

ДРЕВЕСНО-НАПОЛНЕННЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Н. О. Новикова, В. П. Ярцев

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; kzis@nnn.tstu.ru*

Ключевые слова: композит; пеллеты; ресурсосбережение; физико-механические характеристики; эпоксидная смола.

Аннотация: Рассмотрена возможность использования древесных гранул (пеллет) в качестве заполнителя в полимерных композитных материалах. Для различных составов, приготовленных в соответствии с симплекс-решетчатым планом эксперимента, исследованы прочность на изгиб и сжатие в зависимости от смешанных факторов твердой фазы. Построены математические модели и с их помощью установлены оптимальные соотношения компонентов смеси.

Создание, разработка и использование экологичных и надежных строительных материалов является на данный момент актуальным. Тема экологии стоит остро, поскольку в мире много неиспользуемых отходов. Например, в России нет разделения мусора, практически отсутствуют мусоросортировочные заводы и предприятия по его переработке (на переработку идут только 4 % из общего объема отходов [1]). Ежегодно в крупных городах образуется более 5 млн т отходов, которые просто свозят на полигоны или закапывают в землю [2].

Удельная доля древесных отходов в общей доле мусора составляет 15 – 22 %. Их утилизация могла бы помочь разгрузить мусорные полигоны, решить задачи охраны окружающей среды и принести прибыль. Древесина относится к биоразлагаемым материалам, если не пропитана специальными составами, тем не менее ее отходы опасны для окружающей среды. В местах их скопления активно развиваются грибок, плесень, различные насекомые (например, жуки-короеды, клещи). Такая свалка опасна и с точки зрения противопожарной безопасности.

Одним из методов, позволяющих решить этот вопрос, является производство гранул (пеллет). Технология производства проста (сырье измельчают до состояния муки, сушат, в пресс-грануляторе сжимают в гранулы и охлаждают полученный материал), а в качестве сырья идут некачественная древесина, древесные отходы, кора, опилки и другие отходы лесозаготовки [3].

В данной работе предлагается использовать древесные гранулы в качестве заполнителя при изготовлении композитного материала, в качестве связующего – термореактивные смолы. Синергия древесины и полимера уже давно известна и хорошо себя зарекомендовала (ДСП, ДВП, МДФ, фанера, модифицированная полимерами древесина и т.п.).

Для приготовления образцов в качестве вяжущего использована эпоксидно-диановая смола марки ЭД-20 (ГОСТ 10587–84). Для ее отверждения применялся отвердитель марки ПЭПА (полиэтиленполиамин), соответствующий требованиям

ТУ 2413-214-00203312–2002. Соотношение смола : отвердитель, согласно рекомендациям завода-изготовителя, равно 1 : 10. Расход смолы в смеси изменялся согласно плану эксперимента в зависимости от содержания других компонентов в трехкомпонентной смеси «смола – песок – пеллеты».

В качестве заполнителя использовались древесные гранулы (пеллеты), изготовленные из опилок сосновых пород, а также измельченный в вибровращательной шаровой мельнице песок.

Для определения физико-механических характеристик (прочности на изгиб $R_{изг}$, МПа, и центральное сжатие $R_{сж}$, МПа) изготовлены образцы в форме балочек $20 \times 20 \times 120$ мм по три образца-дублера в каждой партии. Готовая смесь после формования отправлялась в термокамеру. В течение двух часов при температуре 100°C образцы выдерживали в камере, а затем их охлаждали до комнатной температуры.

Экспериментальное определение прочности образцов на изгиб и центральное сжатие выполнялось согласно методикам по ГОСТ 10180–2012. Эксперимент реализован в соответствии с симплекс-решетчатый планом типа «состав – свойство» для $q = 3$ переменных, включающего $N = 7$ опытов (табл. 1) [4]. Данный план предусматривает определенный порядок реализации измерений и разработку математической модели в виде неполного полинома второй степени.

Для экспериментальных исследований реализован трехфакторный план, где факторами являются смола z_1 , песок z_2 и пеллеты z_3 , а целевыми функциями – прочность на сжатие, изгиб, плотность.

В каждой точке такого плана должно выполняться условие [4]

$$z_1 + z_2 + z_3 = 1.$$

Используя полученную по результатам измерений модель, предполагалось выполнить поиск оптимальных значений рассматриваемых факторов (удельного веса каждого компонента твердой фазы), обеспечивающих наивысшую прочность исследуемых образцов. В выбранном плане каждый из факторов рекомендуется рассматривать на четырех уровнях: 0; 0,333; 0,5; 1.

Результаты эксперимента приведены в табл. 2, где при исследовании прочности образцов на изгиб дисперсия: $S_{\max}^2 = 1,503$, $\sum S_i^2 = 8,073$, $S_{cp}^2 = 1,153$; на сжатие: $S_{\max}^2 = 1,945$, $\sum S_i^2 = 6,776$, $S_{cp}^2 = 0,968$.

