

ПОСТРОЕНИЕ И ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ОТ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

А. В. Ерофеев, А. А. Морковин, Т. И. Горохов
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

CONSTRUCTION AND VERIFICATION OF THE ADEQUACY OF THE REGRESSION EQUATION OF THE BENDING TENSILE STRENGTH FROM THE RATIO OF COMPOSITE MATERIAL COMPONENTS

Aleksandr V. Erofeev, Alexander A. Morkovin, Timofei I. Gorokhov
Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Аннотация. В настоящее время большинство материалов, используемых в строительной отрасли, являются композитными. Это обуславливает необходимость подбора их оптимального состава, что можно сделать с помощью математического планирования эксперимента. В данной работе для определения наиболее приемлемого состава композитного материала на основе гипсового вяжущего с добавлением древесных опилок по критерию прочности на растяжение при изгибе было выполнено математическое планирование эксперимента. Для измерения прочности на растяжение при изгибе использовался пресс. Также в работе получено уравнение регрессии, построена поверхность отклика и выполнена проверка адекватности полученных коэффициентов регрессии.

Abstract. Nowadays, most of the materials used in the construction industry are composites. This is why it is necessary to select their optimal composition, which can be done using the mathematical planning of the experiment. In order to determine the most appropriate composition of the composite material based on gypsum binder with the addition of sawdust according to the criterion of the bending tensile strength, mathematical planning of the experiment was performed. The press was used to measure the bending tensile strength. The regression equation has been also obtained, the response surface has been constructed and the adequacy check of the obtained regression coefficients has been performed.

Ключевые слова: гипс, древесные опилки, композитный материал, коэффициенты регрессии, критерий Фишера, матрица планирования, растяжение при изгибе, уравнение регрессии, экспериментальные испытания

Key words: gypsum, sawdust, composite material, regression coefficients, Fisher criterion, planning matrix, tension in bending, regression equation, experimental tests

Введение

В настоящее время в строительной отрасли все чаще применяют различные виды отделочных материалов. Их ассортимент достаточно широк и включает, в том числе, изделия из гипса и материалы на его основе. Гипс очень давно получил широкое применение в строительной сфере. Результаты археологических исследований, проведенных с применением современных технологий, свидетельствуют о том, что использовать природный необожженный гипс начали еще в 11–10 тысячелетиях до н. э. Первые упоминания о применении обожженного гипса датируются 3700 годом до н. э.

В древности чаще всего применялась одна из разновидностей гипса – алебастр. Данный материал предположительно получил свое название от древнеегипетского города Алабастроны, вблизи которого располагались залежи этого минерала.

В современном строительстве все чаще применяют не чистый гипс, а материалы на его основе. Например, большое количество материалов, изготовленных на гипсовой основе, являются гипсобетонными. В качестве заполнителей нередко используют керамзит, кварцевый песок или шлаковую пемзу. Также они могут иметь в своем составе льняную кору, макулатуру и даже стебли камыша. Одним из таких отделочных ма-



Рис. 1. Отделочный материал на основе гипсового вяжущего с добавлением древесных опилок

териалов является новый материал на основе гипсового вяжущего с добавлением древесных опилок (рис. 1).

При разработке любого композитного материала встает вопрос определения оптимального соотношения компонентов, который можно решить посредством математического планирования эксперимента. В настоящей работе оптимальный состав композитного материала на основе гипсового вяжущего и древесных опилок выполнен с позиции прочностных характеристик (прочности при поперечном изгибе).

Методы и принципы исследования

Предел прочности на растяжение при изгибе определяется по ГОСТ 23789-2018¹. Для этого были

¹ ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний = Gypsum binders. Test methods : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 мая 2018 г. N 109-П) : введен впервые : дата введения 01.05.2019 / разработан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» при участии Российской гипсовой ассоциации, общества с ограниченной ответственностью «КНАУФ ГИПС», группы компаний «Волма», закрытого акционерного общества «Самарский гипсовый комбинат» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет». – Москва : Стандартинформ, 2018. – 17 с. – Текст : непосредственный.

