимерных смол, отверждаемых под действием ультрафиолетового излучения, для оперативного ремонта частей и элементов оснастки непосредственно на плаву [5, 6]. В отличие от традиционных стеклопластиков, процесс УФ-полимеризации практически не зависит от температуры и влажности окружающей среды, что критически важно в полевых или судовых условиях [5]. Однако в открытых источниках недостаточно информации о сравнительных характеристиках традиционных и фотополимерных смол при использовании реалистичных схем армирования, что определяет актуальность настоящего исследования, сфокусированного именно на задачах судоремонта.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы – провести сравнительный анализ физико-механических характеристик, а именно предела прочности при растяжении, традиционных стеклопластиков на основе эпоксидной модифицированной смолы ЭТАЛ-247 и фотополимерных смол (стандартных и ABS-подобных типов), армированных стеклотканью и стекломатом, для обоснования возможности применения их в судоремонте [5, 6].

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

Изготовить образцы трех типов композитных материалов путем ручной выкладки.

Провести испытания на растяжение и исключить невалидные образцы (с разрывом у галтели).

Сопоставить полученные результаты и рассчитать относительные показатели прочности.

Составить рекомендации по применению материалов в судоремонте с учетом временных трудозатрат.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступают образцы композитных материалов, изготовленных путем ручной выкладки [3, 4]. В судовых корпусных конструкциях зачастую применяется комбинация слоев стеклоткани и стекломата. Однако для фундаментального сравнительного анализа базовых физико-механических свойств самих связующих (смол) в данной работе было принято решение исследовать образцы, армированные раздельно: только стеклотканью и только стекломатом. Это позволяет исключить влияние межслойного взаимодействия и изолировать вклад именно типа полимерной матрицы.

В качестве армирующего компонента использовались: стеклоткань (марка Т-115, поверхностная плотность 115 г/м²) и стекломат (марка ЭМ-300, поверхностная плотность 300 г/м²). Количество слоев в образцах составляло 3.

Для изготовления стеклопластиков была выбрана эпоксидная модифицированная смола ЭТАЛ-247 с отвердителем ЭТАЛ-45М. В качестве фотополимерных смол были выбраны смолы фирмы Anycubic Standart и Anycubic ABS.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание образцов происходило методом ручной выкладки [3, 4]. Для традиционных стеклопластиков использовалась эпоксидная модифицированная смола ЭТАЛ-247 с отвердителем ЭТАЛ-45М. Отверждение происходило естественным путем при комнатной температуре в течение 24 ч.

Нанесение фотополимерных смол осуществлялось послойно с промежуточной сушкой под УФ-лампой (длина волны 365–405 нм) для обеспечения полноценной полимеризации каждого слоя [5, 6].

Испытания на растяжение проводились на универсальной разрывной машине при комнатной температуре в соответствии с ГОСТ 11262-2017 [7]. Согласно требованиям стандарта, образцы, разрушение которых произошло в зоне захватов (в районе галтели), а не в рабочей части, были признаны невалидными и исключены из итоговой статистической выборки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследований.

По итогам экспериментальных исследований на растяжение получились зависимости.

На рисунке 1 предоставлена диаграмма результатов растяжения образцов эпоксидной смолы со стеклотканью.

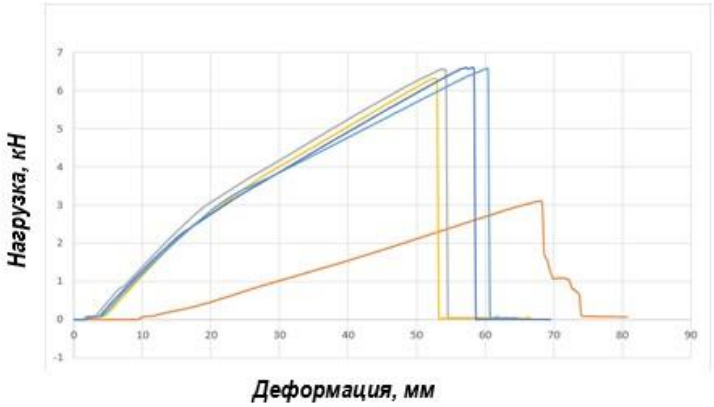

Рисунок 1 – Диаграмма растяжения эпоксидной смолы со стеклотканью

Экспериментальные данные эпоксидной смолы со стекломатом приведены на рисунке 2.