Таблица 1

План эксперимента и уровни изменения рассматриваемых факторов

Номер опыта	z_1	z_2	z_3	x_1 смола	x_2 песок	x_3 пеллеты
1	1	0	0	0,7	0	0,3
2	0	1	0	0,5	0,2	0,3
3	0	0	1	0,5	0	0,5
4	0,5	0,5	0	0,6	0,1	0,3
5	0,5	0	0,5	0,6	0	0,4
6	0	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4
7	0,333	0,333	0,333	$0,566 \approx 0,57$	$0,066 \approx 0,07$	0,36

Таблица 2

Результаты исследования прочности образцов на изгиб $R_{изг}$ и сжатие $R_{сж}$ МПа, в зависимости от выбранных факторов

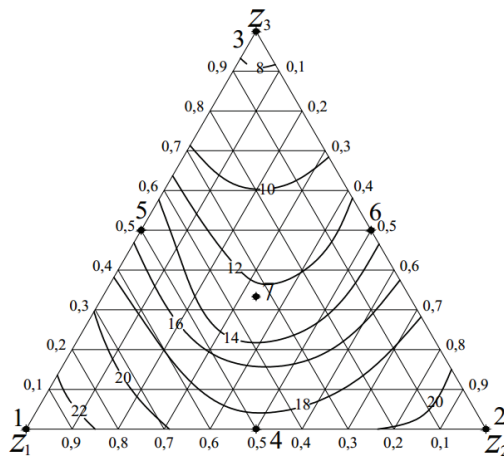
Номер опыта	z_1	z_2	z_3	Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа		Дисперсия, S^2	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа		Дисперсия, S^2
				экспериментальная	средняя		экспериментальная	средняя	
1	1	0	0	24,832	23,895	0,869	70,894	70,524	0,627
				71,500					
				69,960					
				69,300					
				71,000					
2	0	1	0	22,968	21,989	1,051	70,490	80,748	1,945
				20,832					
				22,782					
				81,760					
				81,200					
3	0	0	1	22,355	7,988	0,850	81,570	65,670	0,271
				6,926					
				8,569					
				82,000					
				78,960					
				8,470			65,670		

4	0,5	0,5	0	19,724	18,314	1,503	56,000	57,198	1,099
							55,790		
							57,720		
							58,250		
							58,000		
57,430									
5	0,5	0	0,5	14,064	15,106	1,133	62,700	64,587	0,879
							65,000		
							65,230		
							64,970		
							64,840		
64,780									
6	0	0,5	0,5	12,182	13,246	1,377	65,600	66,002	1,522
							66,720		
							66,890		
							67,500		
							65,000		
64,300									
7	0,333	0,333	0,333	14,015	12,841	1,290	77,200	77,370	0,433
							76,638		
							77,800		
							77,350		
							78,420		
76,810									

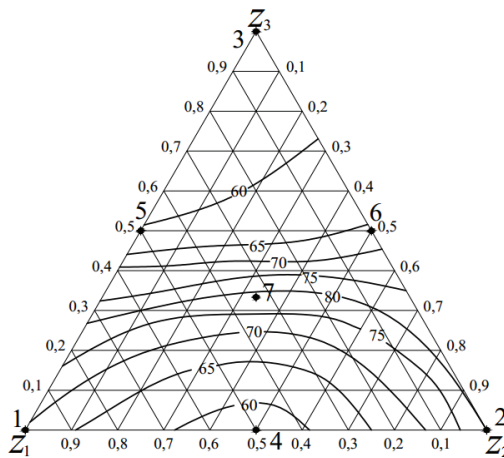
По данным табл. 2 (прочность на изгиб) построен график в виде изолиний рассматриваемой зависимости в координатах псевдофакторов z_i (рис. 1, *a*), согласно которому наивысшая прочность на изгиб Y_1 в данном эксперименте получена в точке 1 и равна 23,895 МПа. Данное значение получено при соотношении смола : песок : pellets = 1 : 0 : 0.

Наименьшая прочность на изгиб полимерных образцов находится в точке 3 ($Y_1 = 7,988$ МПа). Для данной точки характерно большое количество pellets. Очевидно, что при уменьшении числа гранул в полимерной смеси получается более прочный материал.

Рассмотрим область наивысших прочностных показателей (между точками 1 и 2). Из рисунка 1, *a*, видно, что в точке 4 данного треугольника можно получить прочность на изгиб в диапазоне 18...20 МПа. В то же время, двигаясь от нее вправо или влево, можно получить материал прочнее.



a)



б)

Рис. 1. Прочности на изгиб $R_{изг}$, МПа, (*a*) и сжатие $R_{сж}$, МПа, (*б*) полимерных образцов в зависимости от содержания компонентов в координатах псевдофакторов:

смола z_1 , песок z_2 , pellets z_3

Следовательно, для получения повышенной прочности на изгиб следует выбирать смеси с соотношением смола : песок : pellets = 1 : 0 : 0; 0,9 : 0,1 : 0; 0,8 : 0,2 : 0; 0,7 : 0,3 : 0; 0,2 : 0,8 : 0; 0,1 : 0,9 : 0; 0 : 1 : 0. Между точками 1 и 5 это будет соотношение смеси, равное 0,9 : 0 : 0,1, между точками 2 и 6 – 0 : 0,9 : 0,1.

