

*С.В. Жерносек, S.V. Zhernosek, e-mail: zs\_85@mail.ru*

*А.Н. Бизюк, A.N. Biziuk, e-mail: biziuk.andrei@gmail.com*

*Н.Н. Ясинская, N.N. Yasinskaya, e-mail: yasinskaynn@rambler.ru*

*В.И. Ольшанский, V.I. Olshanskiy, e-mail: olshanskiy\_valeriy@mail.ru*

Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь  
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### MODELING OF THE PROCESS OF TEXTILE COMPOSITES FORMATION

Authors conducted the modeling of the formation process of textile composites under exposure of a microwave and infrared electromagnetic waves. The functions of the optimal combinations to determine the power and the exposure time for different concentrations of the polymeric composition have been obtained. The mathematical model for determining the energy consumption per unit volume of composite material has been obtained.

Авторы провели моделирование процесса формирования текстильных композиционных материалов в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ и ИК диапазонов. Получены функции для определения оптимальных комбинаций мощности и времени воздействия для различных концентраций полимерной композиции. Построены математические модели для определения энергозатрат на единицу объема композиционного материала.

*Ключевые слова: моделирование, формирование, текстильные композиционные материалы, полимерная композиция, СВЧ и ИК воздействие, обобщенная функция желательности, функции желательности Дерринджера.*

*Keywords: modeling, formation, textile composites, polymer composition, microwave and IR exposure, generalized desirability function, Derringer desirability function.*

Целью работы является моделирование и оптимизация процессов, происходящих при формировании текстильных композиционных материалов способом импрегнирования с использованием современных способов интенсификации физико-химических процессов с использованием электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) и инфракрасного (ИК) диапазона, обеспечивающих снижение энергоемкости базовых процессов провести сравнительный анализ эффективности высокоинтенсивных способов формирования текстильных композиционных материалов.

При проведении экспериментов использовалась полимерная композиция (водная дисперсия стирол-акрилата) трех концентраций: 100 г/л, 200 г/л, 300 г/л; мощность излучения устанавливалась на трех уровнях: 300 Вт, 450 Вт, 600 Вт для СВЧ и 1800 Вт, 2200 Вт, 2600 Вт для ИК.

При оптимизации процесса формирования текстильных композиционных материалов требовалось найти такие параметры процесса, при которых оптимальными являются несколько результирующих показателей: расход энергии, высота капиллярного подъема и температура полимерной композиции. Для решения этой оптимизационной задачи введена обобщенная функция желательности, которая учитывает значения всех результирующих показателей [1].

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_k)^{1/k}, \quad (1)$$

где  $d_i$  — частные функции желательности ( $i \in [1..k]$ ),  $k$  — количество частных функций желательности.

Частные функции желательности  $d_i$  определяются путем нормализации результирующих функций  $Y_i$ , таким образом, чтобы значения  $d_i$  лежали в пределах от 0 до 1, так как результирующие показатели могут иметь различные единицы измерений и диапазоны значений. При этом значению 0 соответствуют наименее, а 1 — наиболее желательные значения функций  $Y_i$  [2, 3]:

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 0, & Y_i < a_i \\ \left( \frac{Y_i - a_i}{c_i - a_i} \right)^{s_i}, & a_i \leq Y_i \leq c_i, \\ \left( \frac{Y_i - b_i}{c_i - b_i} \right)^{t_i}, & c_i < Y_i \leq b_i, \\ 0, & Y_i > b_i \end{cases}, \quad (2)$$

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 0, & Y_i < a_i \\ \left( \frac{Y_i - a_i}{b_i - a_i} \right)^{s_i}, & a_i \leq Y_i \leq b_i, \\ 1, & Y_i > b_i \end{cases}, \quad (3)$$

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 1, & Y_i < a_i \\ \left( \frac{Y_i - b_i}{a_i - b_i} \right)^{t_i}, & a_i \leq Y_i \leq b_i, \\ 0, & Y_i > b_i \end{cases}, \quad (4)$$

где  $d_i$  — частные функции желательности;  $Y_i$  — результирующие функции;  $a_i, b_i, c_i$  — границы интервала желательности;  $s_i, t_i$  — коэффициенты, задающие кривизну линии, соединяющей наиболее и наименее желательные значения на графике функции.

Оптимальными значениями входных параметров будут те, при которых достигается максимальное значение обобщенной функции желательности. В качестве нормализующих функций выбраны функции желательности Дерринжера, которые находятся по формулам (2) – (4).

