

УДК 677.08.02.16./022

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНО-СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Ю.П. Вербицкая, А.С. Дягилев, А.М. Карпеня, А.Г. Коган

(Витебский государственный технологический университет, Беларусь)

На текстильных предприятиях Республики Беларусь ежегодно образуется большое количество отходов, из которых утилизируется менее 10%. Коротковолокнистые химические отходы коврового производства практически непригодны для дальнейшей переработки. Утилизация этих отходов довольно сложна и дорогостояща из-за необходимости создания специального оборудования, поэтому их складывают, а затем вывозят на полигон для захоронения, создавая серьезную экологическую проблему.

Сотрудниками кафедры переработки натуральных и химических волокон ВГТУ и специалистами ОАО «Витебскдрев» разработана технология получения органо-синтетических волокнистых плит строительного назначения с использованием коротковолокнистых отходов коврового производства с длиной волокон от 0.5 до 25 мм. Данная разработка направлена на рациональное использование местных ресурсов, таких как отходы текстильной промышленности, а также на создание новой импортозамещающей, конкурентоспособной продукции.

При производстве органо-синтетических волокнистых плит (ОСВП) по технологии ДСП используется древесина лиственных и хвойных пород (сосна, ель, осина, береза, ольха и др.) в различных соотношениях. Связующим для наружных слоев служит карбамидоформальдегидная смола КФ-НФП – продукт поликонденсации карбамида и формальдегида в присутствии кислотных и щелочных катализаторов. В качестве коротковолокнистых отходов коврового производства используется хлопчатобельный, в состав которого входят полиакрилонитрильные, полиамидные, полипропиленовые и шерстяные волокна в разном соотношении.

goyuliana@yandex.ru (Вербицкая Юлия Петровна).

Сырье для внутреннего и наружного слоев плит готовится отдельно. Из бункеров накопителей стружка, измельченная на станках ДС-6, ДС-8, а также привозные опилки и фрезерная стружка пневмотранспортом подаются в сушильные агрегаты барабанного типа марки «Прогресс». Процесс проклеивания стружки происходит в барабанном горизонтальном смесителе с воздушным распылением клея ДСМ-1.

Из горизонтальных бункеров осмоленная стружка наружных слоев и подготовленные отходы внутреннего слоя подаются в формирующие машины фирмы «Шенк». В линии установлены четыре машины, из них две средние (спаренные) формируют внутренний слой, две крайние – наружные слои. Горячее прессование проводится в прессе периодического действия фирмы «Беккер-ван-Хюллен». Обрезка плит по периметру осуществляется на линии форматной обрезки, установленной в технологическом потоке в цехе ДСП.

В промышленных условиях цеха ДСП предприятия «Витебскдрев» были получены экспериментальные образцы ОСВП толщиной 16 мм с использованием коротковолокнистых отходов текстильной промышленности. Полученные образцы подвергали испытаниям с целью определения основных физико-механических показателей – плотности, прочности при изгибе, разбухания за 24 ч [1].

В качестве входных параметров эксперимента были приняты: доля коротковолокнистых отходов, % – X_1 (30-50, интервал варьирования 10) и температура прессования, °С – X_2 (170-190, интервал варьирования 10). В качестве критериев оптимизации были приняты основные физико-механические показатели материала в соответствии с требованиями к изоляционным материалам: Y_1 – плотность, кг/м³; Y_2 – прочность при изгибе, МПа; Y_3 – разбухание, %. Вид модели

Таблица 1. Физико-механические свойства образцов с различной долей вложения волокна, полученных при различной температуре прессования

Доля волокна, %	Температура прессования, °С	Выходные факторы		
		плотность, кг/м ³	прочность при изгибе, МПа	разбухание, %
30	170	670.375	1.45	34.35
30	180	690.836	1.82	33.16
30	190	698.473	1.8	33.10
40	170	596.53	2.08	32.8
40	180	662.866	2.27	30.1
40	190	670.773	2.33	29.0
50	170	513.82	3.23	25.5
50	180	520.824	3.32	24.8
50	190	524.365	3.324	24.9

был определен по результатам обработки данных, полученных в результате реализации полного факторного эксперимента (ПФЭ 32). Оценки коэффициентов модели были уточнены по результатам реализации D-оптимального плана эксперимента, сгенерированного в программе Statistica (алгоритм Федорова). Результаты испытаний представлены в табл.1.

