

УДК 691+677

**АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛИТ
ИЗ ОТХОДОВ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА**

**ANALYSIS THE DURABILITY AND WATER RESISTANCE
OF HEAT INSULATING COMPOSITE PLATES
FROM WASTE OF FLAX FIBER**

А.А. ТИТУНИН, Т.Н. ВАХНИНА, И.В. СУСОЕВА
A.A. TITUNIN, T.N. VAKHNINA, I.V. SUSOEVA

(Костромской государственный университет)
(Kostroma State University)
E-mail: i.susoeva@yandex.ru

В статье представлены результаты исследования методом регрессионного анализа физико-механических показателей теплоизоляционных плитных композиционных материалов, изготовленных из отходов производства льняного волокна. Разработаны регрессионные модели второго порядка показателей плит, построены поверхности отклика. Анализ математических моделей позволяет оценить степень влияния факторов на физико-механические показатели композиционных материалов.

The article presents the results of a study by regression analysis physical and mechanical parameters of heat-insulating slab of the composite materials made from waste products of flax fiber. The developed regression models of second order indicators slabs, constructed response surface. Analysis of mathematical models allows to estimate the degree of influence of factors on the physico-mechanical properties of composite materials.

Ключевые слова: отходы прядения льняного волокна, композиционные плиты, регрессионная модель, предел прочности, статический изгиб, разбухание по толщине, коэффициент теплопроводности.

Keywords: waste spinning of flax fiber, composite plate, the regression model, tensile strength, static bending, swelling in thickness, coefficient of thermal conductivity.

В лаборатории кафедры лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств (КГУ, г. Кострома) разрабатываются композиционные плитные материалы с наполнителем из пылевидных отходов

производства льняного волокна [1]. Композиционный материал изготавливался средней плотности 375 кг/м³. В качестве матрицы использовали синтетические и неорганические связующие, расход КФС

варьировался на трех уровнях 0, 20 и 40% от массы наполнителя; использовалась добавка алюмохромфосфатного связующего 0, 15 и 30%. Образцы материала сушились при температуре 80, 120 и 160°C.

Материалом-аналогом являются теплоизоляционные мягкие древесно-волоконистые плиты. Для обоснования возможности использования пылевидных отходов прядения льна в качестве наполнителя композиционного плитного материала необходимо обеспечить соответствие показателей композита физико-механическим и эксплуатационным показателям материала-аналога. Исследования на предыдущем этапе выявили значительный разброс показателей композитов. С помощью дисперсионного анализа были выявлены факторы, значимо влияющие на физико-механические и эксплуатационные показатели композиционных плит [2].

Для оценки области значений показателей композитов было решено использовать метод регрессионного анализа, в частности В-план второго порядка. План второго порядка дает возможность численно оценить влияние варьируемых технологических

факторов процесса производства на физико-механические и эксплуатационные показатели композита. К преимуществам плана второго порядка перед классическим однофакторным экспериментом следует отнести возможность оценки эффектов взаимодействия управляемых факторов. Для числа варьируемых факторов (k) квадратичная модель имеет вид:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i,u} b_{iu} X_i X_u \quad (1)$$

Интерпретация регрессионных математических моделей показателей плитного материала позволяет выявить факторную область, обеспечивающую соответствие показателей композита требуемым значениям.

Варьируемые в эксперименте факторы и их уровни представлены в табл. 1, план эксперимента в кодированных и натуральных обозначениях факторов – в табл. 2. План и результаты статистической обработки экспериментальных данных сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Наименование фактора	Обозначение фактора		Уровни варьирования			Интервал варьирования, Δ_1
	натуральное	кодированное	-1	0	+1	
1. Доля добавки связующего, %	$P_{св}$	X_1	0	20	40	20
2. Температура сушки, °С	$T_{суш}$	X_2	80	120	160	40
3. Доля добавки алюмохромфосфата (АХФ), %	$D_{АХФ}$	X_3	0	15	30	15

Т а б л и ц а 2

№	X_1	X_2	X_3	$P_{св}, \%$	$T_{суш}, ^\circ\text{C}$	$D_{АХФ}, \%$
1	+	+	+	40	160	30
2	-	+	+	0	160	30
3	+	-	+	40	80	30
4	-	-	+	0	80	30
5	+	+	-	40	160	0
6	-	+	-	0	160	0
7	+	-	-	40	80	0
8	-	-	-	0	80	0
9	+	0	0	40	120	15
10	-	0	0	0	120	15
11	0	+	0	20	160	15
12	0	-	0	20	80	15
13	0	0	+	20	120	30
14	0	0	-	20	120	0

Выходные величины: Y_1 – прочность при статическом изгибе σ_n , МПа; Y_2 – разбухание плит по толщине за 24 ч R_h , %.

Оценку физико-механических показателей плит проводили в соответствии с ГОСТом 19592–80 [3].

