

Для получения древесно-слоистых пластиков (ДСП) используются связующие на основе фенол- или крезолформальдегидных смол [1]. Однако связующие такого типа имеют ряд недостатков, прежде всего с точки зрения выделения в процессе производства ДСП летучих веществ - фенола, формальдегида, а также спирта, который используется в качестве растворителя. В данном аспекте перспективным выглядит применение в качестве связующего полиуретановой системы на основе карданола. При получении полиуретановых адгезивов в качестве полиольного компонента применяют различные низкомолекулярные, олигомерные и полимерные соединения, в том числе на основе синтетического фенола [2,3]. Исходя из принципов «зелёной химии», активно ведутся научные исследования по замене при синтезе полиуретанов синтетического сырья на возобновляемое сырьё растительного происхождения [2,4]. Известен ряд работ по использованию в синтезе полиольных компонентов карданолсодержащих продуктов, получаемых из жидкости скорлупы орехов кешью [5, 6]. Карданол представляет собой смесь алкилфенолов, состоящую преимущественно из 3-пентадецилфенола, 3-(8(Z)-пентадецил) фенола, 3-(8(Z),11(Z)-пентадекаденил) фенола и 3-(8(Z),11(Z),14-пентадекатриенил) фенола. [6, 7]. Полимеры, синтезированные с использованием карданола, обладают повышенной водостойкостью, устойчивостью к действию кислот и щелочей, имеют высокое электрическое сопротивление, устойчивы к истиранию, износу, повреждению термитами [8,9,10,11]. Сведений о применении полиуретановых связующих на основе карданола для ДСП в литературе не найдено. Целью данной работы являлось изучение влияния технологических факторов на свойства тринадцатислойных древесно-слоистых пластиков с карданолсодержащим полиуретановым связующим. В работе использовались двухкомпонентные полиуретановые адгезивы. Компонент А (полиол) - олигомер новолачного типа, синтез и свойства которого подробно описаны в работе [12] и компонент В - дифенилметандиизоцианат (MDI). Экспериментальная часть

Связующее для получения ДСП получали смешением карданолсодержащего полиола новолачного типа (компонент А) и дифенилметандиизоцианата (компонент В) на высокоскоростной мешалке с перемешивающим устройством якорного типа. Нанесение связующего осуществлялось кистью непосредственно на поверхность шпона. Лабораторные образцы листов ДСП-В (ГОСТ 13913-78) толщиной 10 мм получали из лущеного березового шпона толщиной 1,5 мм по ГОСТ 99-96 II сорта для наружных слоев и III сорта для внутренних. Процесс прессования ДСП осуществляли следующим образом: Загрузка шпона в пресс при температуре 50 °С; Набор давления до 15 МПа и температуры до расчетного значения (изменялась в соответствии с планом эксперимента) в течение 30 минут; Выдержка при данном давлении и температуре в течение 40 минут (из расчета 4 минуты на 1 мм толщины ДСП); Охлаждение ДСП до температуры 50 °С в течение 30 минут; Выдержка при температуре 50 °С в течение 10 минут (из

расчета 1 минута на 1 мм толщины ДСП); Снятие давление в течение 5 минут. После прессования образцы кондиционировали при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 65 ± 5 % в течение 3 суток. Для изучения влияния технологических факторов на свойства тринадцатислойных листов древесно-слоистого пластика (ДСП) был проведен трехфакторный эксперимент по композиционному плану Бокса - Уилсона с двукратным повторением опытов [13]. Выбор входных факторов и областей их изменения были основаны на проведенных ранее исследованиях и литературных данных. Входные факторы изменялись в следующих пределах: расход связующего от 20 до 100 г/м²; температура прессования от 100 до 150 оС; количество компонента В на 100 м.ч. компонента А от 60 до 140, м.ч. За выходные параметры были взяты следующие свойства ДСП: у₁ - водопоглощение за 24 ч, % мас.; у₂ - объемное разбухание 24 ч, %; у₃ - плотность, кг/м³; у₄ - предел прочности при скалывании по клеевому слою (тск), МПа; у₅ - предел прочности при сжатии вдоль волокон наружного слоя (σсж 0°), МПа у₆ - предел прочности при сжатии поперек волокон наружного слоя (σсж 90°), МПа у₇ - предел прочности при сжатии под углом 45° к направлению волокон наружного слоя (σсж45°), МПа у₈ - предельное объемное разбухание, %. Матрица плана с нормализованными значениями входных факторов и результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Матрица плана с нормализованными значениями входных факторов и результаты эксперимента №