Из табл.1 видно, что наибольшей плотностью обладают образцы, полученные при температуре прессования 180 °С и доле вложения волокна 40%. Образцы с наибольшей прочностью при изгибе вырабатывались при температуре прессования 190 °С и доле вложения волокна 50%. Образцы с наименьшим разбуханием по толщине за 24 ч получены при температуре прессования 190 °С и доле вложения волокна 50%.

Таким образом, невозможно выбрать характеристики оборудования, обеспечивающие наилучшие физико-механические свойства органо-синтетических волокнистых плит одновременно по всем критериям. Поэтому для решения поставленной задачи был использован метод обобщенной функции желательности.

Для совместного рассмотрения критериев, имеющих различные единицы измерения, их необходимо пронормировать (привести к безразмерному виду) с помощью частных функций желательности Дэрринже-

ра [2]. Границы значений желательности частных критериев оптимизации приведены в табл.2.

Для двустороннего критерия оптимизации Y_1 определялась по формуле

$$d_1 = \begin{cases} 0 & Y_1 < L_{Y_1} \\ \left(\frac{Y_1 - L_{Y_1}}{T_{Y_1} - L_{Y_1}} \right)^{s_{Y_1}} & L_{Y_1} \leq Y_1 \leq T_{Y_1} \\ \left(\frac{Y_1 - U_{Y_1}}{T_{Y_1} - U_{Y_1}} \right)^{t_{Y_1}} & T_{Y_1} < Y_1 \leq U_{Y_1} \\ 0 & Y_1 > U_{Y_1} \end{cases} \quad (1)$$

Для одностороннего критерия оптимизации Y_2 определялась по формуле

$$d_2 = \begin{cases} 0 & Y_2 < L_{Y_2} \\ \left(\frac{Y_2 - L_{Y_2}}{U_{Y_2} - L_{Y_2}} \right)^{l_{Y_2}} & L_{Y_2} \leq Y_2 \leq U_{Y_2} \\ 1 & Y_2 > U_{Y_2} \end{cases} \quad (2)$$

Для одностороннего критерия оптимизации Y_3 определялась по формуле

$$d_3 = \begin{cases} 1 & Y_3 < L_{Y_3} \\ \left(\frac{Y_3 - L_{Y_3}}{U_{Y_3} - L_{Y_3}} \right)^{n_{Y_3}} & L_{Y_3} \leq Y_3 \leq U_{Y_3} \\ 0 & Y_3 > U_{Y_3} \end{cases} \quad (3)$$

Для определения весового коэффициента каждого критерия методом Саати [3] проводился опрос квалифицированных специалистов предприятий «Витебскдрев», «Институт Витебскгражданпроект», «Строительный трест 9», «Витебскоблсельстрой» и «Витебский ДСК». Результаты опроса представлены в табл.3. На основании результатов опроса специалистов была составлена матрица парных сравнений (табл.4).

Таблица 2. Желательности частных критериев оптимизации

Критерии	Значение	
	наименее желательное (0)	наиболее желательное (1)
Плотность (Y_1), кг/м ³	580	620
Прочность при изгибе (Y_2), МПа	1.8	5
Разбухание по толщине за 24 ч (Y_3), %	30	0

Таблица 3. Результаты опроса квалифицированных специалистов

Номер эксперта	Плотность и предел прочности при изгибе	Плотность и разбухание	Разбухание и предел прочности при изгибе
1	1	1	1/3
2	3	3	1/3
3	1/3	1	1
4	1/3	1	1
5	1/3	1/3	1
6	1/3	1/3	1
7	1/3	1/3	1/3
8	1	1	1
9	1/5	1/3	1
10	1/3	1/3	1

