

## Библиографический список

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC) : A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique // Composite Structures. – 2021. – V. 262.
2. ГОСТ 20022.7–82. Защита древесины. Автоклавная пропитка водорастворимыми защитными средствами под давлением. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.
3. Стенина Е. И., Левинский Ю. Б. Защита древесины и деревянных конструкций. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2007. – 219 с.

УДК 674.81

**А. А. Мамаева, А. В. Савиновских, А. В. Артёмов, П. С. Кривоногов**  
(**A. A. Mamaeva, A. V. Savinovskikh, A. V. Artyomov, P. S. Krivonogov**)  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) savinovskihav@m.usfeu.ru

### **ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТИКА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ СОСНЫ СИБИРСКОЙ**

### **OBTAINING AND STUDYING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC WITHOUT RESINS BASED ON PLANT RESIDUES OF SIBERIAN PINE**

*В результате выполненного исследования методом прессования в закрытых пресс-формах в лабораторных условиях был получен пластик без добавления связующих (ПБС) на основе сосны сибирской, оценены его физико-механические свойства. Найдены регрессионные зависимости свойств пластика от температуры прессования и влажности пресс-сырья.*

*As a result of the performed research by pressing in closed molds in laboratory conditions, plastic was obtained without resins (PWR) based on Siberian pine, its physical and mechanical properties were evaluated. Regression dependences of plastic properties depending on the pressing temperature and humidity of the press raw materials are found.*

Сосна сибирская (сосна сибирская кедровая) является уникальным биологическим видом, который ценится за высокие технические свойства древесины. Данный вид сосны в естественных условиях произрастает в России и частично в Монголии. Границы ареала простираются с севера на юг на 2700 км и с запада на восток на 4500 км [1].

На территории Свердловской области насаждения с участием сосны сибирской занимают порядка 3,5 млн га, что составляет 22 % лесного фонда [2].

Из обводненной кавитированной древесины сибирской лиственницы, сосны обыкновенной и сибирской кедровой сосны (содержание сухого вещества 20 %, в отсутствие усиливающего компонента) после зонного формования с небольшим усилием 0,15 МПа и сушки при 80 °С до остаточной влажности 8–15 % получены образцы древесных плитных материалов без добавления синтетических связующих [3]. Материалы характеризуются плотностью в интервале 322–383 кг/м<sup>3</sup> и пределом прочности при сжатии 0,5–3,2 МПа. Предлагается данные материалы использовать в строительстве в качестве эффективного экологически безопасного утеплителя.

Целью данной работы являлось исследование возможности использования биомассы сосны сибирской (порубочных остатков) для получения пластика без связующего (ПБС) с удовлетворительными физико-механическими свойствами методом горячего прессования в закрытых пресс-формах [4].

Для исследования свойств ПБС, полученных на основе сосновых опилок, для предварительной оценки влияния одновременно изменяемых технологических факторов при получении данных пластиков в работе был проведен эксперимент по математическому плану Бокса–Уилсона.

Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Формализованные входные факторы		Натуральные значения факторов	
	$X_1$	$X_2$	$Z_1$	$Z_2$
1	1	-1	16	180
2	1	1	16	160
3	-1	-1	8	180
4	-1	1	8	160
5	0	1,47	12	185
6	0	-1,47	12	155
7	1,47	0	18	170
8	-1,47	0	6	170
9	0	0	12	170

Области изменения факторов:

- влажность пресс-сырья  $Z_1$  – 6...18 %;
- температура прессования  $Z_2$  – 155...185 °С.
- За выходные параметры были взяты следующие физико-механические свойства ПБС:

- $Y(P)$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- $Y(E)$  – модуль упругости при изгибе, МПа;
- $Y(I)$  – прочность при изгибе, МПа;
- $Y(T)$  – твердость по Бринеллю, МПа;
- $Y(U)$  – число упругости, %.

Значения физико-механических свойств полученных пластиков в зависимости от влажности пресс-сырья и температуры прессования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства ПБС на основе опилок кедр сибирского

№	$Y(P)$ , кг/м <sup>3</sup>	$Y(E)$ , МПа	$Y(I)$ , МПа	$Y(T)$ , МПа	$Y(U)$ , %
1	1114	1367	12,9	50,1	60
2	1078	1413	10	51,3	53
3	1084	1119	8,2	70,6	64
4	1159	1028	13	65,4	75
5	1086	1409	12,9	60,5	47
6	1160	1303	16,8	57,3	67
7	1059	1766	9	44,2	53
8	1173	1097	6,7	78,3	58
9	1079	1224	13,9	54,4	66

Для получения экспериментально-статистических моделей свойств пластиков на основе древесного опила средствами программы Microsoft Excel был проведен регрессионный анализ результатов эксперимента с вероятностной оценкой адекватности полученных моделей экспериментальным данным [5].

