

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СУДОСТРОЕНИИ

Алсаид Мазен, Саламех Али

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Развитие современного судостроения требует внедрения новых конструкционных материалов, превосходящих по своим свойствам традиционные. К числу наиболее перспективных относятся полимерные композиционные материалы. Представлены исследования механических свойств многослойных полимерных композиционных материалов, изготовленных на основе стеклянных тканей, при растяжении, а также влияние количества слоёв стекломата на предел прочности изучаемого материала при растяжении. Рассматривается технология изготовления образцов из полимерных композиционных материалов, армированных стекломатом со стеклянными волокнами (стеклопластик). Обоснованы размеры и форма образцов, технологические параметры процесса их изготовления в зависимости от стандартных требований и технологические особенности испытательной машины. Отмечено, что стеклопластик является наиболее дешёвым и распространённым типом композиционных материалов, который не требует специального обслуживания при применении, стоимость технического обслуживания конструкций из стеклопластика существенно ниже обслуживания конструкций из стали. Исследована методика проведения испытания образцов на прочность при растяжении. Для проведения опытов использовались образцы стекломата марки EMC-600-1250-E. На основании результатов исследования установлена математическая зависимость предела прочности при растяжении от количества слоёв. Использована статистическая обработка результатов испытаний на основе пакета программ Minitab 18.1. Представлен график отношений между количеством слоёв и пределом прочности при растяжении. Для всех исследованных образцов предел прочности будет пропорционально зависеть от количества слоёв. Полученные результаты механических свойств могут найти применение при решении задач, связанных с использованием полимерных композиционных материалов в судостроении, например при изготовлении надстроек некоторых сухогрузных судов.

Ключевые слова: судостроение, полимерные композиционные материалы, стеклопластик, механические свойства, испытания на растяжение, предел прочности.

Для цитирования: Алсаид Мазен, Саламех Али. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 37–47. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.

Введение

В мировом судостроении развивается интенсивный процесс разработки отдельных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) для использования на судах. Этот факт объясняется преимуществами данных материалов по сравнению с традиционно применяемыми материалами (сталь, алюминий, дерево). Полимерные композиционные материалы имеют хорошую прочность с малым удельным весом, что позволяет уменьшить вес изделия, также ПКМ не подвергаются коррозии и обладают высокой стойкостью против воздействия агрессивных сред [1]. Рост объёма применения ПКМ тесно связан с изменениями международных и национальных морских правил. Развитие технологии производства ПКМ и увеличение накопленного опыта в секторе ПКМ предоставили возможность внедрения в Правила Российского морского регистра судоходства 2018 г. нового раздела под названием «Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов». Правила данного раздела распространяются на водоизмещающие суда из ПКМ длиной от 15 до 70 м и на надстройки из ПКМ водоизмещающих судов с металлическим корпусом [2].

Многослойные ПКМ имеют неоднородную структуру, и на их прочность в большей степени влияют следующие факторы:

- количество и порядок укладки слоёв ткани;
- свойства и соотношение количеств использованных ткани и смолы;
- направление волокна относительно оси воздействия нагрузок;
- скорость отверждения смолы;
- приемлемый метод изготовления [3].

Целью исследования настоящей работы является изучение влияния количества слоёв ткани на предел прочности при растяжении ПКМ на основании проведённых экспериментов.

Материалы образцов для испытания

Стеклопластик является наиболее дешёвым и распространённым типом композиционных материалов, который не требует специального обслуживания при его применении, что существенно снижает стоимость жизненного цикла конструкции. По данным фирм HDW, Kockums и др., стоимость технического обслуживания конструкций из стеклопластика в 6–10 раз ниже стоимости обслуживания таких же конструкций из стали [4]. Для изучения влияния количества слоёв на прочность ПКМ при растяжении были изготовлены 5 пластин с разным количеством слоёв ($x = 3; 6; 9; 12; 15$). Материал изготовленных пластин – композиционные материалы, армированные стеклянными волокнами. В состав данного материала входят эмульсионный стекломат марки EMC-600-1250-E, смола «Яркопол-110».

Технология изготовления образцов для испытания при растяжении

Для изготовления образцов используется метод контактного формования с ручной укладкой. Согласно ГОСТ 33345-2015 пластины, из которых будут вырезаны образцы, изготавливаются квадратной формы, длиной и шириной 600 мм [5].

В целях обеспечения отверждения пластин перемешивают смолы с отвердителем марки «Бутанокс М-50» (Butanox M-50), по 1-4 phg от массы смолы (phg-частей на 100 частей смолы).