Кумулятивное значение коэффициентов предпочтения определялось как среднее геометрическое:

$$0.491521333 \quad 0.644394015 \quad 0.719223093$$

Таблица 4. Матрица парных сравнений

Параметр	Плотность	Предел прочности при изгибе	Разбухание
Плотность	1	0.491521	0.644394
Предел прочности при изгибе	2.0345	1	0.719223
Разбухание	1.551846	1.390389	1

Для проверки согласованности матрицы парных сравнений (A) было найдено максимальное из собственных значений $|A - \lambda E| = 0$:

$$|A - \lambda E| = \det \begin{bmatrix} 1 & 0.491521 & 0.644394 \\ 2.0345 & 1 & 0.719223 \\ 1.551846 & 1.390389 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$-\lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \det \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0.491521 & 0.644394 \\ 2.0345 & 1-\lambda & 0.719223 \\ 1.551846 & 1.390389 & 1-\lambda \end{bmatrix} =$$

$$= 0.3714255592 - 0.2 \cdot 10^{-8} \lambda + 3\lambda^2 - \lambda^3 = 0$$

Максимальное из собственных значений матрицы A : $\lambda_{\max} = 3.0401$. Индекс согласованности

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.02$$

Для $n = 3$ случайный индекс СИ = 0.58, тогда отношение согласованности

$$ОС = ИС/СИ = 0.0345.$$

Так как $ОС < 0.1$, то матрица парного сравнения критериев, на основании которой вычислялись весовые коэффициенты критериев, является согласованной.

Таким образом, вектор весовых коэффициентов критериев был получен путем возведения матрицы в сотую степень и деления суммы каждой строки на общую сумму элементов матрицы:

$$\omega_1 = 0.2192421983; \quad \omega_2 = 0.3651460515; \\ \omega_3 = 0.4156117500.$$

Обобщенная функция желательности, учитывающая желательность каждого частного критерия оптимизации и их весовые коэффициенты, имеет вид

$$D = \sum_{i=1}^3 \omega_i \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 d_i^{\omega_i}}, \quad (4)$$

где n — количество критериев оптимизации.

Таким образом, оптимизационная задача сводится к определению максимального значения обобщенной функции желательности D .

С использованием СКМ Maple найден максимум функции желательности, который достигается при кодированных значениях $X_1 = 0.302$ и $X_2 = 0.5$, в натуральных величинах: доля вложения коротковолокни-

стых отходов $X_1 = 43.02\%$, температура прессования $X_2 = 185^\circ\text{C}$.

Использование обобщенной функции желательности позволяет найти компромиссное решение задачи оптимизации, учитывающее требования, предъявляемые к каждому из критериев оптимизации. При рассчитанных значениях входных параметров технологического процесса обеспечивается формирование ОСВП, имеющих следующие физико-механические свойства: плотность 597.37 кг/м^3 , прочность при изгибе 2.48 МПа , разбухание 28.77% . Данные значения показателей отвечают требованиям, предъявляемым к материалам, которые используются в качестве тепло- и звукоизоляции систем пола и межстенных перекрытий.

— С помощью частных функций желательности Дэрринжера и метода Саати решена задача многокритериальной оптимизации: зависимости физико-механических показателей плит от процентного вложения текстильных отходов в композиции и температуры прессования.

Библиографический список

1. *Леонович А.А.* Физико-химические основы образования древесных плит. — Санкт-Петербург: Химиздат, 2003. — 192 с.
2. *Derringer G., Suich R.* // J. Quality Technol. 1980. V.12. № 4. — P.494-498.
3. *Саати Т.Л.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 316 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНО-СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Ю.П. Вербицкая, А.С. Дягилев, А.М. Карпеня, А.Г. Коган

(Витебский государственный технологический университет, Беларусь)

Статья посвящена оптимизации процесса получения органо-синтетических волокнистых плит. С помощью частных функций желательности Дэрринжера и метода Саати решена задача многокритериальной оптимизации: зависимости физико-механических показателей плит от процентного вложения текстильных отходов в композиции и температуры прессования.