

В деревообрабатывающей промышленности в России наибольшее распространение получили термореактивные поликонденсационные синтетические смолы, образующие клеевые соединения высокой прочности, позволяющие изготавливать водо- и атмосферостойкие древесные композиционные материалы. Традиционно для производства бакелизированной фанеры используют спирторастворимые резольные фенолформальдегидные смолы - лаки ЛБС (СБС), недостатком которых является повышенное содержание свободного фенола [1]. Исходя из принципов «зелёной химии» активно ведутся научные исследования по замене синтетического сырья на возобновляемое сырьё растительного происхождения при синтезе резольных смол [2]. Известен ряд работ по использованию в синтезе таких смол карданолсодержащих продуктов, получаемых из жидкости скорлупы орехов кешью [3]. Карданол представляет собой смесь алкилфенолов, выделяемую из жидкости скорлупы орехов кешью и состоящую преимущественно из 3-пентадецилфенола, 3-(8(Z)-пентадеценил)фенола, 3-(8(Z),11(Z)-пентадекадиенил)фенола и 3-(8(Z),11(Z),14-пентадекатриенил) фенола [4,5]. Полимеры, синтезированные с использованием карданола, обладают повышенной водостойкостью, устойчивостью к действию кислот и щелочей, имеют высокое электрическое сопротивление, устойчивы к истиранию, износу, повреждению термитами [6,7,8,9]. Сведений о применении карданолсодержащих лаков для получения древесных композиционных материалов в литературе не найдено. Целью данной работы являлось изучение влияния технологических факторов получения карданолсодержащего лака на свойства пятислойной бакелизированной фанеры. Карданолсодержащий лак - спиртовой раствор олигомера резольного типа, содержащий в составе 40% по массе карданола, взамен синтетического фенола имеет следующее примерное строение: Экспериментальная часть Предназначенный для получения бакелизированной фанеры карданолсодержащий лак, синтезировали конденсацией фенола, карданола и формальдегида в присутствии щелочного катализатора с последующим растворением в этаноле. Для сравнения был использован также лабораторный образец известного фенолформальдегидного бакелитового лака ЛБС-1. Лабораторные образцы пятислойной бакелизированной фанеры получали из березового шпона путем нанесения лака с расходом в соответствии с планом эксперимента, формированием пакета из 5 листов во взаимно перпендикулярном направлении с целью получения бакелизированной фанеры марки ФБС-А по ГОСТ 11539-83 [10]. Прессование пакета проводили в гидравлическом прессе при давлении 3,5 МПа, при температуре и давлении в соответствии с планом эксперимента. Для изучения влияния технологических факторов на свойства пятислойной бакелизированной фанеры был проведен трехфакторный эксперимент по композиционному плану Бокса - Уилсона [11]. Выбор входных факторов и областей их изменения были основаны на проведенных ранее исследованиях и литературных данных.

Использовались следующие входные факторы: Z1 - расход связующего на одну сторону шпона (г/м<sup>2</sup>), Z2 - температура горячего прессования (°C), Z3 - продолжительность прессования (мин). За выходные параметры были взяты следующие свойства бакелизированной фанеры: y1 - предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч (оск), МПа; y2 - предел прочности при изгибе (σи), МПа; y3 - плотность, кг/м<sup>3</sup>; y4 - водопоглощение за 24 ч, % мас.; y5 - водопоглощение за 72 ч, % мас.; y6 - разбухание в воде по толщине за 24 ч, % отн.; y7 - разбухание в воде по толщине за 72 ч, % отн.; Матрица плана с натуральными значениями входных факторов и результаты эксперимента представлены в таблице 1. Таблица 1 - Матрица плана с натуральными значениями входных факторов и результаты эксперимента № опыта

Входные факторы	Средние арифметические значения свойств бакелизированной фанеры								
Z1, г/м <sup>2</sup>	Z2, °C	Z3, мин	y1, МПа	y2, МПа	y3, кг/м <sup>3</sup>	y4, %	y5, %	y6, %	y7, %
114,7	157,3	15,3	3,66	110,7	1102	21,9	27,3	25,0	29,3
2	65,3	157,3	8,7	2,17	103,7	938	40,6	40,3	37,1
3	114,7	132,7	8,7	*	91,9	920	32,4	32,8	27,6
4	65,3	132,7	15,3	*	102,7	943	39,2	39,2	35,7
5	114,7	157,3	8,7	3,51	117,7	936	27,2	31,1	21,3
6	65,3	157,3	15,3	2,59	143,9	1257	30,3	30,9	40,9
7	114,7	132,7	15,3	*	120,2	1070	27,7	30,4	28,3
8	65,3	132,7	8,7	*	104,6	906	33,2	36,9	28,4
9	120,0	145,0	12,0	3,34	125,3	1253	18,2	25,7	29,0
10	60,0	145,0	12,0	1,69	75,3	757	40,5	43,3	27,0
11	90,0	160,0	12,0	2,82	161,5	1298	17,9	22,8	30,6
12	90,0	130,0	12,0	1,49	77,6	786	31,8	34,8	15,6
13	90,0	145,0	16,0	3,48	155,4	1291	21,8	25,9	34,8
14	90,0	145,0	8,0	2,42	109,3	909	27,7	32,9	23,2
15	90,0	145,0	12,0	2,22	136,8	1131	27,9	30,1	33,5
16	34,4	*	*	*	*	*	*	*	*