изготовлены образцы из гипсового вяжущего и древесных опилок; гипс марки Г-16 перемешивался с древесными опилками, полученную смесь добавляли в воду с одновременным перемешиванием. До начала сроков схватывания смесью заполняли форму. После полного затвердевания экспериментальные образцы доставали. Образцы изготавливали по нормам ГОСТ 125-2018².

В проведенных экспериментах по определению предела прочности при изгибе был использован пресс (рис. 2). Образец располагался на опорах, удаление которых от центра прикладываемой нагрузки составляло 50 мм (возможная погрешность – 0,15 мм). Образец размещали таким образом, чтобы поверхность, на которую должен опираться образец, при изготовлении была вертикальной [1]. Нагрузку, прикладываемую к середине образца, увеличивали постепенно. Величина нагрузки изменялась со скоростью 50 Н/с. В момент



Рис. 2. Пресс

разрушения образца, образования трещины фиксировалась нагрузка, прилагаемая к образцу.

Результаты

Для определения оптимального состава отделочного материала по критерию прочности на растяжение при изгибе было выполнено математическое планирование эксперимента [2], целью которого являлось нахождение уравнения регрессии зависимости прочности от соотношения исходных компонентов, а также проверка его адекватности. В результате проведения математического планирования эксперимента [3] были получены четыре точки плана эксперимента, каждой из которых соответствует определенное граничное соотношение компонентов: гипсового вяжущего, воды и древесных опилок. Содержание исходных компонентов в процентах с учетом их кодировок (+1 и –1) было занесено в таблицу 1, в которую также были внесены данные экспериментальных исследований прочности на изгиб.

Для увеличения точности полученных данных испытания на изгиб проводились несколько раз – не менее трех для каждой из точек математического планирования. После чего полученные результаты усреднялись.

Уравнение регрессии в общем виде может быть представлено так:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \frac{x_1}{x_2} + b_2 \frac{x_3}{x_2}, \quad (1)$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты уравнения регрессии.

² ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия = Gypsum binders. Specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30.05.2018 № 109-П) : введен впервые : дата введения 01.05.2019 / разработан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» при участии Российской гипсовой ассоциации, общества с ограниченной ответственностью «КНАУФ ГИПС», группы компаний «Волма», закрытого акционерного общества «Самарский гипсовый комбинат» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет». – Москва : Стандартинформ, 2018. – 12 с. – Текст : непосредственный.

Матрица планирования

№ опыта	План в кодированных переменных		План в отношениях		План в исходных переменных			Отклик y , МПа Прочность			
	δ_1	δ_2	z_1	z_2	$x_1, \%$	$x_2, \%$	$x_3, \%$	y_1	y_2	y_3	\bar{y}
1	-1	-1	0,78	0,22	38,89	50,00	11,11	1,85	2,22	1,68	1,92
2	-1	+1	0,78	0,44	35,00	45,00	20,00	1,27	0,96	1,25	1,16
3	+1	-1	1,00	0,22	45,00	45,00	10,00	0,68	1,92	1,84	1,48
4	+1	+1	1,00	0,44	40,91	40,91	18,18	0,61	1,37	1,88	1,28

В качестве аргументов x_1, x_2, x_3 приняты, соответственно, вода, гипс марки Г-16 (вяжущее вещество), опилки (мелкий наполнитель).

Тогда уравнение регрессии с учетом условий кодирования может быть представлено в виде:

$$\hat{y} = b_0 + b_1\delta_1 + b_2\delta_2, \quad (2)$$

где

$$\delta_1 = \frac{z_1 - z_1^{(0)}}{p_{z1}} = \frac{x_1 - \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^0}{p_{z1}}, \quad (3)$$

$$\delta_2 = \frac{z_2 - z_2^{(0)}}{p_{z2}} = \frac{x_3 - \left(\frac{x_3}{x_2}\right)^0}{p_{z2}},$$

где $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^0, \left(\frac{x_3}{x_2}\right)^0$ – отношения относительных содержаний компонентов в начальной точке плана, p_{z1}, p_{z2} – интервалы изменения новых переменных z_1 и z_2 , равные $[z_1^{(0)} - z_1^{(H)}], [z_2^{(0)} - z_2^{(H)}]$;

$\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^{(0)}, \left(\frac{x_3}{x_2}\right)^{(0)}$ – верхний уровень отношения компонентов, $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^{(H)}, \left(\frac{x_3}{x_2}\right)^{(H)}$ – нижний уровень отношения компонентов.