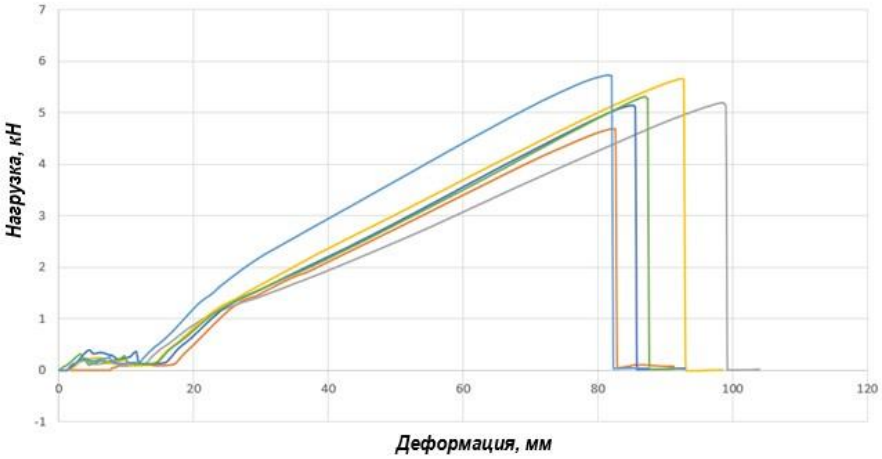

Рисунок 2 – Диаграмма растяжения эпоксидной смолы со стекломатом

Как видно из графиков, традиционный стеклопластик демонстрирует линейно-упругое поведение до достижения предела прочности, после чего происходит разрушение образца.

Результаты же растяжения стандартной фотополимерной смолы представлены на рисунках 3 и 4.

