

Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Д. Р. Хазиева

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ШПОНА*Ключевые слова: математическая модель, В-план второго порядка, термомодифицирование шпона, влагостойкая фанера.**В статье представлено математическое описание процесса термомодифицирования древесного шпона для создания влагостойкой фанеры, использование которой возможно в условиях помещения. Использован В-план второго порядка с полными факторными планами (ПФП) в ортогональной части.***Keywords:** *mathematical model, In the plan of the second order, termomodifitsirovanie veneer, water-resistant plywood.**The paper presents a mathematical description of the process termomodifitsirovaniya wood veneers to create environmentally friendly water-resistant plywood. Used in the plan of the second order with a full factorial design (PFP) in the orthogonal part.***Введение**

Значительная прочность при малой плотности, сравнительно большая площадь листа, позволяющая выкраивать детали необходимого формата – все эти качества фанеры определили область ее применения как конструкционного материала строительного и подделочного значения. В настоящее время основные проблемы совершенствования технологии производства фанеры направлены на повышение экологичности процессов, а также на получение готового продукта с низкой токсичностью, повышенной долговечностью и с минимальной формоизменяемостью в условиях влажностно-температурных воздействий.

Фанера – это гигроскопичный материал. Ее эксплуатация во влажной среде приводит к потере прочности, к формоизменяемости и биоповреждениям. Без специальной обработки фанерная продукция имеет ограниченный срок службы. Для производства фанеры повышенной водостойкости в России применяются фенолформальдегидные смолы (ФФС). Однако эти смолы токсичны и фанера на их основе согласно государственным стандартам запрещена к использованию внутри помещений.

В то же время в последние годы можно наблюдать возрастающий интерес к улучшению качества пиломатериалов при помощи термообработки. При этом, как известно термомодифицированная древесина благодаря изменениям, прошедшим с ней на молекулярном, приобретает такие уникальные свойства, как повышенная водоотталкиваемость, низкая гигроскопичность, устойчивость к гниению и воздействию вредителей. Кроме того, в последние годы активно ведутся исследования в области создания композиционных материалов на основе термомодифицированной измельченной древесины. При этом исследований, направленных на повышение влагостойкой фанеры путем термообработки шпона до сих пор не проводилось.

В связи с этим следует считать актуальной задачу исследования процесса контактного термомодифицирования шпона с последующим изготовлением из нее влагостойкой фанеры.

Математическое описание процесса термомодифицирования древесного шпона

Целью математического описания процесса термомодифицирования древесины является уста-

новление математической зависимости степени термомодифицирования березового шпона от температуры и времени обработки и от толщины образца. В эксперименте, проводимом в КНИТУ, был использован В-план второго порядка с полными факторными планами (ПФП) в ортогональной части для исследования влияния трех факторов на степень модифицирования шпона. Матрица этого плана для нормализованных факторов приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Матрица для нормализованных факторов

№ опыта	x_1	x_2	x_3	$Y_{\text{иср, Н}}$
1	2	3	4	5
1	-1	-1	-1	0.35
2	-1	-1	+1	0.18
3	-1	+1	-1	0.84
4	+1	-1	-1	0.61
5	0	0	-1	0.72
6	0	0	+1	0.65
7	-1	0	0	0.44
8	+1	0	0	0.78
9	0	-1	0	0.44
10	0	+1	0	0.95
11	+1	+1	+1	0.99
12	+1	+1	-1	1
13	+1	-1	+1	0.4
14	-1	+1	+1	0.7

В В-планах второго порядка каждый фактор X_i , варьируется на трех уровнях, т. е. принимает в каждом опыте одно из трех значений: наименьшее $X_{i \min}$, наибольшее $X_{i \max}$, среднее $X_i^0 = (X_{\min} + X_{\max})/2$.

В нормализованных обозначениях эти уровни обозначаются, соответственно, (-1), (+1), 0.

Исследуемые факторы, их интервалы и уровни варьирования приведены в табл. 2.