На основании данных таблицы 1 были найдены коэффициенты уравнения регрессии b_0, b_1 и b_2 :

$$b_0 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{1,92 + 1,16 + 1,48 + 1,28}{4} = 1,46,$$

$$b_1 = \frac{-y_1 - y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{-1,92 - 1,16 + 1,48 + 1,28}{4} = -0,08,$$

$$b_2 = \frac{-y_1 + y_2 - y_3 + y_4}{4} = \frac{-1,92 + 1,16 - 1,48 + 1,28}{4} = -0,24,$$

$$y = 1,46 - 0,08\delta_1 - 0,24\delta_2. \quad (4)$$

После чего были найдены p_{z1} и p_{z2} :

$$p_{z1} = z_1^{(0)} - z_1^{(H)} = 0,89 - 0,78 = 0,11,$$

$$p_{z2} = z_2^{(6)} - z_2^{(0)} = 0,44 - 0,33 = 0,11,$$

где p_{z1}, p_{z2} – интервалы варьирования новых переменных.

Подставим полученные значения в формулу:

$$\delta_1 = \frac{\frac{x_1}{x_2} - 0,89}{0,11} = 9,09 \frac{x_1}{x_2} - 8,09,$$

$$\delta_2 = \frac{\frac{x_3}{x_2} - 0,33}{0,11} = 9,09 \frac{x_3}{x_2} - 3,00.$$

Следовательно, уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 2,83 - 0,73 \frac{x_1}{x_2} - 2,18 \frac{x_3}{x_2}. \quad (6)$$

Воспроизводимость эксперимента исследовали путем проверки гипотезы об однородности оценки дисперсии с помощью теста Кохрена.

$$G = \frac{\max_g \{s_g^2\}}{\sum_{g=1}^N s_g^2 \{y\}}. \quad (7)$$

Однородность оценок s_g^2 дисперсий представлена в таблице 2.

Предельное значение коэффициента Кохрена $G_{кр}$ является табличным значением и принимается в зависимости от числа степеней свободы и уровня значимости. При $\nu_{180с} = m - 1 = 2$, $\nu_{280с} = N = 4$ и $q_{80с} = 5\%$ $G_{кр}$ составляет 0,7679. Расчетная величина G для экспериментальных данных не превышает критического значения $G_{кр}$, следовательно, гипотеза об однородности выборочных дисперсий отвечает результатам наблюдений [4].

Таким образом, всю группу выборочных дисперсий s_g^2 можно считать оцениваемой при одной и той же генеральной дисперсии $\sigma^2\{y\}$ воспроизводимости эксперимента. Ее наилучшая оценка имеет вид:

$$s_{\text{вос}}^2 \{y\} = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{g=1}^N s_g^2 \{y\}, \quad (8)$$

$$s_{\text{вос}}^2 \{y\} = 0,249.$$

Определив коэффициенты уравнения регрессии b , проверим предположения об их значимости, т. е. соответствующие нуль-гипотезы $b = 0$, с помощью критерия Стьюдента, эмпирическое значение которого определяется по формуле:

$$t = \frac{|b|}{s\{b\}}, \quad (9)$$

где

$$s^2 \{b\} = \frac{1}{Nm} s_{\text{вос}}^2 \{y\},$$

Таблица 2

Однородность оценок s_g^2 дисперсий

$s_1^2 = \left(\left \bar{y} - y_1 \right \right)^2$	$s_2^2 = \left(\left \bar{y} - y_2 \right \right)^2$	$s_3^2 = \left(\left \bar{y} - y_3 \right \right)^2$	G
0,004	0,092	0,058	0,600
0,012	0,039	0,008	0,665
0,643	0,196	0,129	0,664
0,456	0,007	0,349	0,561

$$s\{b\} = \sqrt{\frac{0,249}{3 \cdot 4}} = 0,144,$$

$$t = \frac{|b|}{0,144}.$$

В том случае, если найденное значение параметра t превышает значение $t_{кр} = 2,3060$ для числа степеней свободы, $\nu_{зн} = N(m-1) = 8$, знак заданного значения уровня значимости $q_{зн}$ (5 %), то проверяемая нуль-гипотеза отклоняется, и соответствующий коэффициент b признается значимым (таблица 3). В противном случае нуль-гипотеза не отвергается и коэффициент b не является статистически значимым, т. е. $b = 0$ [5].