Оформление пластин начинается со смазки матрицы смолой, затем происходит укладка первого слоя ткани, который должен тесно закрепляться к матрице, поэтому валик пропитывают смолой с повышенным добавлением отвердителя. Через 20–25 мин происходит нанесение остальных слоёв ткани в той же последовательности (укладка ткани → пропитка смолой → прокатывание валиком для удаления воздуха). В конце оформления листа его необходимо оставить для высыхания на 48 ч при температуре окружающей среды, затем провести процесс кондиционирования не менее 16 ч при температуре 23 ± 2 °C и относительной влажности 50 ± 5 % согласно ГОСТ 12423-2013 [6].

Для исключения влияния других факторов процесс изготовления пластин производится с фиксированными значениями долей добавленных смол и отвердителя (по требованию технических нормативов изготовленного материала для каждого слоя ткани добавлено 400 см^3 смолы, при этом доза отвердителя составляет 4 см^3).

По окончании процесса кондиционирования пластины извлекаются из матрицы и подвергаются механической обработке, к которой относятся: шлифовка поверхности, обрезка облоя (излишков стеклопластика или отвержденной полиэфирной смолы по краям листов). Обрезают пластину с каждой стороны не менее чем на 10 мм.

Структура изготовленных образцов

В качестве объекта исследования выбраны плоские образцы без головок. Основные размеры образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Конструктивные элементы образцов

Параметр	Значение, мм
Общая длина l_1	Не менее 250
Расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце l_2	170 ± 5
Расчётная длина l_0	50 ± 1
Ширина головки b_1	25 ± 1

Форма образцов, согласно ГОСТ 11262-2017, представлена на рис. 1 [7, 8].

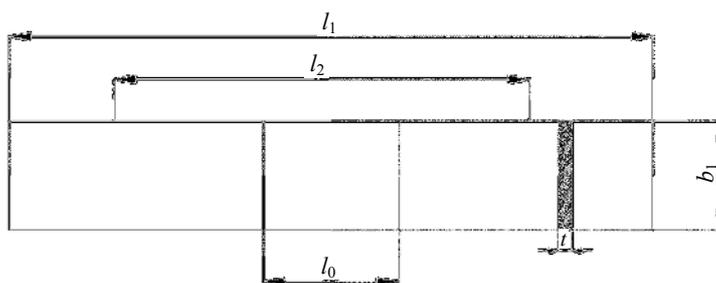


Рис. 1. Форма образцов для испытания

Согласно ГОСТ Р 56813-2015 [9] процесс обрезки образцов из пластинок выполняется при помощи ленточной пилы со скоростью резки не менее 915 м/мин; число зубьев на метр ленты – 400–550. Шероховатость поверхности образцов Ra должна быть не более 6,3 мкм. На рис. 2 представлены образцы для испытания.

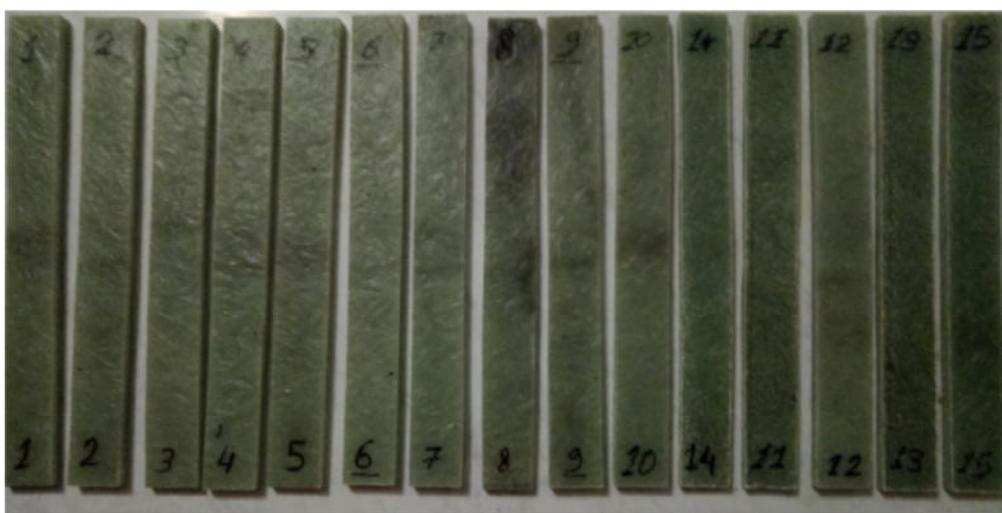


Рис. 2. Изготовленные образцы

Методика испытания образцов на растяжение

Для определения предела прочности при растяжении изготовленные образцы были испытаны на гидравлической универсальной машине «Амслер» типа 50 SZBDA 223.