Формулы, связывающие нормализованные и натуральные обозначения (см. формулу 1), будут в данном случае иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= (\tau - 20)/10 \\ x_2 &= (t - 230)/30 \\ x_3 &= (\delta - 1,5)/0,5 \end{aligned} \quad (1)$$

Выходная величина эксперимента – степень термомодифицирования шпона Q. Опыты проводились на березовых образцах шпона. Число дублированных опытов равно трем.

Таблица 2 - Исследуемые факторы, их интервалы и уровни варьирования

Наименование фактора	Обозначение		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	На-ту-рал-ь-но-е	Но-р-ма-ли-зо-ван-ное		Ниж-ний (-1)	Ос-нов-ной (0)	Верх-ний (+1)
Время обработки, мин.	τ	x_1	10	10	20	30
Температура обработки, °С.	T	x_2	30	200	230	260
Толщина шпона, мм	δ	x_3	0,5	1	1,5	2,0

В соответствии с найденным значением $n=5$ каждый опыт повторяется 3 раза. В 5 столбце табл. 1 приведены значения степени модифицирования, усредненные по трем дублированным опытам каждой серии.

Рассчитанные коэффициенты регрессии приведены во второй строке табл. 3.

Рассчитываем оценки дисперсий и ковариаций коэффициентов регрессии:

$$\begin{aligned}
 s^2 \{ b_0 \} &= 0.40624/3 \cdot 0.0036 = 0.0005 \\
 s^2 \{ b_i \} &= 0.1/3 \cdot 0.0036 = 0.0001 \\
 s^2 \{ b_{ii} \} &= (0.5 - 0.09375)/3 \cdot 0.0036 = 0.0005 \\
 s^2 \{ b_{ij} \} &= 0.125/3 \cdot 0.0036 = 0.0001
 \end{aligned}$$

В соответствии с методикой оценки значимости коэффициентов регрессии определено табличное значение t-критерия Стьюдента для числа степеней свободы $f_y=28$. Из таблиц t-критерия для $q=0,05$ найдено $t_{\text{табл}}=2,05$. Для коэффициента b_0 имеем:

$$s \{ b_0 \} = (s^2 \{ b_0 \})^{1/2} = 0,0224; t_{\text{табл}} s \{ b_0 \} = 2,05 \cdot 0,0224 = 0,0459.$$

Отсюда видно, что для коэффициента b_0 соотношение $b_i \leq t_{\text{табл}} s \{ b_i \}$ не выполняется, следовательно, он значим. Аналогичным образом установлена значимость всех линейных коэффициентов регрессии.

Таким образом, получено следующее уравнение регрессии:

$$\begin{aligned}
 &\text{Степень термомодифицирования} \\
 &\text{шпона} \\
 Q &= 0,6783 + 0,127x_1 + 0,25x_2 - 0,06x_3 \\
 &+ 0,0275x_2x_3 - 0,0169x_1^2 \quad (2)
 \end{aligned}$$

Из выражения (2) видно, что реализация плана второго порядка позволяет описать зависимость выходной величины от каждого фактора в виде уравнения параболы.

Таблица 3 - Рассчитанные коэффициенты регрессии

Обозначение коэффициента регрессии	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}
Оценка коэф-та регрессии	0.68	0.13	0.25	-0.06	0.068
Обозначение коэффициента регрессии	b_{23}	b_{13}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Оценка коэф-та регрессии	-0.02	-0.01	-0.004	0.03	0.01

Заключение

Представленная модель позволяет прогнозировать процесс термомодифицирования шпона в зависимости от времени, температуры обработки и толщины материала.

Из анализа уравнений регрессии следует, что при увеличении значений принятых переменных факторов увеличивается значения степени термомодифицирования.

Анализ значений коэффициентов в уравнениях позволяет заключить, что продолжительность термообработки оказывает наибольшее влияние на выходные параметры процесса термомодифицирования.

На рис.1 представлены результаты апробации разработанной математической модели.