Таблица 3

Коэффициенты регрессии

	b	t
b_0	2,83	19,65
b_1	-0,73	5,07
b_2	-2,18	15,14

Найденная величина параметра t превышает значение $t_{кр}$ для оценок b_0 , b_1 и b_2 , поэтому оценка всех коэффициентов является значимой [5].

Оценим в одной и той же точке отклонение от прогнозируемого уравнения регрессии величины отклика Y_g на результаты наблюдений \bar{Y}_g с целью проверки гипотезы об адекватности математического описания экспериментальных данных [6]. Рассеяние результатов наблюдений вблизи уравнения регрессии, оценивающего истинную функцию отклика, можно охарактеризовать с помощью дисперсии адекватности:

$$s_{ад}^2 = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (\bar{y}_g - y_g)^2, \quad (10)$$

где d – число определяемых коэффициентов [7].

Дисперсия адекватности определяется с числом степеней свободы $\nu_{ад} = N - d$.

Суть проверки гипотезы адекватности заключается в выяснении связи между дисперсией адекватности $s_{ад}^2$ и оценкой дисперсии воспроизводимости отклика $s_{вос}^2$ (таблица 4). Если данные оценки дисперсии однородны, то математическое описание адекватно представляет результаты эксперимента; в противном случае описание считается не соответствующим [8]. Гипотеза адекватности проверяется с использованием критерия Фишера, который позволяет проверить гипотезу об однородности двух выборочных дисперсий $s_{ад}^2$ и $s_{вос}^2\{y\}$. Если $s_{ад}^2 > s_{вос}^2\{y\}$, F-критерий характеризуется отношением

$$F = s_{ад}^2 / s_{вос}^2\{y\}. \quad (11)$$

Если вычисленное по результатам наблюдений эмпирическое значение F-критерия меньше критического $F_{кр}$

$$\nu_{1ад} = N - d = 1, \quad \nu_{2ад} = \nu_{зн} = N(m-1) = 8 \quad (12)$$

при заданном уровне значимости $q_{ад}$ (5 %), то гипотезу об адекватности не отвергают. В противном случае гипотезу отвергают, а математическое описание признается неадекватным:

$$s_i^2 = \left(\left| \bar{y} - y_i \right| \right)^2. \quad (13)$$

Таблица 4

Оценка дисперсии воспроизводимости отклика

\bar{y}	δ_1	δ_2	$y = 1,46 - 0,08\delta_1 - 0,24\delta_2$	$ \bar{y} - y $	$ \bar{y} - y ^2$
1,92	-1	-1	1,78	0,14	0,02
1,16	-1	+1	1,30	-0,14	0,02
1,48	+1	-1	1,62	-0,14	0,02
1,28	+1	+1	1,14	0,14	0,02
Среднее значение					0,02