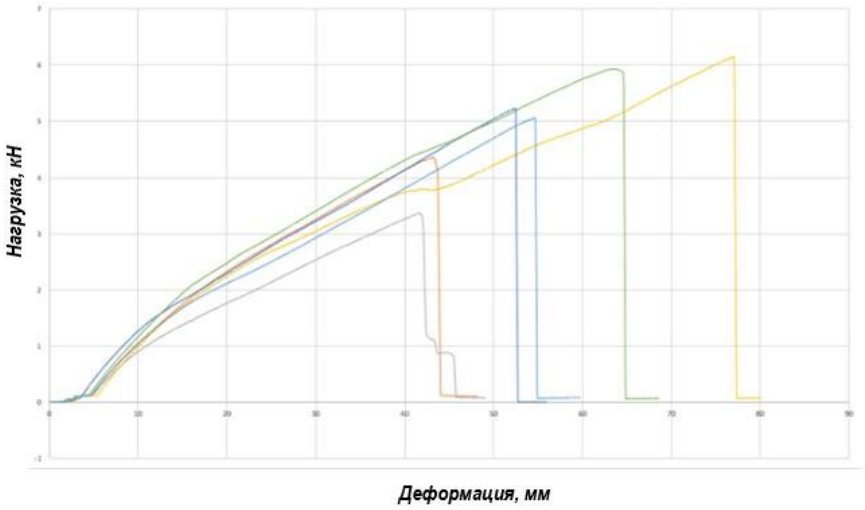

Рисунок 3 – Диаграмма растяжения фотополимерной смолы со стеклотканью

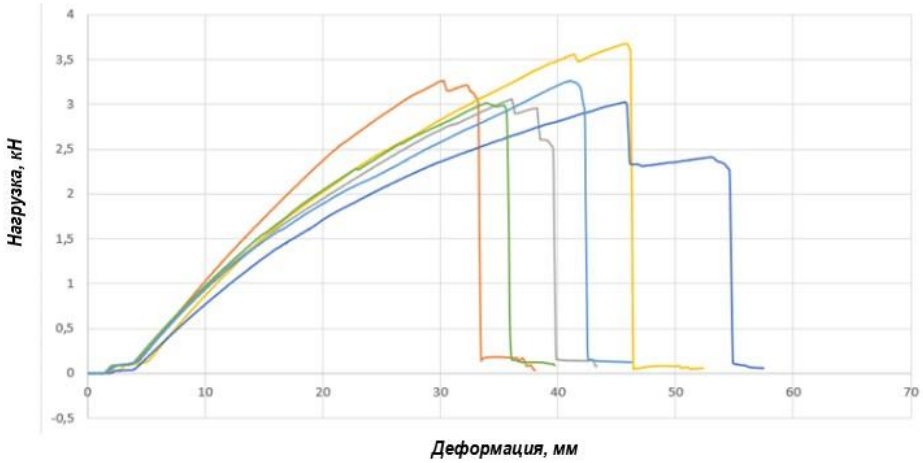

Рисунок 4 – Диаграмма растяжения фотополимерной смолы со стекломатом

На рисунках 5 и 6 представлены результаты исследования фотополимерной ABS-подобной смолы.

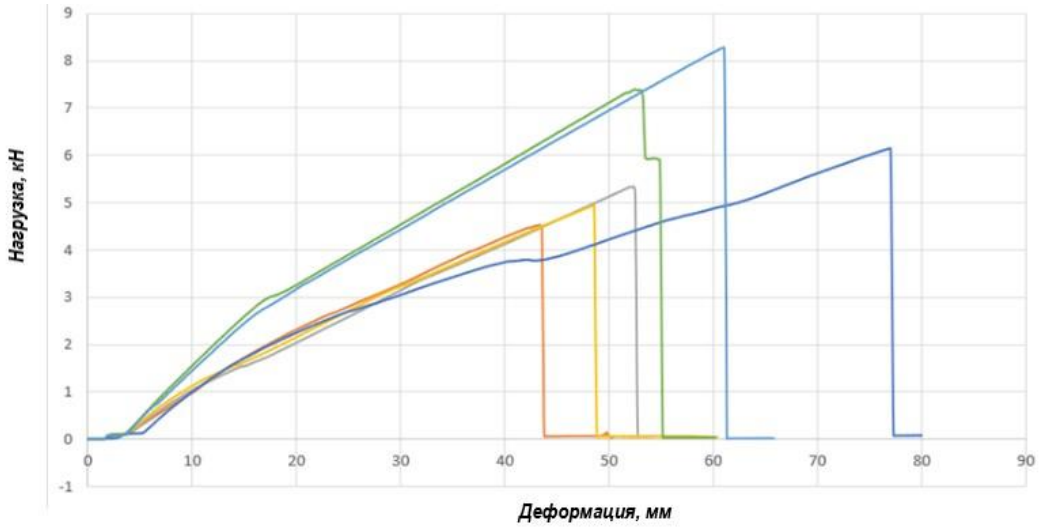

Рисунок 5 – Диаграмма растяжения фотополимерной ABS-подобной смолы со стеклотканью