Методика испытания образцов подробно описана в ГОСТ 11262-2017 [7]. Нагрузки осуществляются вдоль оси образцов растягивающей нагрузкой при фиксированной скорости перемещения захватов машины ($V = 5$ мм/мин). В результате испытаний определены значения силы F_{\max} , при которых происходит разрыв (или разрушение) образцов. Предел прочности при растяжении определяется по формуле

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A},$$

где F_{\max} – разрушающая нагрузка, Н; $A = b \times h$ – площадь поперечного сечения образца, мм² (рассчитывается после определения средних значений толщины h и ширины b образца, измеряемых в трёх плоскостях: в середине и по краям).

Для каждой партии проведена серия экспериментов до получения удовлетворительных результатов создающихся образцов. В расчёте использовались результаты испытания образцов, разрушенных в рабочей части. Образцы, разрушенные вне рабочей части (в захватах машины), не учитывались, и образец исключался из дальнейшего расчёта (рис. 3).

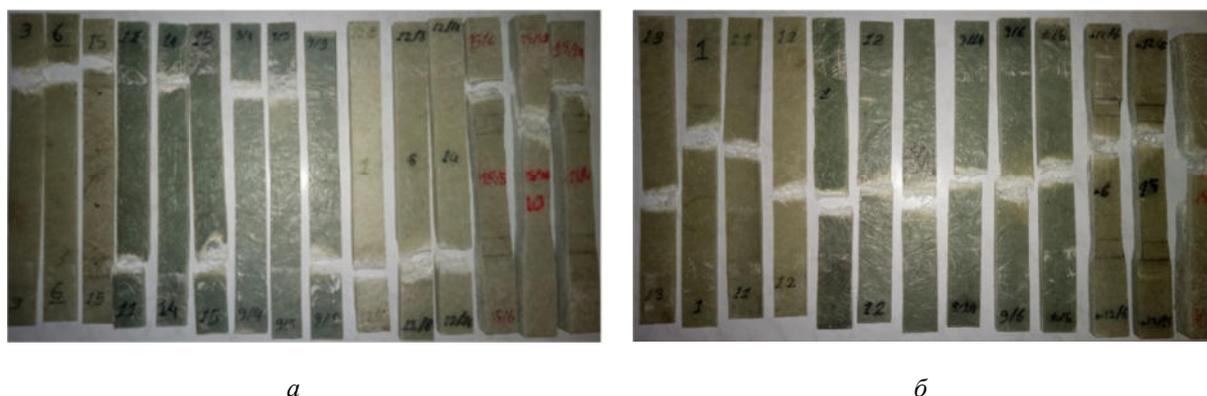


Рис. 3. Образцы после испытаний:
 а – исключенные из расчёта; б – принятые для расчёта

Результаты испытания образцов на растяжение

Результаты испытаний приведены в табл. 2. Для каждой партии предварительно определяется среднее арифметическое значение \bar{y} , дисперсия S^2 и среднее квадратическое отклонение S .

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на растяжение*

№ образца	Предел прочности при растяжении				
	Партия А-3	Партия А-6	Партия А-9	Партия А-12	Партия А-15
1	133	134	119	101	129
2	139	119	120	120	105
3	122	143	122	123	128
4	120	119	110	111	118
5	129	108	110	132	112
6	101	106	113	89	138
7	157	120	124	133	99
8	111	107	109	133	86
9	126	108	94	91	122
10	145	123	118	125	130
11	126	108	108	118	124
12	128	105	105	118	76
13	127	116	122	122	126
14	124	104	115	138	131
15	100	105	115	105	95
\bar{y}	130,44	117,25	114,56	112,91	109,82
S^2	145,86	139,97	74,84	187,08	314,05
S	12,08	11,83	8,65	13,68	17,72

* В выделенных ячейках разрушение образца произошло вне рабочей зоны, результаты в расчёт не принимаются.

Обработка результатов проведенных испытаний

Для обработки полученных результатов используется пакет статистических программ Minitab 18.1. Программа выполняет все необходимые расчёты статистической обработки данных на основе выбранного исследователем уровня значимости P . При этом любая нулевая статистическая гипотеза отклоняется, если полученный уровень значимости при расчёте меньше уровня значимости, определённого исследователем.

