

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Ключевые слова: древесина, экструзия, композиционный материал, экструдер, полимер, смешение, водопоглощение.

Методом интерполирования обработаны результаты исследований водопоглощения и изменения плотности высоконаполненного древесно-полимерного композиционного материала.

Keywords: wood, extrusion, composite material, extruder, polymer, mixing, water absorption.

Interpolation method processed the results of studies of water absorption and density changes of highly filled wood-polymer composite material.

На сегодняшний день изготовление древесно-полимерного композиционного материала (ДПКМ) является одним из наиболее динамично развивающихся секторов отрасли переработки пластмасс и древесных отходов. Изделия, произведенные из ДПКМ по технологии «жидкого дерева», обладают всеми положительными качествами, присущими полимерам и древесине [1,2].

ДПКМ состоит из трех основных компонентов: древесный наполнитель, полимерное связующее и технологические добавки. Содержание древесины в ДПКМ может быть различным - чем ее больше, тем свойства такого материала ближе к натуральному дереву и он напоминает древесноволокнистую плиту (ДВП), с меньшим содержанием больше похож на пластмассу. Вторым важнейшим компонентом является термореактивный или термопластичный полимер (матрица). На практике в качестве полимерных матриц для производства ДПКМ наибольшее распространение получили полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) и поливинилхлорид (ПВХ). Столь широкое применение ПЭ и ПП связано с их хорошей смешиваемостью с органическим наполнителем, а также низкой температурой плавления, позволяющей применять органический наполнитель без риска термического разложения древесины. Кроме того, в состав ДПКМ входят различного рода добавки для улучшения свойств композита [1,3]. Изделия из ДПКМ могут изготавливаться различными способами - это литье и непрерывная экструзия. Наибольшее распространение получил метод непрерывной экструзии, поскольку этим методом можно получать материалы различных конфигураций и размеров [4].

В последнее время при исследовании различных технологических процессов существенное развитие получили методы математического моделирования. Это связано с интенсивным применением информационных технологий и вычислительной техники. Использование математических моделей при расчетах процессов и аппаратов технологий дает возможность значительно сократить время исследования. 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 определенных значениях входных и управляющих параметров). Такая проверка позволяет оценить точность математической модели и, следовательно, возможность ее 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 встает вопрос: как установить зависимость или связь между экспериментальными величинами, имея минимальное количество исходных данных? В данной работе для математической обработки результатов экспериментальных исследований, и для установления зависимости между экспериментальными величинами, следуя работе [5], используется теория интерполирования функций [6].

Важнейшим показателем для строительных материалов является водопоглощение. Как правило, водопоглощение ухудшает свойства материала, увеличивает теплопроводность и среднюю плотность, а также уменьшает прочность. Для исследования процесса водопоглощения высоконаполненных ДПКМ по ГОСТ 4650-80 (СТ СЭВ 1692-79) [7] были изготовлены экспериментальные образцы на установке, состоящей из: одношнекового горизонтального экструдера, рамы (на которой смонтированы электродвигатель), редуктора, корпуса с бункером и системы нагрева (рис.1) [8].

Для изготовления экспериментальных образцов ДПКМ использовались следующие компоненты:

- 1) связующие - ПЭ и ПП в количестве 20-40% от общей массы;
- 2) наполнитель - древесные опилки в количестве 60-80% от общей массы.