Таблица 3

№	X_1	X_2	X_3	\bar{Y}_1 , МПа	S_1^2 , МПа ²	\bar{Y}_2 , %	S_2^2 , % ²
1	+	+	+	0,66	0,002	5,61	1,88
2	-	+	+	0,47	0,002	16,0	2,09
3	+	-	+	0,58	0,002	7,03	2,04
4	-	-	+	0,34	0,003	19,5	1,95
5	+	+	-	0,5	0,003	4,95	1,96
6	-	+	-	0,26	0,003	18,10	2,07
7	+	-	-	0,37	0,002	10,25	3,56
8	-	-	-	0,19	0,005	19,10	1,57
9	+	0	0	0,33	0,003	10,21	1,35
10	-	0	0	0,42	0,001	17,70	1,51
11	0	+	0	0,34	0,003	10,0	1,34
12	0	-	0	0,41	0,003	17,6	1,34
13	0	0	+	0,42	0,002	11,2	1,5
14	0	0	-	0,34	0,002	16,5	1,34

Были получены математические модели:
- в кодированных обозначениях факторов

$$Y_1 = 0,354 + 0,076X_1 + 0,034X_2 + 0,081X_3 + 0,021X_1^2 + 0,021X_2^2 + 0,026X_3^2 - 0,001X_1X_2 + 0,001X_1X_3 + 0,001X_2X_3, \quad (2)$$

$$Y_2 = 14,765 - 5,000X_1 - 1,160X_2 - 1,620X_3 - 0,561X_1^2 - 0,461X_2^2 - 0,661X_3^2 - 0,150X_1X_2 + 0,050X_1X_3 - 0,175X_2X_3, \quad (3)$$

- в натуральных обозначениях факторов

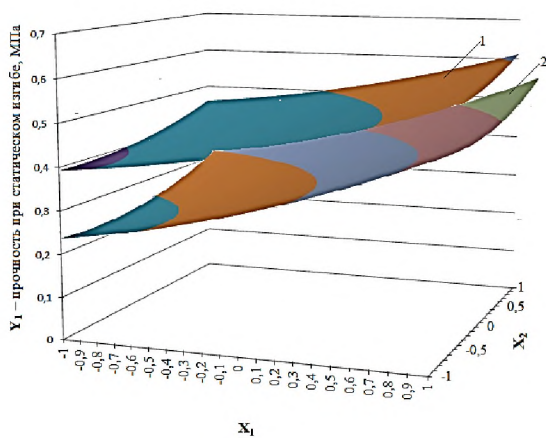
(после отбрасывания незначимых коэффициентов)

$$\sigma_n = 0,331 + 0,0017D_{св} - 0,0023T + 0,0019D_{АХФ} + 0,00005D_{св}^2 + 0,000013T^2 + 0,00012D_{АХФ}^2, \quad (4)$$

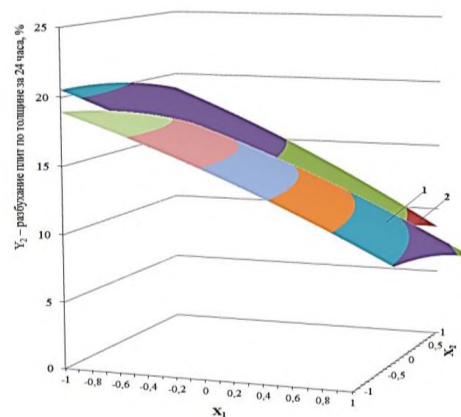
$$R_h = 20,794 - 0,201D_{св} - 0,044T - 0,032D_{АХФ} - 0,0014D_{св}^2 - 0,00029T^2 - 0,003D_{АХФ}^2. \quad (5)$$

На рис. 1 приведены поверхности отклика – зависимости прочности плит при статическом изгибе (1-а) и разбухания плит по толщине за 24 ч (1-б) от доли добавки

связующего и температуры сушки: 1 – поверхность отклика при $X_3 = +1$; 2 – поверхность отклика при $X_3 = -1$.



а)



б)

Рис. 1

ВЫВОДЫ

При доле добавки КФС 20% и более, при любой температуре сушки и максимальной доле добавки АХФ прочность плит при статическом изгибе превышает 0,4 МПа, что отвечает требованиям, предъявляемым к материалу-аналогу (теплоизоляционным мягким ДВП). При этом разбухание по толщине минимально и не превышает 11...12%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титунин А.А., Вахнина Т.Н., Сусоева И.В. Исследование свойств теплоизоляционных материалов из отходов производства хлопковых и льняных волокон // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017, № 2(46). С. 37...46.
2. Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Влияние вида связующего на прочность композиционных материалов из лигноцеллюлозных отходов

// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №1. С. 109 ... 111.

3. ГОСТ 19592–80. Плиты древесно-волоконистые. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1987.

REFERENCES

1. Titunin A.A., Vahnina T.N., Susoeva I.V. Issledovanie svojstv teploizoljacionnyh materialov iz othodov proizvodstva hlopkovyh i l'njanyh volokon // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. – 2017, №2(46). S. 37...46.
2. Susoeva I.V., Vahnina T.N., Titunin A.A. Vlijanie vida svjazujushhego na prochnost' kompozicionnyh materialov iz lignocelljuloznyh othodov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2017, №1. S. 109 ... 111.
3. GOST 19592–80. Plity drevsesno-voloknistye. Metody ispytaniy. – M.: Izd-vo standartov, 1987.

Рекомендована кафедрой лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств. Поступила 03.10.17.