Обработка результатов испытаний происходит путём выполнения нижеследующих этапов.

1. Исключение промахов.

Отбрасывание резко выделяющихся результатов испытаний, согласно ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 [10], выполняется с применением критерия Граббса:

$$G_1 = \frac{y_{\min} - \bar{y}}{S},$$

если сомнение вызывают минимальные значения результатов испытаний. Если сомнительными окажутся максимальные значения результатов испытаний, то используется критерий

$$G_2 = \frac{y - y_{\max}}{S}.$$

Затем полученные статистики G_1 , G_2 сопоставляют с табличной величиной критерия ($G_{\text{табл}} = 2,412$) [11]. Результаты данного этапа свидетельствуют о том, что отсутствует промах во всех партиях (рис. 4).

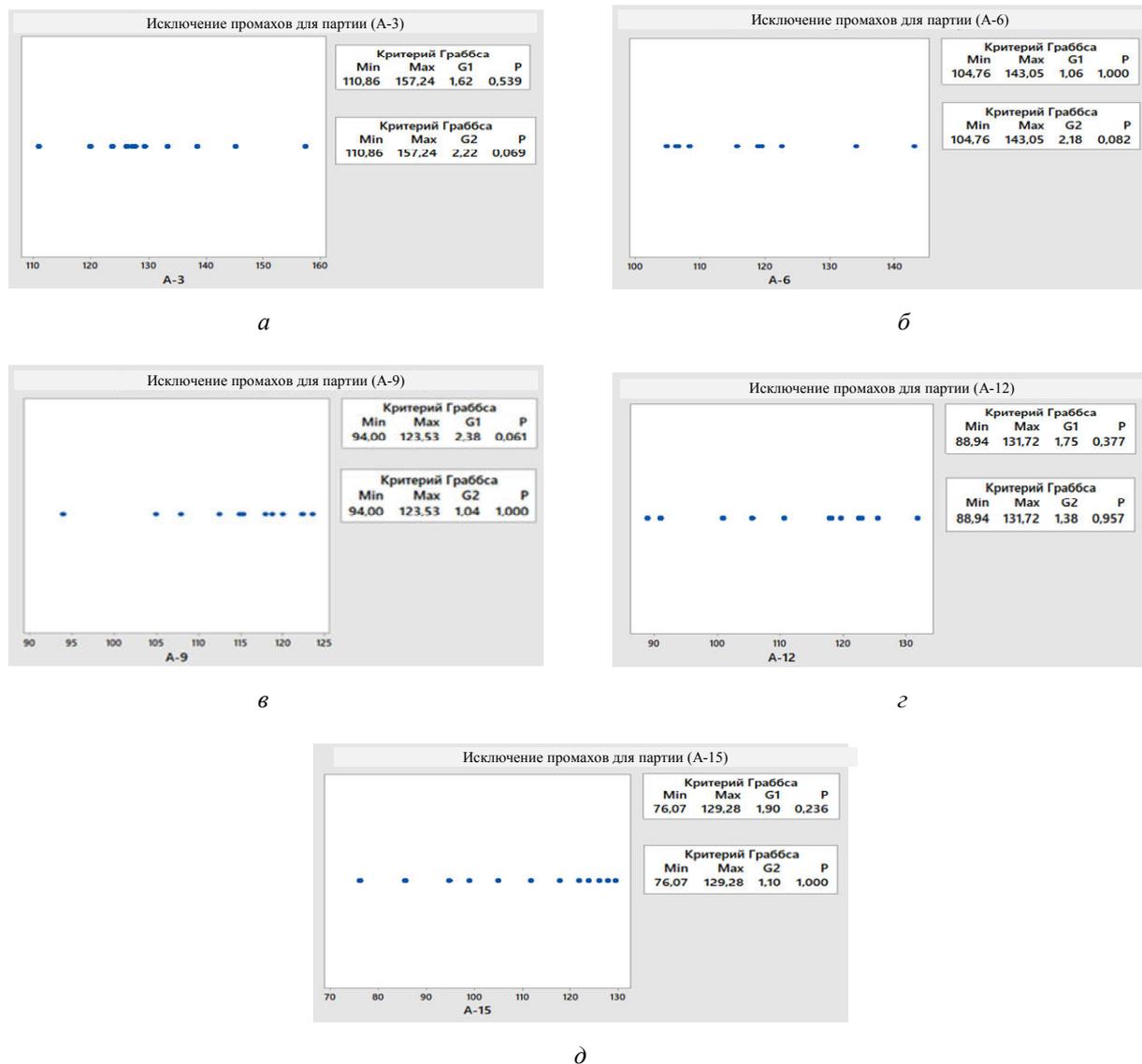


Рис. 4. Исключение грубых погрешностей:
 а – партия А-3; б – партия А-6; в – партия А-9; г – партия А-12; д – партия А-15

2. Определение закона распределения.