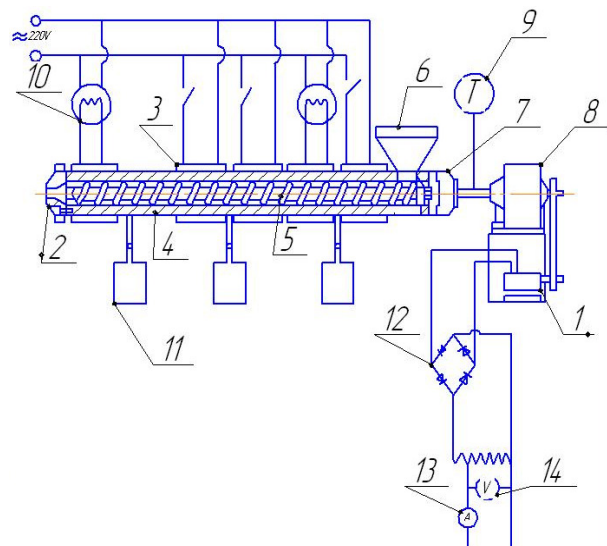


Рис. 1 - Схема одношнекового горизонтального экструдера: 1 - двигатель; 2 - экструзионная головка; 3 - нагреватель корпуса; 4 - корпус; 5 - шнек; 6 - загрузочное устройство; 7 - опорный подшипник; 8 - редуктор; 9 - тахометр; 10 - регулятор напряжения; 11 - мультиметр для измерения температуры; 12 - выпрямитель; 13 - амперметр; 14 - вольтметр.

Технология изготовления образцов заключалась в следующем. На первом этапе проводится изготовление компаунда. Технология компаундирования: подготовка компонентов, заключающаяся в сушке древесной муки до влажности менее 6% (для предотвращения в процессе смешивания выделения влаги и улучшения адгезии со связующим), затем вальцевание. В результате получаем полуфабрикат ДПКМ, который подается в загрузочное устройство экструдера и полученные образцы обрезаются нужной длины[9]. Результаты исследований изменения водопоглощения представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели изменения водопоглощения

Вид связующего	Соотношение компонентов: связующее/наполнитель (%)	Количество поглощенной воды (%)
ПП	40/60	2,3
	35/65	3,5
	30/70	4,6
	25/75	7,3
ПЭ	40/60	2,4
	35/65	4,8
	30/70	6,8
	25/75	11

На рис.2 представлены результаты экспериментальных исследований и математической модели в виде кривых:

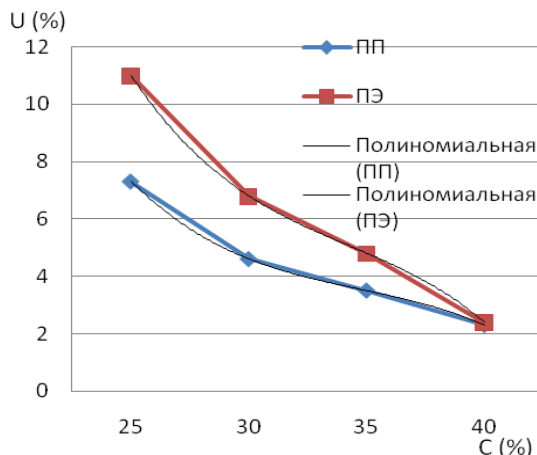


Рис. 2 - Изменение количества поглощенной воды в зависимости от содержания полимера в ДПКМ

Анализ результата показывает, что с увеличением количества полимера в ДПКМ содержание поглощенной воды уменьшается. Математическая модель, описывающая изменение водопоглощения ДПКМ на основе ПП и ПЭ, в зависимости от содержания полимера представлена в виде соотношений:

$$U(C_{\text{пп}}) = -0,2833C_{\text{пп}}^3 + 2,5C_{\text{пп}}^2 - 8,2167C_{\text{пп}} + 13,3, \quad (1)$$

$$U(C_{\text{пэ}}) = -0,4333C_{\text{пэ}}^3 + 3,7C_{\text{пэ}}^2 - 12,267C_{\text{пэ}} + 20, \quad (2)$$

где U – количество поглощенной влаги, $C_{\text{пп}}$ – содержание полипропилена, $C_{\text{пэ}}$ – содержание полиэтилена.

