

УДК 674.04

Р. Г. Сафин, М. Г. Ахмадиев, И. М. Галиев**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАПОЛЬНОГО НАСТИЛА НА ОСНОВЕ
ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Интерполяционным методом проведено моделирование изменения механических характеристик, таких, как твердость, удельное сопротивление выдёргиванию шурупов и предел прочности на изгиб напольного настила на основе древесно-полимерных композитов. Построены аналитические выражения, аппроксимирующие результаты экспериментов и позволяющие получить интересные для нас данные, не проводя множество экспериментов, что имеет ценность при построении математических моделей различных процессов. Полученная математическая модель даёт возможность с высокой точностью получать необходимые данные, определять соотношение компонентов для получения изделий с определёнными свойствами в зависимости от области их дальнейшего применения.

Ключевые слова: древесина, композиционный материал, полимер, математическая модель.

На сегодняшний день требования строительной отрасли обуславливают необходимость разработки и совершенствования строительных материалов как по эксплуатационным свойствам, так и по экономическим критериям. При наращивании производства материалов строительной индустрии важным направлением является создание альтернативных материалов, основанных на использовании отходов перерабатывающих производств [1, с. 32–36]. Мировой промышленностью каждый год производятся, перерабатываются миллиарды тонн материалов, совершенствуются существующие технологии и аппараты. Отходы лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств являются оптимальным сырьём для использования их в качестве наполнителя различных древесных композитов (террасные доски, арболит, опилкобетон и т. д.).

Для анализа эффективности производства используются методы математического моделирования. Особенности многих важных процессов в эксплуатационных и аварийных режимах исключают какие-либо

Сафин Рушан Гареевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой переработки древесных материалов (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань); e-mail: safin@kstu.ru.

Ахмадиев Марат Габдулбарович — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики, (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань).

Галиев Ильнар Марселевич — аспирант (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань); e-mail: galei1@mail.ru.

© Сафин Р. Г., Ахмадиев М. Г., Галиев И. М., 2016

исследования на производстве, в этих случаях математическое моделирование и численный эксперимент оказывается практически единственным инструментом исследований. Для успешного использования математической модели необходимо, чтобы модель достаточно верно описывала качественно и количественно свойства исследуемого объекта. Для проверки адекватности математической модели реальному процессу нужно сравнить результаты измерения с результатами предсказания модели в идентичных условиях (при определённых значениях входных и управляющих параметров). Такая проверка позволяет оценить точность математической модели и, следовательно, возможность её применения в реальных условиях и для решения различных задач.

При изучении различных физических явлений и проведении технологических экспериментов часто наблюдается функциональная зависимость между величинами, описывающими количественную сторону данного явления или эксперимента. Результаты этих экспериментов обычно представляются графически, т. е. в виде некоторых линий, указывающих связь между этими величинами. Чтобы показать эту зависимость, иногда приходится проводить множество экспериментов. Для этого требуется достаточно много времени и большое количество различных компонентов. В этой связи встаёт вопрос: как установить зависимость или связь между экспериментальными величинами, имея минимальное количество исходных данных? В данной работе приведены результаты исследований твёрдости, удельного сопротивления выдёргиванию шурупов и предела прочности на изгиб изделия. На основании полученных экспериментальных результатов построена математическая модель процесса изменения механических характеристик напольного материала. Для установления функциональной зависимости между экспериментальными величинами вслед за работами [2, с. 217–222], [3, с. 153–154] используется теория интерполирования функций.

Одним из научных направлений кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «КНИТУ» является переработка древесных отходов в древесно-композиционные материалы, а именно напольных покрытий, состоящих из поверхностного и внутреннего слоя [4, с. 87–88].

На рисунке 1 представлены результаты экспериментальных исследований по изучению твёрдости напольного настила.

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением количества древесного наполнителя в изделии твёрдость материала уменьшается. Математическая модель, описывающая изменение твёрдости напольного настила на основе полипропилена (ПП) и полиэтилена (ПЭ) в зависимости от содержания древесного наполнителя, представлена в виде соотношений:

$$H_{\text{ПП}}(C_{\text{др}}) = -0,00115C^3 + 0,129C^2 - 1,326C, \quad (1)$$

$$H_{\text{ПЭ}}(C_{\text{др}}) = -0,000861C^3 + 0,0963C^2 - 0,931C, \quad (2)$$

где $H_{\text{ПП}}$ – твёрдость напольного настила на основе ПП, $H_{\text{ПЭ}}$ – твёрдость напольного настила на основе ПЭ, $C_{\text{др}}$ – концентрация древесного наполнителя в напольном настиле.