Существуют разные критерии для проверки гипотез о виде функции распределения, при этом более мощным является критерий Андерсона – Дарлинга; полученное значение данного критерия AD сравнивают с табличным (при $P = 0,05$ $AD_{\text{табл}} = 2,492$) [11].

Опытные данные подтверждают предположение о нормальности распределения предела прочности ПКМ на основе стекломата марки EMC-600-1250-Е. Результаты выполненного расчёта приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты статической обработки при определении закона распределения предела прочности испытуемого материала при растяжении

Закон распределения	Партия А-3		Партия А-6		Партия А-9		Партия А-12		Партия А-15	
	<i>AD</i>	<i>P</i>	<i>AD</i>	<i>P</i>	<i>AD</i>	<i>P</i>	<i>AD</i>	<i>P</i>	<i>AD</i>	<i>P</i>
Нормальное распределение	0,457	0,217	0,567	0,112	0,519	0,148	0,422	0,269	0,414	0,281
Экспоненциальное распределение	4,656	< 0,003	4,582	< 0,003	4,793	< 0,003	4,337	< 0,003	3,963	< 0,003
Распределение Вейбулла	0,704	0,055	0,753	0,042	0,301	> 0,250	0,317	> 0,250	0,421	> 0,250
Гамма-распределение	0,408	> 0,250	0,544	0,181	0,588	0,140	0,518	0,205	0,503	0,220

3. Проверка результатов испытаний на однородность.

Предварительно проверяется однородность дисперсии по критериям Кочрена и Бартлетта. При этом 95 % доверительные интервалы для среднеквадратичных отклонений приведены в табл. 4.

Таблица 4

95 % доверительные интервалы для среднеквадратичных отклонений

Партия	<i>N</i>	<i>S</i>	95 % доверительные интервалы
А-3	12	12,0772	(7,7436; 24,8259)
А-6	12	11,8309	(7,5857; 24,3197)
А-9	12	8,6510	(5,5468; 17,7830)
А-12	12	13,6776	(8,7698; 28,1157)
А-15	12	17,7214	(11,3626; 36,4283)

Оценка однородности дисперсии подтвердила, что ни одно из различий между группами не является статистически значимым и все интервалы сравнения перекрываются. Можно делать вывод о том, что дисперсии предела прочности при растяжении с доверительной вероятностью 0,95 можно считать однородными на всех уровнях количества слоёв (рис. 5).

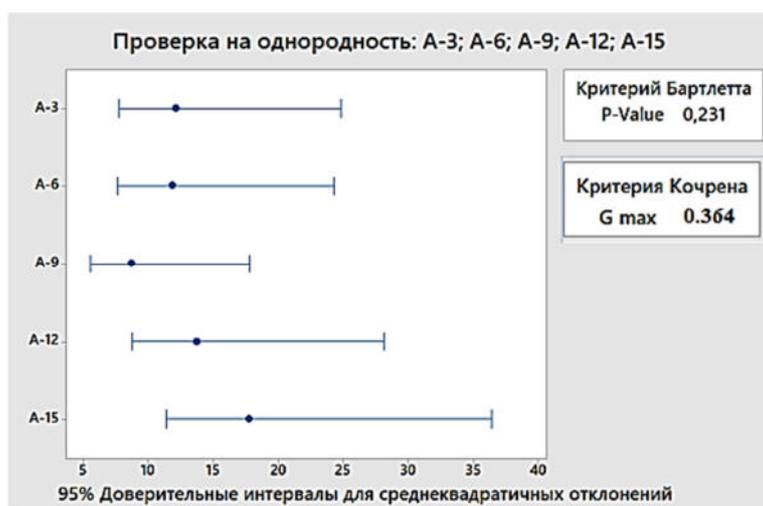


Рис. 5. Проверка однородности дисперсии по критерию Бартлетта

4. Значимости влияния количества слоёв на предел прочности при растяжении.