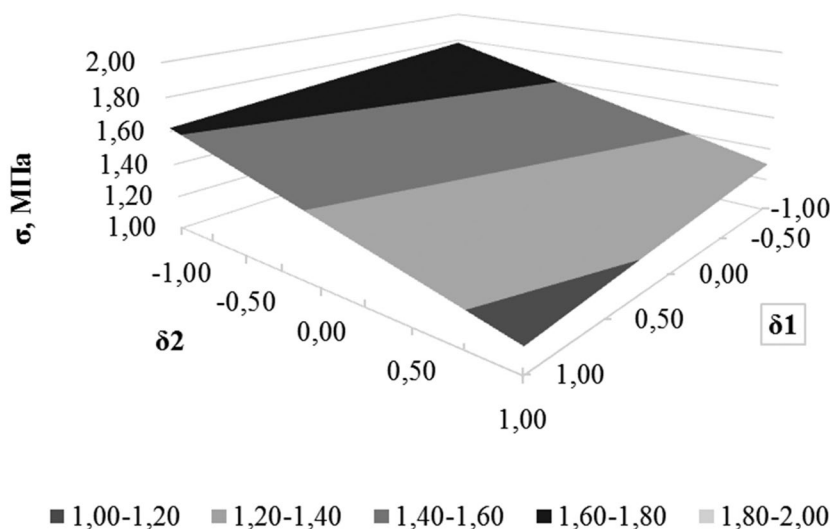


Рис. 3. Поверхность отклика

Вычисленное по результатам наблюдений значение критерия Фишера $F = 12,45$. Критическое значение $F_{кр} = 239$. Эмпирическое значение F-критерия меньше критического $F_{кр}$, следовательно, гипотеза об адекватности не отвергается, и полученное нами математическое описание является адекватным. Из гипотезы о значимости следует, что все коэффициенты b_1, b_2, b_3 значимы [9].

После проверки на основании полученного математического описания была построена поверхность отклика функций свойств материала от переменных в кодированных единицах (4).

Выводы

С использованием математического планирования эксперимента получено уравнение регрессии, позволяющее установить матема-

тическую зависимость между пределом прочности при изгибе отделочного материала из гипсового вяжущего с добавлением древесных опилок от соотношения исходных компонентов материала.

Проведение данного экспериментального испытания позволило вывести уравнение регрессии, используя математическое планирование. Проверка коэффициентов уравнения регрессии показала их адекватность [10]. Анализ полученного уравнения регрессии и поверхности отклика (рис. 3) позволяет сделать вывод о том, что оптимальный состав рассматриваемого композита с точки зрения прочности материала соответствует кодировке $(-1; -1)$, т. е. соотношение будет следующим: вода – 38,89 %; гипсовое вяжущее – 50 %; древесные опилки – 11,11 %.

Библиографический список

1. Макаричев, Ю. А. М 30 Методы планирования эксперимента и обработки данных : учебное пособие / Ю. А. Макаричев, Ю. Н. Иванников. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2016. – 131 с. – Текст : непосредственный.
2. Кузнецова, Е. В. Э413 Математическое планирование эксперимента : учебно-методическое пособие для студентов очного и заочного обучения специальностей «Технология обработки металлов давлением», «Динамика и прочность машин», «Компьютерная механика», «Компьютерная биомеханика». – Пермь : Пермский государственный технический университет, 2011. – 35 с. – Текст : непосредственный.