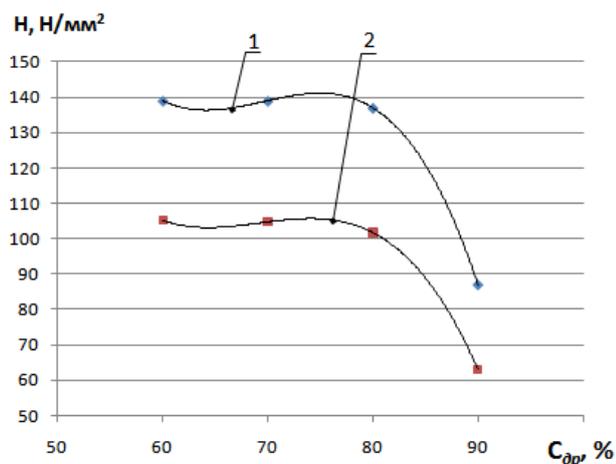


Рис. 1. Изменение твердости напольного настила в зависимости от содержания древесного наполнителя в композите: 1 – на основе полипропиленовой матрицы; 2 – на основе полиэтиленовой матрицы

Результаты исследований изменения удельного сопротивления выдёргиванию шурупов в зависимости от количества древесного наполнителя в композите представлены на рисунке 2.

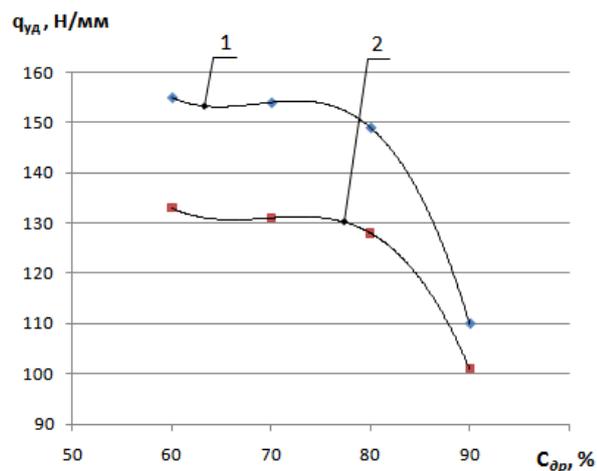


Рис. 2. Изменение удельного сопротивления выдергиванию шурупов в напольном настиле: 1 – на основе полипропиленовой матрицы; 2 – на основе полиэтиленовой матрицы

Проведённые испытания показывают, что с увеличением количества древесного наполнителя в напольном настиле удельное сопротивление выдёргиванию шурупов уменьшается. Математическая модель, описывающая изменение удельного сопротивления выдёргиванию шурупов в зависимости от содержания древесного наполнителя в изделии, представлена в виде соотношений:

$$q_{\text{уд пп}}(C_{\text{др}}) = -0,000721C^3 + 0,0636C^2 + 1,327C + 0,311, \quad (3)$$

$$q_{\text{уд пэ}}(C_{\text{др}}) = -0,000389C^3 + 0,0231C^2 + 2,219C + 0,132, \quad (4)$$

где $q_{\text{уд пп}}$ – удельное сопротивление выдёргиванию шурупов напольного настила на основе ПП, $q_{\text{уд пэ}}$ – удельное сопротивление выдёргиванию шурупов напольного настила на основе ПЭ, $C_{\text{др}}$ – концентрация древесного наполнителя в напольном настиле.

На рисунке 3 приведены результаты изучения предела прочности при изгибе в зависимости от количества древесного наполнителя в напольном настиле.

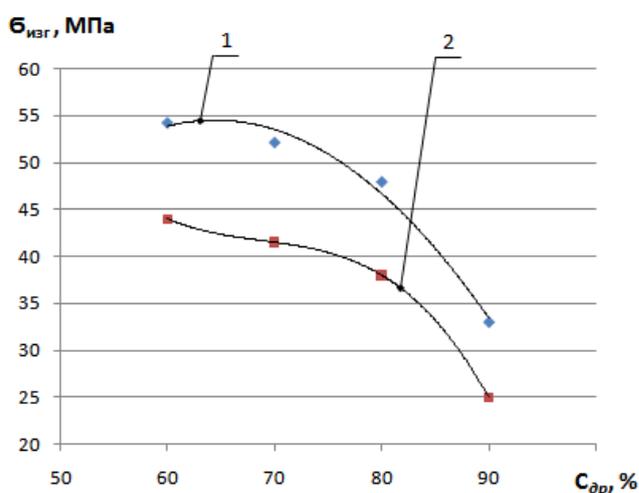


Рис. 3. Изменение предела прочности на изгиб в зависимости от содержания древесного наполнителя в напольном настиле: 1 – на основе полипропиленовой матрицы; 2 – на основе полиэтиленовой матрицы