По данным табл. 2 (прочность на сжатие) построен график в виде изолиний рассматриваемой зависимости в координатах псевдофакторов z_i (рис. 1, б), из которого видно, что наивысшая прочность на сжатие Y_2 получена в точке 2 и равна 80,748 МПа. Область наивысших прочностей располагается около точки 7 и снижается к точке 2. Замечено, что при движении из точки Z_2 в Z_3 , когда количество песка в полимерной смеси уменьшается, а количество pellets увеличивается, начиная с соотношения компонентов смеси смола : песок : pellets – 0 : 0,8 : 0,2, наблюдается снижение прочности на сжатие.

Высокое значение прочности на сжатие можно получить, используя рецептуру соотношения компонентов, полученную между точками 1 и 5, а именно соотношение компонентов равное, например, 0,75 : 0 : 0,25. Выбирать соотношения компонентов из этой области более рационально, поскольку в данном промежутке не наблюдается такой резкий скачок прочности на сжатие, который замечен в области между точками 2 и 6.

Наименьшая прочность полимерных образцов на сжатие наблюдается в области–треугольнике точек 3, 5, 6, для которой характерно большое содержание гранул (pellets). Также идет снижение прочности материала на сжатие в точке 4, где имеет место равное содержание двух факторов (смола и песок).

Учитывая полученные результаты по физико-механическим характеристикам материала, данный композит на основе эпоксидной смолы можно использовать в качестве конструктивного материала для несущих и самонесущих конструкций. Например, изготавливать фундаментные блоки для малоэтажного жилого строительства или, учитывая стойкость эпоксидных композитов к агрессивным средам, применять при строительстве зданий и сооружений, в которых может быть такое воздействие на конструкции.

Список литературы

1. Мусорная статистика: в России перерабатываются только 4% отходов [Электронный ресурс] // Информационно-аналитический интернет-портал «МИР 24». – Режим доступа : <https://mir24.tv/news/16268644/musornaya-statistika-v-rossii-pererabatyvayutsya-tolko-4-othodov> (дата обращения: 25.12.2018)
2. Пути отходов [Электронный ресурс] // Электрон. журнал «Вокруг света». – Июль, 2012. – Режим доступа : <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/7755> (дата обращения: 25.12.2018)
3. Что такое pellets [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://woodheat.ru/pellet.html> (дата обращения: 25.12.2018)
4. Зедгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976. – 390 с.

Wood-Filled Epoxy Resin Composite

N. O. Novikova, V. P. Yartsev

Department of Buildings and Structures, TSTU, Tambov, Russia; kzis@nnn.tstu.ru

Keywords: composite; pellets; resource saving; physical and mechanical characteristics; epoxy resin.

Abstract: The possibility of using wood pellets as a filler in polymer composite materials is considered. For different compositions prepared in accordance with the simplex-lattice plan of the experiment, the flexural and compressive strengths were investigated depending on the mixed factors of the solid phase. Mathematical models were constructed and with their help the optimum ratios of the mixture components were established.

References

1. <https://mir24.tv/news/16268644/musornaya-statistika-v-rossii-pererabatyvayutsya-tolko-4-otodov> (accessed 25 December 2018)
2. <http://www.vokrugsveta.ru/vs/article/7755> (accessed 25 December 2018)
3. <http://woodheat.ru/pellet.html> (accessed 25 December 2018)
4. Zedginidze I.G. *Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnykh sistem* [Planning an experiment to study multicomponent systems], Moscow: Nauka, 1976, 390 p. (In Russ.)

Holzgefüllter Verbundstoff auf Basis von Epoxidharz

Zusammenfassung: Es ist die Möglichkeit betrachtet, Holzpellets als Füllstoff in Polymerverbundwerkstoffen zu verwenden. Für verschiedene Zusammensetzungen, die gemäß dem Simplex-Gitter-Plan des Experiments hergestellt worden sind, sind die Biege- und Druckfestigkeiten in Abhängigkeit von den Mischfaktoren der Festphase untersucht. Es sind mathematische Modelle erstellt und mit deren Hilfe die optimalen Mischungsverhältnisse festgelegt.

Composite rempli de bois à la base de résine époxy

Résumé: Est envisagée la possibilité d'utiliser des granulés de bois comme remplisseur dans des matériaux composites polymères. Pour de différentes compositions préparées selon le plan simplex-treillis de l'expérience, sont étudiées la résistance à la flexion et celle à la compression en fonction des facteurs de mélange de la phase solide. Sont construits les modèles mathématiques et sont établis des rapports optimaux des composants dans le mélange.

Авторы: *Новикова Наталья Олеговна* – магистрант; *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Леденёв Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.