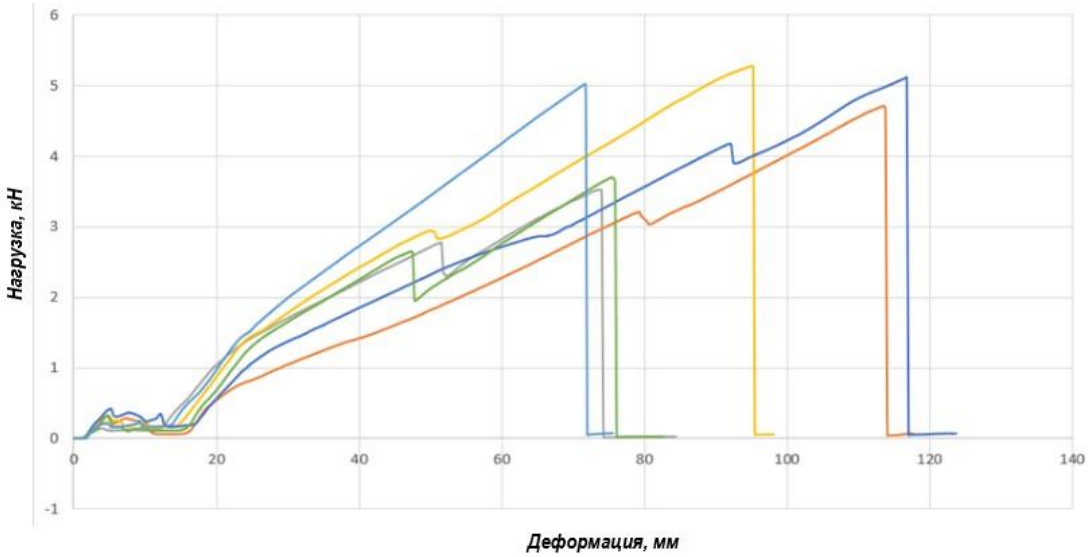

Рисунок 6 – Диаграмма растяжения фотополимерной ABS-подобной смолы со стекломатом

Внешний вид образцов после испытаний представлен на рисунке 7. Следует отметить, что часть образцов, изготовленных методом ручной выкладки, разрушилась вдали от рабочей зоны, в местах концентрации напряжений (в районе галтели). Ввиду несовершенства технологии ручной выкладки возникла подобная проблема [3]. Данные невалидные результаты были «выброшены» из выборки, и в итоговую таблицу внесены только усредненные данные корректных испытаний.



а) б) в)

Рисунок 7 – Образцы после испытаний на растяжение: а) традиционные стеклопласты, б) фотополимерная смола, в) фотополимерная ABS-подобная смола

Обобщенные результаты по каждому материалу сведены в таблицу. Для наглядного сравнения добавлен столбец с относительной прочностью в процентах по отношению к традиционному эпоксидному стеклопластику.

Таблица – Результаты по каждому материалу

Наименование материала	Средние значения, кН		Относительная прочность, в процентах (к эпоксидному стеклопластику)	
	стекломат	стеклоткань	стекломат	стеклоткань
Традиционные стеклопластики (ЭТАЛ-247)	5,29	5,97	100	100
Фотополимерные смолы	3,21	5,01	61	84
Фотополимерные ABS-подобные смолы	4,56	5,70	86	95

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что традиционные стеклопластики демонстрируют наиболее высокие показатели прочности на растяжение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что традиционные стеклопластики демонстрируют наиболее высокие показатели прочности на растяжение, причем стеклоткань имеет более высокое среднее значение, чем стекломат. Такие материалы подходят для конструкций, требующих высокой устойчивости к статическим нагрузкам. Стандартные фотополимерные смолы показывают меньшую прочность (до 84 % от эпоксидного аналога при армировании тканью), поэтому их

целесообразно применять в конструкциях, где важна легкость и простота обработки, а требования к прочности менее критичны. При этом фотополимерные ABS-подобные смолы демонстрируют значительно улучшенные характеристики (до 95 % от эпоксидного аналога) благодаря повышенной трещиностойкости и эластичности.