Проведённые испытания показывают, что с увеличением количества древесного наполнителя в изделии предел прочности при изгибе уменьшается. Математическая модель, описывающая изменение предела прочности при изгибе изделия на основе ПП и ПЭ, представлена в виде соотношений:

$$\sigma_{\text{изг пп}}(C_{\text{др}}) = -0,000351C^3 + 0,0356C^2 + 0,000911C, \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{изг ПЭ}}(C_{\text{др}}) = -0,000292C^3 + 0,0291C^2 + 0,000776C, \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{изг ПП}}$ – предел прочности при изгибе напольного настила на основе ПП, $\sigma_{\text{изг ПЭ}}$ – предел прочности при изгибе напольного настила на основе ПЭ, $C_{\text{др}}$ – концентрация древесного наполнителя в напольном настиле.

Проанализировав результаты проведённых исследований, мы установили, что наибольшая прочность напольного настила достигается при формировании композита на основе ПП. Преимуществом ПЭ является лёгкость в переработке и низкая стоимость. Рекомендуемой концентрацией древесного наполнителя в напольном настиле является 70–80 %. При данной концентрации компонентов достигаются лучшие свойства изделий, объясняется это достаточным обволакиванием древесного наполнителя полимером и заполнением пустот между наполнителем и матрицей в микромасштабе. Концентрация древесного наполнителя менее 70 % практически не улучшает прочностные показатели изделия и обуславливает лишь дополнительные затраты. При увеличении концентрации более 80 % наблюдается резкое ухудшение исследуемых показателей материала.

В данной работе исследовались механические характеристики напольного настила на основе древесно-полимерных композитов и интерполяционным методом установлена функциональная зависимость, описывающая изменение твёрдости, удельного сопротивления выдёргиванию шурупов и предела прочности при изгибе напольного настила в зависимости от содержания древесного наполнителя. В частности, построены аналитические выражения, аппроксимирующие результаты экспериментов (величина достоверности аппроксимации равна 0,95).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абушенко А. В. Древесно-полимерные композиты: слияние двух отраслей // Мебельщик. 2005. № 3. С. 32–36.
2. Ахмадиев М. Г., Шакиров Ф. Ф., Шайхиев И. Г. Математическое моделирование процессов мембранной очистки сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 10. С. 217–222.
3. Сафин Р. Г., Галиев И. М., Ахмадиев М. Г. Моделирование свойств высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых методом экструзии // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 4. С. 152–154.
4. Сафин Р. Г., Игнатьева Г. И., Галиев И. М. Исследование высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых экструзионным методом // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 2. С. 87–88.

* * *

Safin Rushan G., Akhmadiev Marat G., Galiev Ilnar M.
MODELING OF MECHANICAL CHARACTERISTICS FLOOR
INFUSION OF WOOD-POLYMER COMPOSITES

Kazan National Research Technological University, Kazan

Interpolation method has been used to simulate changes in the mechanical properties such as hardness, resistivity of pulling screws and flexural strength on based flooring, wood-polymer composite material. The analytical expressions that approximate the results of experiments and yields interesting data without spending a lot of experimentation that has value in constructing mathematical models of different processes have been built. The resulting mathematical model makes it possible to accurately obtain the necessary data to determine the ratio of the components to produce products with specific properties depending on the area of their further use.

Keywords: wood, composite material, a polymer, a mathematical model.

REFERENCES

1. Abushenko A. V. *Wood-polymer composites: merging two branches* [Drevesno-polimernye kompozity: sliyanie dvukh otrasley], *Mebel' shchik*, 2005, no. 3, pp. 32–36.
2. Akhmadiev M. G., Shakirov F. F., Shaykhiev I. G. Mathematical modeling of membrane wastewater treatment [Matematicheskoe modelirovanie protsessov membrannoy ochistki stochnykh vod], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 10, pp. 217–222.
3. Safin R. G., Galiev I. M., Akhmadiev M. G. Modeling properties of highly filled wood-polymer composite materials produced by extrusion [Modelirovanie svoystv vysokona-polnennykh drevesno-polimernykh kompozitsionnykh materialov, poluchaemykh metodom ekstruzii], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, no. 4, pp. 152–154.
4. Safin R. G., Ignat'eva G. I., Galiev I. M. The study of highly wood-polymer composite materials produced by extrusion method [Issledovanie vysokonapolnennykh drevesno-polimernykh kompozitsionnykh materialov, poluchaemykh ekstruzionnym metodom], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013, no. 2, pp. 87–88.

* * *