Для изучения влияния количества слоёв на предел прочности при растяжении применяется дисперсионный анализ, то есть анализ равенства средних значений полученных результатов между собой.

Результаты дисперсионного анализа приведены в табл. 5 и на рис. 6.

Таблица 5

Дисперсионный анализ для проверки значимости влияния количества слоёв на предел прочности

Источник	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Фактор	4	3 059	764,7	4,44	0,004
Ошибка	55	9 480	172,4	–	–
Всего	59	12 539	–	–	–

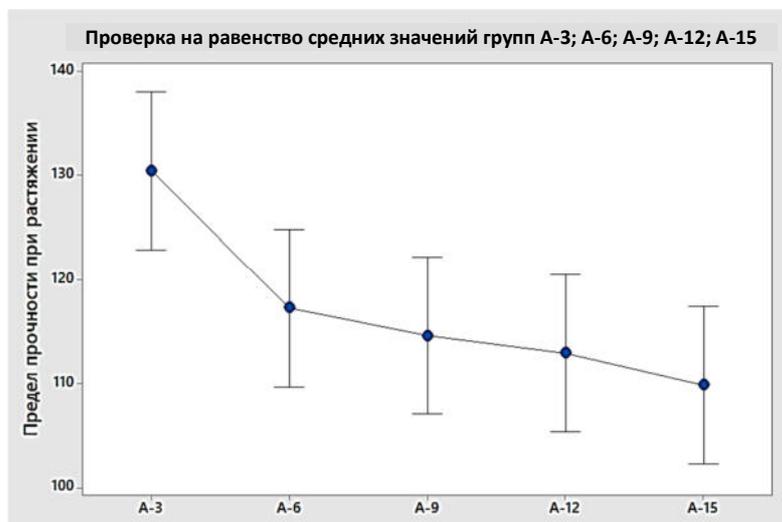


Рис. 6. Проверка значимости влияния количества слоёв на предел прочности при растяжении

Полученный уровень значимости дисперсионного анализа меньше, чем предлагаемый уровень $P = 0,05$, откуда следует, что средние значения между партиями отличаются друг от друга. Следовательно, можно сделать вывод о значимости влияния количества слоёв на предел прочности при растяжении.

5. Установление математической модели.

Большинство задач, связанных с анализом характеристик механических свойств материала и элементов конструкции, решают в рамках линейной зависимости между изучаемыми величинами [11]. При установлении математических отношений, описывающих влияние изменчивости количества слоёв на предел прочности ПКМ на основе стекломата марки EMC-600-1250-E, предполагают, что значения предела прочности, полученные в результате испытаний на растяжение, являются случайной величиной, а количество слоёв – детерминированной.

Оценкой теоретической линии регрессии является эмпирическая линия регрессии, уравнение которой имеет вид:

$$y = a + bx,$$

где b – коэффициент регрессии; a – константа уравнения регрессии.

В результате выполненного регрессионного анализа программой Minitab 18.1 математическое отношение между количеством слоёв L и пределом прочности при растяжении σ_B имеет следующий вид:

$$\sigma_B = 130,7 - 1,519L.$$

На рис. 7 представлен график отношения между количеством слоёв и пределом прочности при растяжении, а также вычислен 95 % доверительный интервал для линии регрессии в целях установления теоретической значимости между изучаемыми величинами (x, y).

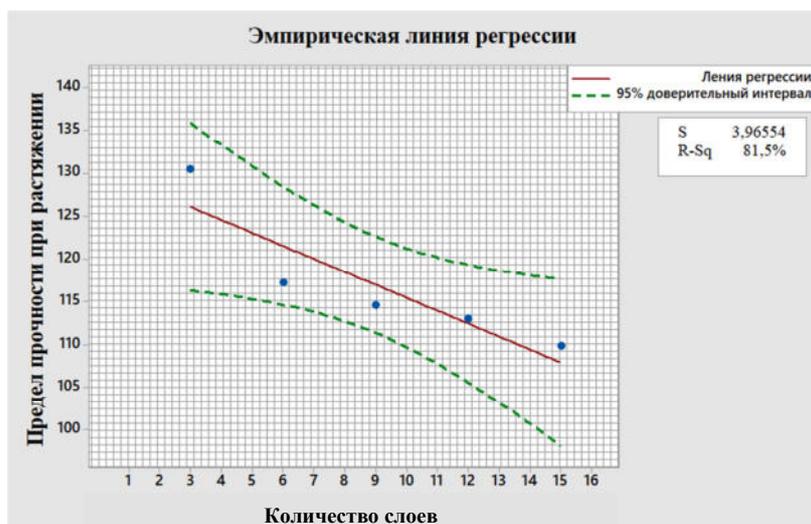


Рис. 7. Зависимость предела прочности при растяжении от количества слоёв

Важным элементом регрессионного анализа является проверка адекватности полученного математического отношения. Методика и расчёт для проверки адекватности приведены в табл. 6 [12].