Полученные данные имеют важное практическое значение, поскольку первичное судостроение жестко регламентируется требованиями классификационных обществ, где внедрение новых материалов требует длительных и дорогостоящих процедур одобрения. В связи с этим применение фотополимеров целесообразно исключительно в судоремонте, в частности при аварийных работах. Выбор ремонтного связующего должен определяться топологией дефекта: для силовых элементов набора и обшивки рекомендованы стандартные жесткие фотополимеры, а для зон, подверженных знакопеременным и ударным нагрузкам, – ABS-подобные смолы с повышенной трещиностойкостью. В условиях, когда требуется быстрая обработка и ремонт непосредственно на плаву, фотополимерные ABS-подобные смолы становятся безальтернативным вариантом. Благодаря технологии УФ-отверждения эти материалы позволяют оперативно проводить работы прямо на месте эксплуатации, сокращая время типового ремонта (например, заделки пробоины площадью 0,1 м²) с 2–3 сут, необходимых для набора прочности эпоксидной смолой, до 3–4 ч, что критически снижает время простоя судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильникова, О. А. Применение полимерных конструкционных материалов в судостроении / О. А. Красильникова, А. И. Кольчурин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 3 (31). – С. 123–130. – Электронная копия доступна на сайте науч. электрон. б-ки «КиберЛенинка». – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-polimernyh-konstruktsionnyh-materialov-v-sudostroenii (дата обращения: 10.05.2026).

2. Мелешин, М. А. Опыт применения композитных материалов в судостроении / М. А. Мелешин, Али Саламех, Мазен Алсаид // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 2. – С. 44–50. – ISSN 2073-1574. – DOI: 10.24143/2073-1574-2022-2-44-50. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-kompozitnyh-materialov-v-sudostroenii (дата обращения: 10.05.2026).

3. Красильникова, О. А. Применение полимерных конструкционных материалов в судостроении / О. А. Красильникова, А. И. Кольчурин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 3 (31). – С. 123–130. – Электронная копия доступна на сайте науч. электрон. б-ки «КиберЛенинка». URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-polimernyh-konstruktsionnyh-materialov-v-sudostroenii (дата обращения: 10.05.2026).

4. Изотова, К. В. УФ-отверждаемые композиционные материалы для ремонтных работ / К. В. Изотова, О. Э. Бабкин, Л. А. Бабкина, О. С. Айкашева // Журнал композитных материалов.

5. Столяренко, В. И. Физические методы модификации структуры и свойств полимерных композиционных материалов на основе стеклоткани / В. И. Столяренко, В. И. Ольшанский // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2022. – № 2 (14). – С. 74–85. – DOI: 10.46573/2658-7459-2022-2-74-85. – URL: https://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/17092/Olchanskiy_2022_pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 10.05.2026).

6. Бурмистров, Е. Г. Стеклопластики как альтернатива металлам в судоремонте / Е. Г. Бурмистров, Т. А. Михеева // Научные проблемы водного транспорта / Russian Journal of Water Transport. – 2021. – № 68 (3). – С. 15–27. – DOI: 10.37890/jwt.vi68.202. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/stekloplastiki-kak-alternativa-metallam-v-sudoremonte (дата обращения: 10.05.2026).

7. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 20 с. – Текст: непосредственный

COMPARATIVE ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF PHOTOPOLYMER AND TRADITIONAL FIBERGLASS COMPOSITES

E. Ya. Lyakina, student
E-mail: liakinaelizaveta1109@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

P. R. Grishin, research advisor
E-mail: pavel.grishin@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

This article presents an analysis of the physical and mechanical characteristics of traditional fiberglass composites based on Etal-247 epoxy resin and photopolymer resins (including ABS-like photopolymers), reinforced with fiberglass cloth and mat. Tensile tests have been conducted according to GOST 11262–2017. During the experiments, it has been found that traditional fiberglass composites show higher strength characteristics. In turn, photopolymer ABS-like resins show acceptable strength performance with a significant reduction in curing time, making them promising for rapid repair in emergency situations on board. Recommendations for the use of each type of material exclusively in ship repair tasks are provided.

Keywords: *photopolymer resins, ship repair, epoxy resin, tensile testing.*