Немаловажным для строительных материалов является показатель плотности материала. Влияние содержания полимера на плотность ДПКМ, представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Показатели изменения плотности

Вид связующего	Соотношение компонентов: связующее/наполнитель (%)	Плотность (кг/м³)
ПП	40/60	1094
	35/65	1104
	30/70	1140
	25/75	1196
ПЭ	40/60	1044
	35/65	1056
	30/70	1120
	25/75	1145

Результаты исследований изменения плотности материала представлены на рис. 3. Как видно из зависимостей, приведенных на рис. 3, с увеличением содержания полимера, плотность материала уменьшается. Образцы на основе ПП имеют более высокую плотность, чем образцы на основе ПЭ.

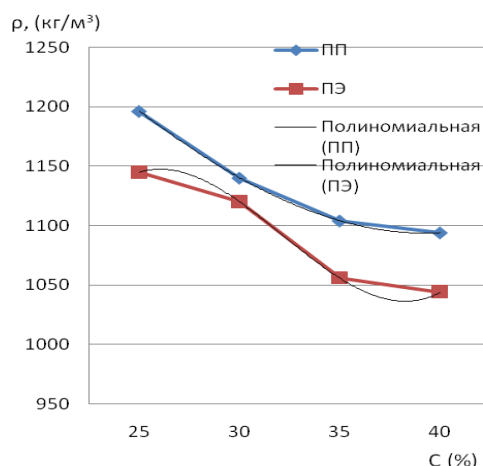


Рис. 3 - Изменение плотности ДПКМ в зависимости от содержания полимера

Математическая модель, описывающая изменение плотности ДПКМ на основе ПП и ПЭ, в зависимости от содержания полимера представлена в виде соотношений:

$$\rho(C_{\text{пп}}) = C_{\text{пп}}^3 + 4C_{\text{пп}}^2 - 75C_{\text{пп}} + 1266, \quad (3)$$

$$\rho(C_{\text{пэ}}) = 15,167C_{\text{пэ}}^3 - 110,5C_{\text{пэ}}^2 + 200,33C_{\text{пэ}} + 1040, \quad (4)$$

где ρ – плотность материала, $C_{\text{пп}}$ – содержание полипропилена, $C_{\text{пэ}}$ – содержание полиэтилена.

В данной работе исследовались свойства высоконаполненных ДПКМ и методом интерполирования проведена математическая обработка результатов экспериментальных

исследований. Установлена функциональная зависимость, описывающая изменение водопоглощения и плотности исследуемого материала в зависимости от содержания полимера. В частности, построены аналитические выражения, аппроксимирующие результаты экспериментов и позволяющие получить интересующие нас данные, не проводя множество экспериментов (величина достоверности аппроксимации равна 0,99).

Литература

1. А.В. Абушенко, *Мебельщик*, 3, 32-36, (2005).
2. Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Л.И. Левашко, *Вестник казанского технологического университета*, 18, 69-75, (2011).
3. Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, В.В. Степанов, Э.Р. Хайруллина, *Вестник казанского технологического университета*, 11, 90-92, (2012).
4. Р.Г. Сафин, Г.И. Игнатъева, И.М. Галиев, *Вестник казанского технологического университета*, 2, 87-88, (2013).
5. М.Г. Ахмадиев, Ф.Ф. Шакиров, И.Г. Шайхиев, *Вестник казанского технологического университета*, 10, 217-222, (2011).
6. Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков, *Численные методы*, Наука, Москва, 1987, 356 с.
7. ГОСТ 4650-80. *Методы определения водопоглощения*. ИПК изд-во стандартов, Москва, 1980, 5с.
8. Пат. Россия 2422268 (2011).
9. М.К. Герасимов, Г.И. Игнатъева, Р.Р. Мухаметзянов, И.М. Галиев, В.В. Степанов, *Вестник казанского технологического университета*, 15, 3, 106-107, (2012).

© Р. Г. Сафин – д-р техн. наук, проф., зав. каф. переработки древесных материалов КНИТУ, safin_rg@kstu.ru; И. М. Галиев – асп. той же кафедры, galei1@mail.ru; М. Г. Ахмадиев – к. физ.-мат. наук, доц. кафедры высшей математики КНИТУ.