Таблица 6

Проверка адекватности полученного математического отношения

Методика расчёта					
Источник	DF	SS	MS	F	P
Фактор	j^*	$Q_1 = \sum_{i=1}^m (\hat{y}_i^{***} - \bar{y})^2$	$S_1^2 = \frac{Q_1}{DF}$	$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$	–
Ошибка	$i^{**} - 1$	$Q_2 = \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2$	$S_2^2 = \frac{Q_2}{DF}$	–	–
Всего	$i - j - 1$	$Q = Q_1 + Q_2$	–	–	–
Результаты расчёта					
Источник	DF	SS	MS	F	P
Фактор	1	207,754	207,754	13,21	0,036
Ошибка	3	47,176	15,725	–	–
Всего	4	254,930	–	–	–

* j – количество изучаемых факторов; ** i – число партий; *** \hat{y}_i – расчётное значение предела прочности по уравнению регрессии при x_i .

Так как уровень значимости при расчёте ($P = 0,036$) меньше, чем 0,05, можно сделать вывод о том, что выполненный расчёт подтверждает адекватность предлагаемой математической модели. При этом коэффициент детерминации $R = \sqrt{Q_1/Q} = 0,8148$ доказывает, что вариация предела прочности при растяжении ПКМ на основе стекломата марки EMC-600-1250-E и смолы «Яркопол-110» на 81,48 % обусловлена изменчивостью количества слоёв стекломата.

Заключение

Результаты опытов подтверждают предположение о нормальности распределения предела прочности ПКМ на основе стекломата марки ЕМС-600-1250-Е.

Во всех исследованных партиях образцов дисперсию предела прочности при растяжении с доверительной вероятностью 0,95 можно считать однородной, то есть предел прочности будет пропорционально зависеть от количества слоёв.

Результаты исследования могут быть полезны при выборе материала надстроек транспортных судов на основании выполненных расчётов прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tawfik B. E., Leheta H., Elhewy A., Elsayed T.* Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2017. № 9. С. 185–198.
2. *Кордопец С. М., Кутейников М. А.* Требования Российского морского регистра судоходства к композиционным материалам. Опыт наблюдения, перспективы развития // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2018. Спец. вып. 2. С. 140–143.
3. *Васильев В. В., Протасов В. Д., Болотин В. В. и др.* Композиционные материалы. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
4. *Никитин В. С., Половинкин В. Н.* Современное состояние и перспективы применения композитов в зарубежном подводном кораблестроении // Тр. Крылов. гос. науч. центра. 2017. № 4 (328). С. 57–74.
5. *ГОСТ 33345-2015.* Композиты полимерные. Производство пластин для изготовления образцов для испытаний. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2015. 24 с.
6. *ГОСТ 12423-2013.* Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов. М.: Стандартинформ, 2014. 14 с.
7. *ГОСТ 11262-2017.* Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2018. 20 с.
8. *Сорокина И. И.* Восстановление корпусных деталей сельскохозяйственной техники при ремонте полимерными композиционными материалами: дис. ... канд. техн. наук. Калуга, 2017. 239 с.
9. *ГОСТ Р 56813-2015.* Композиты полимерные. Руководство по изготовлению пластин для испытания и механической обработки. М.: Стандартинформ, 2016. 27 с.
10. *ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002.* Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1. Основные положения и определения. М.: Изд-во стандартов, 2002. 32 с.
11. *Степнов М. Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справ. М.: Машиностроение, 1985. 232 с.
12. *Кремер Н. Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юрайт, 2016. 514 с.

Статья поступила в редакцию 09.04.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алсаид Мазен – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; mazenalsaid12@yahoo.com.

Саламех Али – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; a.salameh@mail.ru.