По итогу регрессионного анализа были получены следующие уравнения регрессии и коэффициенты их корреляции с экспериментальными данными:

$$- Y(P) = 8375,942538 - 147,8266433Z_1 - 73,21901895Z_2 + 0,973322148Z_1Z_1 + 0,185731544Z_2Z_2 + 0,69375Z_1Z_2 (R^2 = 0,87);$$

$$- Y(E) = 11594,811173 + 78,71972875Z_1 - 133,7563273Z_2 + 4,785896719Z_1Z_1 + 0,430632364Z_2Z_2 - 0,855625Z_1Z_2 (R^2 = 0,86);$$

$$- Y(II) = 203,9659286 - 3,898459501Z_1 - 1,882129118Z_2 - 0,17213833Z_1Z_1 + 0,0035668978Z_2Z_2 + 0,048125Z_1Z_2 (R^2 = 0,97);$$

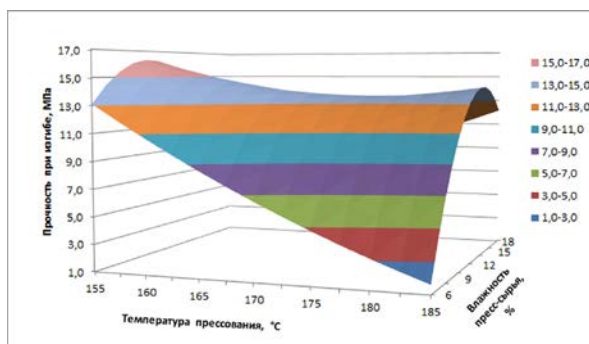
$$- Y(T) = 587,8197 - 0,27351Z_1 - 6,18199Z_2 + 0,189644Z_1Z_1 + 0,019899Z_2Z_2 - 0,04Z_1Z_2 (R^2 = 0,98);$$

$$- Y(Y) = -599,85 - 13,7261Z_1 + 9,269819Z_2 - 0,25193Z_1Z_1 - 0,03231Z_2Z_2 + 0,110625Z_1Z_2 (R^2 = 0,69).$$

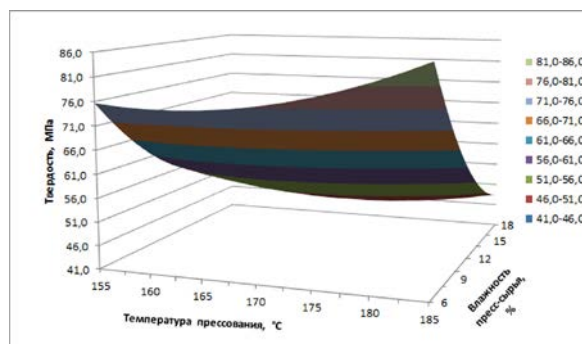
Высокие значения достоверности для параметров оптимизации (при  $R^2 \geq 0,92$ ) дают основание для применения уравнений для описания изучаемых процессов влияния переменных факторов на параметры оптимизации:

- $Y(II)$  – прочности при изгибе, МПа;
- $Y(T)$  – твердости, МПа.

На основании адекватных уравнений регрессии были построены графические поверхности зависимостей (рисунок).



*а*



*б*

Зависимость физико-механических свойств ПБС на основе сосновых опилок от температуры прессования и влажности пресс-сырья:  
*а* – прочность при изгибе, *б* – твердость по Бринеллю

По данным рисунка можно сделать следующие выводы.

1. Возможно получение ПБС на основе опилок из порубочных остатков сосны сибирской с удовлетворительными физико-механическими свойствами.

2. Прочность материала снижается при увеличении температуры прессования. Для получения ПБС с максимальными прочностными показателями в изучаемом интервале необходимо использовать температуру в пределах 155–160 °С в зависимости от исходной влажности сырья. При этом показатель твердость ПБС увеличивается при температуре  $\geq 165$  °С и влажности  $\leq 18$  %. При дальнейшем увеличении влажности твердость снижается.

3. Физико-механические свойства ПБС, полученного из пресс-сырья на основе опилок из порубочных остатков сосны сибирской, соответствуют свойствам ПБС на основе традиционного пресс-сырья сосны обыкновенной.

4. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

### Библиографический список

1. Братилова Н. П., Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Биология и формовое разнообразие сосны кедровой сибирской // Эко-потенциал. – 2014. – № 1 (5). – С. 120–127.

2. Залесов С. В., Секерин Е. М., Платонов Е. П. Анализ распространения сосны кедровой сибирской по территории Свердловской области // Современ. проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 41–48.

3. Новые композиционные материалы на основе кавитированной древесины / А. Т. Телешев, К. И. Быков, М. П. Коротеев [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 443. – № 5. – С. 598.

4. Получение изделий прессованием в закрытых пресс-формах из фенопластов без добавления связующих / В. Г. Дедюхин, В. Г. Бурындин, Н. М. Мухин, А. В. Артемов // Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. жур. – 2005. – № 3. – С. 90–94.

5. Глухих В. В. Прикладные и научные исследования: учебник. – Екатеринбург, 2016. – 239 с.

УДК 678

**И. В. Тычинкин, О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих**  
**(I. V. Tychinkin, O. F. Shishlov, V.V. Glukhikh)**  
(УГЛТУ, Екатеринбург) Ilya.ty4inkin@yandex.ru

### ВЛИЯНИЕ ЛИГНИНА НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ ФЕНОЛЬНОЙ ПЕНЫ

### INFLUENCE OF LIGNIN ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF PHENOLIC FOAM

*В статье рассмотрено влияние лигнина на прочность фенольной пены при сжатии. Для определения прочности фенольной пены, модифицированной лигнином, при сжатии по сравнению со стандартной фенолформальдегидной смолой использовали универсальное испытательное устройство Inspekt table Blue 20.*

*The paper considers the effect of lignin on the strength of phenolic foam during compression. Universal testing device Inspekt table Blue 20 was used to determine the strength of the phenolic foam modified with lignin during compression, compared with the standard phenol-formaldehyde resin, a universal testing device Inspekt table Blue 20 was used.*

#### Введение

Фенолформальдегидные смолы получают в результате реакции поликонденсации между фенолом и формальдегидом. Фенольные пены уже несколько лет существуют на мировом рынке теплоизоляционных материалов, конкурируя с минеральной ватой, пенополистиролом и пенополиуретаном [1]. Фенольные пены с закрытыми порами обладают превосходными теплоизоляционными свойствами, а также являются