-
3. Власов, О. Е. Строительная теплофизика. Состояние и перспективы развития / О. Е. Власов. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 290 с. – Текст : непосредственный.
 4. Прогнозирование теплопроводности композиционных материалов различного строения / Г. И. Горчаков, И. И. Лифанов, А. А. Багаутдинов, С. С. Ахмедов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 1992. – № 4. – С. 27–29.
 5. Соколовская, И. Ю. Полный факторный эксперимент : методические указания для самостоятельной работы студентов / И. Ю. Соколовская. – Новосибирск : Новосибирская государственная академия водного транспорта, 2010. – 36 с. – Текст : непосредственный.
 6. Руководство по эксплуатации Э 12.102.010 РЭ. Измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 : утвержден свидетельством Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 04 марта 2011 г. № 894 / изготовлен ООО «Специальное конструкторское бюро Стройприбор», г. Челябинск. – Челябинск. – 45 с. – Текст : непосредственный.
 7. Гипс и материалы на его основе / А. Г. Губская, О. Н. Лебедева, В. С. Меленько, Е. А. Урецкая. – Минск : Стринко, 2009. – 184 с. – Текст : непосредственный.
 8. Будников, П. П. Гипс, его исследование и применение / П. П. Будников. – Москва – Ленинград : Стройиздат Наркомстроя, 1943. – 378 с. – Текст : непосредственный.
 9. Оборудование для контроля качества дорожно-строительных работ / Autolabkomplekt : [сайт]. – URL : <https://xn--80aadcr3abddjreo8al.xn--p1ai/>. – Текст : электронный (дата обращения : 05.04.2022).
 10. Механизм твердения вяжущих и гипсовые материалы. Сборник трудов. Выпуск 1 / Всесоюз. гос. науч.-исслед. ин-т железобетонных изделий и нерудных материалов ВНИИЖелезобетон ; под ред. В. И. Разумаевой. – Москва : Промстройиздат, 1957. – 136 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Makarichev, Yu. A., & Ivannikov, Yu. N. (2016). M 30 Metody planirovaniye eksperimenta i obrabotki dannykh. Samara, Samara State Technical University Publ., 131 p. (In Russian).
2. Kuznetsova, E. V. (2011). E413 Matematicheskoye planirovaniye eksperimenta. Perm, Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 35 p. (In Russian).
3. Vlasov, O. E. (1961). Stroitel'naya teplofizika. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 290 p. (In Russian).
4. Gorchakov, G. I., Lifanov, I. I., Bagautdinov, A. A., & Akhmedov, S. S. (1992). Prognozirovaniye teploprovodnosti kompozitsionnykh materialov razlichnogo stroeniya. Stroitel'nye Materialy, (4), pp. 27-29. (In Russian).
5. Sokolovskaya, I. Yu. (2010). Polnyy faktorny eksperiment. Novosibirsk, Novosibirskaya gosudarstvennaya akademiya vodnogo transporta Publ., 36 p. (In Russian).
6. Izmeritel' teploprovodnosti ITP-MG4. Rukovodstvo po ekspluatatsii E 12.102.010 RE. Approved: 04.03.2011. (In Russian). Available at: http://www.stroypribor.com/netcat_files/316/175/manual_itp.pdf (accessed 23.03.2022).
7. Gubskaya, A. G., Lebedeva, O. N., Melen'ko, V. S., & Uretskaya, E. A. (2009). Gips i materialy na ego osnove. Minsk, Strinko Publ., 184 p. (In Russian).
8. Budnikov, P. P. (1943). Gips, ego issledovaniye i primeneniye. Moscow, Sroyizdat Narkomstroya Publ., 378 p. (In Russian).
9. Oborudovaniye dlya kontrolya kachestva dorozhno-stroitel'nykh rabot. Autolabkomplekt. (In Russian). Available at: <https://xn--80aadcr3abddjreo8al.xn--p1ai/> (accessed 05.04.2022).
10. Razumaeva, V. I. (eds.). (1957). Mekhanizm tverdeniya vyazhushchikh i gipsovykh materialy. Sbornik trudov. Vypusk 1. Moscow, Promstroyizdat Publ., 136 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Ерофеев Александр Владимирович, к. т. н., доцент кафедры конструкций зданий и сооружений, Тамбовский государственный технический университет, e-mail: AV.Erofeev@yandex.ru

Морковин Александр Алексеевич, студент кафедры конструкций зданий и сооружений, Тамбовский государственный технический университет, e-mail: alexalexalexalex23@gmail.com

Горохов Тимофей Иванович, аспирант кафедры конструкций зданий и сооружений, Тамбовский государственный технический университет, e-mail: gorohowt@yandex.ru

Information about the authors

Aleksandr V. Erofeev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Structures of Buildings and Constructions, Tambov State Technical University, e-mail: AV.Erofeev@yandex.ru

Alexander A. Morkovin, Student at the Department of Structures of Buildings and Constructions, Tambov State Technical University, e-mail: alexalexalexalex23@gmail.com

Timofei I. Gorokhov, Postgraduate at the Department of Structures of Buildings and Constructions, Tambov State Technical University, e-mail: gorohowt@yandex.ru

Для цитирования: Ерофеев, А. В. Построение и проверка адекватности уравнения регрессии прочности на растяжение при изгибе от соотношения компонентов композитного материала / А. В. Ерофеев, А. А. Морковин, Т. И. Горохов. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-30-38. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 2 (100). – С. 30–38.

For citation: Erofeev, A. V., Morkovin, A. A., & Gorokhov, T. I. (2022). Construction and verification of the adequacy of the regression equation of the bending tensile strength from the ratio of composite material components. *Architecture, Construction, Transport*, (2(100)), pp. 30-38. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-30-38.