JUSTIFICATION OF USING MULTILAYER COMPOSITE MATERIALS IN SHIPBUILDING

Alsaid Mazen, Salamekh Ali

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The development of modern shipbuilding requires using new structural materials, superior to traditional ones. Polymeric composite materials are among the most promising. The article studies the mechanical properties of multilayer polymer composite materials made of glass fabrics under tension and the effect of the number of layers of glass mat on the tensile strength of the material. The technology of manufacturing samples from polymer composites reinforced with fiberglass plastic is being considered. The size and shape of the samples, the technological parameters of the manufacturing process, which depend on standard requirements, and the technological features of the testing machine are substantiated. It has been stated that fiberglass is the cheapest and most common type of composite materials, which does not require special maintenance, the cost of maintenance of fiberglass structures being significantly lower than that of steel structures. The method of testing the tensile strength of the samples has been studied. For conducting experiments, samples of glass mat brand EMC-600-1250-E were used. According to the study results, the mathematical dependence of tensile strength on the number of layers was established, and the most important stages of statistical processing of test results were laid out using the Minitab 18.1 software package. A graph of the relationship between the number of layers and tensile strength is presented. For all the examined samples the ultimate strength will depend on the number of layers. The results of mechanical properties can be used in solving problems associated with the application of polymer composite materials in shipbuilding, for example, in manufacturing superstructures of dry cargo vessels.

Key words: shipbuilding, polymer composite materials, fiberglass, mechanical properties, tensile test, ultimate stress.

For citation: Alsaid Mazen, Salamekh Ali. Justification of using multilayer composite materials in shipbuilding. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;2:37-47. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-37-47.

REFERENCES

1. Tawfik B. E., Leheta N., Elhewy A., Elsayed T. Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2017, no. 9, pp. 185-198.
2. Kordonets C. M., Kuteinikov M. A. Trebovaniia Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva k kompozitsionnym materialam. Opyt nabliudeniia, perspektivy razvitiia [Requirements of the Russian Maritime Register of Shipping for composite materials. Observation experience, development prospects]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2018, spetsial'nyi vypusk 2, pp. 140-143.
3. Vasil'ev V. V., Protasov V. D., Bolotin V. V. i dr. *Kompozitsionnye materialy* [Composite materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 512 p.
4. Nikitin V. S., Polovinkin V. N. Sovremennoe sostoianie i perspektivy primeneniia kompozitov v zarubezhnom podvodnom korablestroenii [Current state and future application of composites in foreign submersible shipbuilding]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, 2017, no. 4 (328), pp. 57-74.
5. GOST 33345-2015. *Kompozity polimernye. Proizvodstvo plastin dlia izgotovleniia obraztsov dlia ispytaniia*. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia [GOST 33345-2015. Polymer composites. Producing plates for manufacturing test samples. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 24 p.
6. GOST 12423-2013. *Plastmassy. Usloviia konditsionirovaniia i ispytaniia obraztsov* [GOST 12423-2013. Plastic materials. Terms of conditioning and testing samples]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 14 p.
7. GOST 11262-2017. *Plastmassy. Metod ispytaniia na rastiazhenie* [GOST 11262-2017. Plastic materials. Tensile testing]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 20 p.
8. Sorokina I. I. *Vosstanovlenie korpusnykh detalei sel'skokhoziaistvennoi tekhniki pri remonte polimernymi kompozitsionnymi materialami: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Restoration of parts of agricultural machinery in repairing polymer composite materials: diss. cand. tech. sci.]. Kaluga, 2017. 239 p.
9. GOST R 56813-2015. *Kompozity polimernye. Rukovodstvo po izgotovleniiu plastin dlia ispytaniia i mekhanicheskoi obrabotki* [GOST R 56813-2015. Polymer composite materials. Instructions on manufacturing plates for testing and machining]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 27 p.
10. GOST R ISO 5725-1-2002. *Tochnost' (pravil'nost' i pretsizionnost') metodov i rezul'tatov izmerenii. Chast' 1. Osnovnye polozeniia i opredeleniia* [GOST R ISO 5725-1-2002. Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part. 1. General provisions and definitions]. Moscow, Izd-vo standartov, 2002. 32 p.

11. Stepnov M. N. *Statisticheskie metody obrabotki rezul'tatov mekhanicheskikh ispytaniy: spravochnik* [Statistical methods for processing mechanical test results: handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 232 p.
12. Kremer N. Sh. *Teoriia veroiatnostei i matematicheskaya statistika* [Theory of probability and mathematical statistics]. Moscow, Iurait Publ., 2016. 514 p.

The article submitted to the editors 09.04.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alsaid Mazen – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering Equipment; mazenalsaid12@yahoo.com.

Salamekh Ali – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering Equipment; a.salameh@mail.ru.