\* - не измерялось, в виду низких прочностных характеристик (образцы разрушились в процессе кипячения) Для получения экспериментально-статистических моделей свойств фанеры был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента (для показателя предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч для 11 опытов). Экспериментально-статистические модели свойств фанеры представлялись в виде следующего полинома второй степени: где b0 - свободный член, b1, b2, ..., bk - коэффициенты, оценивающие влияние входных факторов; Z1, Z2, ..., Zk - натуральные значения входных факторов. По результатам регрессионного анализа были выбраны из класса полиномов 1 и 2 степени следующие адекватные уравнения регрессии, имеющие значимые эффекты влияния входных факторов в исследованной области факторного пространства и описывающие экспериментальные данные с максимальным значением коэффициента детерминации (R<sup>2</sup>) не менее 0,7:  $\hat{y}_1 = -10,09 + 0,0257Z1 + 0,0951Z2 - 0,0051Z1Z2 + +0,0357Z3^2$  (R<sup>2</sup> = 0,95);  $\hat{y}_2 = 0,8Z2$  (R<sup>2</sup> = 0,96);  $\hat{y}_5 = 106,0 - 1,324Z1 - 0,0053Z2Z3 + 0,00638Z1^2$  (R<sup>2</sup> = 0,73);  $\hat{y}_6 = 0,201Z2$  (R<sup>2</sup> = 0,95);  $\hat{y}_7 = 0,216Z2$  (R<sup>2</sup> = 0,95). Для трехфакторной нелинейной зависимости для  $\hat{y}_1$  следует, что на предел прочности при скалывании оказывают влияние расход

связующего, время и температура горячего прессования, а также совместное действие данных факторов. Самое существенное влияние на это свойство бакелизированной фанеры оказывает время прессования (коэффициент  $\beta_2 = 3,14$ [12]). Графически зависимость  $\hat{y}_1$  от условий горячего прессования при постоянном расходе связующего на одну сторону шпона 120 г/м<sup>2</sup> приведена на рисунке 1. Рис. 1 - Зависимость предела прочности бакелизированной фанеры при скалывании от температуры и продолжительности горячего прессования. Предел прочности бакелизированной фанеры при изгибе ( $\hat{y}_2$ ) зависит только от температуры прессования. Увеличение температуры горячего прессования в исследованном диапазоне приводит к линейному росту данного показателя фанеры. Для трехфакторной нелинейной зависимости для  $\hat{y}_5$  следует, что основной вклад в водопоглощение за 72ч вносит расход связующего (коэффициент  $\beta_1 = -4,98$  и  $\beta_{11} = 4,34$ ) и в меньшей степени совместное влияние температуры и времени прессования (коэффициент  $\beta_{23} = -0,40$ ). Графически зависимость  $\hat{y}_5$  при постоянном времени прессования 16 минут приведена на рисунке 2. Рис. 2 - Зависимость водопоглощения за 72 часа от расхода связующего и времени горячего прессования. Из полученных зависимостей для  $\hat{y}_6$  и  $\hat{y}_7$  следует, что разбухание в воде бакелизированной фанеры по толщине за 24 часа и за 72 часа зависит только от температуры процесса прессования по линейному закону. На увеличение этих показателей с ростом температуры горячего прессования наибольшее влияние оказывает не степень отверждения связующего, а другие факторы. Для поиска рациональных значений технологических факторов, обеспечивающие получение водостойкой пятислойной бакелизированной фанеры с показателями свойств, соответствующих современным российским требованиям, в качестве целевой функции было взято уравнение регрессии для  $y_1$  (предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч), которое анализировалось симплексным методом для поиска максимума при следующих ограничениях других свойств бакелизированной фанеры: прочность при изгибе, не менее 118 МПа; плотность, не более 1200 кг/м<sup>3</sup>; водопоглощение за 24 часа, не более 23 %; водопоглощение за 72 часа, не более 27 %; водоразбухание за 24 часа, не более 30%; водоразбухание за 72 часа, не более 33%; Результаты расчетов показали, что при условии выполнения ограничений максимальное значение прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в течение 1 часа достигается при следующих условиях: расход связующего на одну сторону шпона 120 г/м<sup>2</sup>; температура горячего прессования - 147,4 оС; продолжительность горячего прессования - 15,9 минут; При найденных рациональных значениях технологических факторов были получены по два лабораторных образца пятислойной бакелизированной фанеры с карданолсодержащим лаком и лаком ЛБС-1. Значения ожидаемых по уравнениям регрессии и средние арифметические значения полученных

фактических результатов приведены в табл. 2. Таблица 2 - Показатели свойств бакелизированной фанеры Показатель свойств Карданолсодержащий лак ЛБС-1

Расчетное значение	Фактический результат	Расхождение, %
Предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч ( $\sigma_{ск}$ ), МПа	4,10 4,37 6,6 3,03	13,1 107,0
Предел прочности при изгибе ( $\sigma_{и}$ ), МПа	118,0 133,5	13,1
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200	1,16
Водопоглощение за 24 часа, %	20,5 - 27,7	26,7 28,7 7,5 34,9
Водопоглощение за 72 часа, %	26,4 10,8 34,1	31,8 30,8 -3,1 38,0

Данные таблицы 2 показывают удовлетворительное соответствие между расчетными и фактическими значениями показателей свойств бакелизированной фанеры (максимальное расхождение до 13,1 %), полученной с карданолсодержащим лаком и её превосходство по всем показателям, по сравнению с фанерой на основе традиционного лака ЛБС-1.

Выводы Получены закономерности влияния некоторых технологических факторов на свойства пятислойной бакелизированной фанеры с карданолсодержащим лаком в форме полиномиальных уравнений регрессии, найдены рациональные значения технологических факторов, позволяющие получать водостойкую бакелизованную фанеру, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 11539-83 [10]. Показано, что при использовании карданолсодержащего лака возможно получение бакелизированной фанеры, обладающей более высокими физико-механическими свойствами, по сравнению с фанерой, получаемой при использовании традиционного лака ЛБС-1.