Для получения функции желательности температуры  $T$  была использована формула (2). Используемая полимерная композиция имеет рабочий диапазон температур от 20 С до 50 С. Наилучшие показатели физико-механических свойств полимерной композиции достигаются при температуре 45 С, поэтому такая температура принята в качестве наиболее желательной. Формула (3) использовалась для построения функции желательности высоты поднятия полимерной композиции  $h$ . В качестве нижней границы диапазона желательности взято значение  $h = 0$ , а в качестве верхней границы —  $h = 70$  мм. Формула (4) применялась для получения функции желательности расхода энергии на единицу объема аппретирующей композиции  $E$ . В качестве нижней границы диапазона желательности для обоих способов

интенсификации процесса взято значение  $E = 0$ , а в качестве верхней границы —  $E = 0,5$  Дж/мм<sup>3</sup> для ИК-способа и  $E = 0,05$  Дж/мм<sup>3</sup> для СВЧ-способа.

При определении функций желательности  $d_i$  для температуры  $T$ , высоты поднятия  $h$ , затрат энергии  $E$  на единицу объема полимерной композиции по формулам (2) – (4) использовались регрессионные модели зависимостей этих показателей от времени  $t$ , мощности излучения  $p$  и концентрации полимерной композиции  $c$ , полученные после обработки результатов экспериментов по исследованию процессов пропитки с применением ИК и СВЧ излучения.

$$T = (-0,485t + 4,99) \cdot (0,0176p - 27,6) \cdot (-3,85 \cdot 10^{-6}c - 0,00751) + 19,9; \quad (5)$$

$$T = (0,00423t + 0,0139) \cdot (0,0172p + 0,476) \cdot (-0,02c + 32,9) + 17,6. \quad (6)$$

$$h = \frac{t \cdot (1,09 \cdot 10^{-5}p + 0,0398) \cdot (-6,92 \cdot 10^{-4}c + 0,606)}{3,63 \cdot 10^{-4}t + 0,082}; \quad (7)$$

$$h = \frac{t \cdot c}{(0,763t + 82,5) \cdot (-0,121p + 281) \cdot (7,68 \cdot 10^{-5}c - 0,0255)}. \quad (8)$$

$$E = 7,018 \cdot 10^{-5}pt; \quad (9)$$

$$E = 3,3 \cdot 10^{-6}pt. \quad (10)$$

Полученные частные функции желательности для температуры  $d_1$ , высоты  $d_2$  и энергозатрат  $d_3$  были использованы для получения обобщенных функций желательности  $D$  по формуле (1) для ИК- и СВЧ- способов интенсификации процесса пропитки.

Установлено, что обобщенные функции желательности для ИК- и СВЧ- способов интенсификации имеют одинаковый характер и позволяют для выбранной мощности излучения определить оптимальное время воздействия и наоборот. В результате исследования обобщенных функций желательности были получены функции для определения оптимальных комбинаций мощности и времени воздействия для различных концентраций, представленные формулами (11) для ИК и (12) для СВЧ.

$$t = \frac{1087,2}{-7,045 + p}, \text{ для концентрации } 100 \text{ г/л};$$

$$t = \frac{1033,06}{-7,046 + p}, \text{ для концентрации } 200 \text{ г/л}; \quad (11)$$

$$t = \frac{984,05}{-7,047 + p}, \text{ для концентрации } 300 \text{ г/л};$$

$$t = \frac{6980}{24,8 + p}, \text{ для концентрации } 100 \text{ г/л}$$

$$t = \frac{7520}{25,1 + p}, \text{ для концентрации } 200 \text{ г/л}; \quad (12)$$

$$t = \frac{8130}{25,2 + p}, \text{ для концентрации } 300 \text{ г/л};$$

В результате исследований установлено, что интенсификация процесса формирования текстильных композиционных материалов с использованием СВЧ излучения позволяет достигать заданной высоты поднятия полимерной композиции (эффективности пропитки) со значительно меньшими энергозатратами и за значительно меньшее время.

Библиографический список:

1. Derringer, G. C. Simultaneous optimization of several response variables / G. C. Derringer, D. Suich. // *Journal of Quality Technology*. – 1980. – 12(4). – P. 214–219.
2. Harrington, J. The desirability function / Harrington, J. // *Industrial Quality Control*. – 1965. – 21(10). – P. 494–498.
3. Севостьянов, А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности : учебник для вузов текстил. пром-ти / А. Г. Севостьянов. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 392 с.