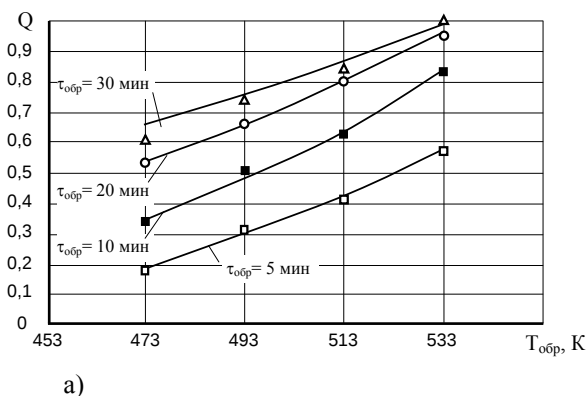
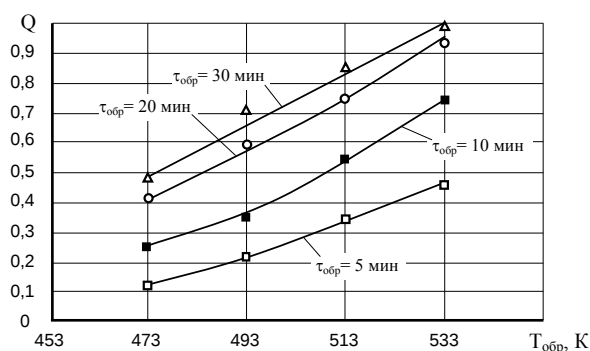


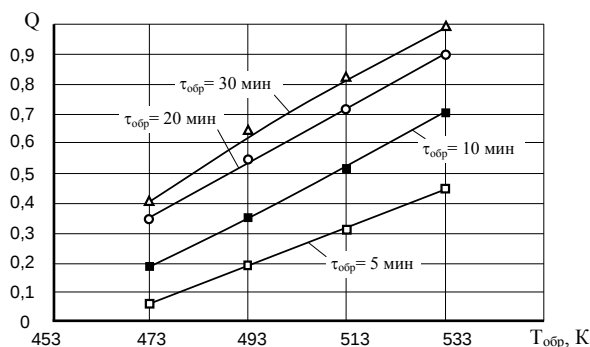
Рис. 1 - Степень термомодифицирования шпона в зависимости от температуры термомодифицирования при толщине: а) 1 мм; б) 1,5 мм; в) 2 мм

Литература

1. Р.Р. Сафин, Е.У. Разумов, Н.А. Оладышкина. *Вестник Казанского технологического университета*, 5, 543, (2001).
2. Р.Р. Сафин. *Деревообрабатывающая промышленность*, 2009, С. 24.
3. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Н.А. Оладышкина. *Вестник Московского государственного университета леса*, 4, 96, (2010).
4. Р.Р. Хасаншин, Р.Р. Сафин, Ы.Г. Валиев, Р.В. Данилова. *Вестник Казанского технологического университета*, 15, 7, 66, (2012).
5. Ю.Н. Зиятдинова, Ф.Г. Валиев, Р.Р. Хасаншин, А.Н. Николаев. *Вестник Казанского технологического университета*, 22, 34, (2011).
6. Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин. *Вестник Казанского технологического университета*, 9, (2010).
7. Р.Р. Сафин, Е.Ю. Разумов. *Деревообрабатывающая промышленность*, 2012, С. 15-19.
8. Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, А.Р. Зиятдинова. *Вестник Казанского технологического университета*, 20, 64-66, (2012).
9. Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Хасаншин, Д.Р. Хазиева, К.Р. Кузнецов. *Вестник Казанского технологического университета*, 19, 142-144, (2013).



б)



в)

Окончание рис. 1

© Р. Р. Сафин – д-р техн. наук, проф., зав. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины КНИТУ, cfaby@mail.ru;
Р. Р. Хасаншин – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, olambis@rambler.ru; Д. Р. Хазиева – студ. той же кафедры.