Входные факторы	Средние арифметические значения свойств ДСП	x1	x2	x3	у1, %	у2, %	у3, кг/м ³	у4, МПа	у5, МПа	у6, МПа	у7, МПа	у8, %
1	1	1	1	1	4,7	9,1	1298	7,6	117,5	114,1	92,9	30,6
2	1	1	1	-1	20,3	38,3	1255	4,7	95,1	91,7	77,9	43,5
3	1	1	-1	-1	120,0	114,5	68,7	43,8	3	1	1	-1
4	1	1	1	1	65,7	1228	2,7	99,2	100,1	65,3	70,2	5
5	1	1	1	-1	103,6	83,5	41,2	7	1	1	-1	14,5
6	1	1	-1	-1	105,2	91,5	45,7	8	1	-1	-1	49,9
7	1	1	-1	1	1299	6,5	114,0	112,0	73,9	35,8	10	1
8	1	1	1	1	11	1	0	1,2	4,5	13,9	1310	9,1
9	1	1	1	-1	107,2	99,2	70,3	61,6	13	1	0	0
10	1	1	-1	-1	41,4	1284	7,5	101,8	102,3	73,8	51,5	15
11	1	1	1	1	53,1							

Для получения экспериментально-статистических моделей свойств ДСП был проведен регрессионный анализ полученных результатов эксперимента. Экспериментально-статистические модели свойств ДСП представлялись в виде следующего полинома второй степени: где b_0 - свободный член, b_1, b_2, \dots, b_k - коэффициенты, оценивающие влияние входных факторов; Z_1, Z_2, \dots, Z_k - 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^2) не менее 0,5: $\hat{y}_1 = 210,0 - 1,867Z_1 - 1,374Z_2 + 0,01243Z_1Z_2$ ($R^2 = 0,89$); $\hat{y}_2 = 140,9 - 1,237 Z_1 + 0,00703 Z_1Z_2 - 0,00509 Z_2^2$ ($R^2 = 0,95$); $\hat{y}_3 = 1147 + 4,12Z_2 - 6,08Z_3 - 0,0315Z_1Z_2 + 0,0322Z_1Z_2 + 0,02958Z_3^2$ ($R^2 = 0,87$); $\hat{y}_4 = 3,8 - 0,082 Z_3 + 0,00078 Z_2Z_3$ ($R^2 = 0,51$); $\hat{y}_5 = 87,1 + 0,00133 Z_2^2$ ($R^2 = 0,56$); $\hat{y}_6 = -0,9 + 0,808Z_2 + 0,658Z_3 + 0,00088 Z_1Z_3 - 0,00533 Z_2Z_3$ ($R^2 = 0,83$); $\hat{y}_7 = 90,3 - 0,632Z_3 - 0,00411Z_1Z_2 + 0,00591Z_1Z_3 + 0,00371Z_2Z_3$ ($R^2 = 0,7$); $\hat{y}_8 = 124,8 - 1,07Z_1 + 0,00595 Z_1 Z_2 - 0,00352Z_2^2$ ($R^2 = 0,96$). Для каждой зависимости были рассчитаны стандартизованные регрессионные коэффициенты (Бета), позволяющие оценить относительный вклад каждой независимой переменной в предсказание свойств ДСП [14]. Из полученных данных следует, что для двухфакторной нелинейной зависимости \hat{y}_1 , наибольший вклад во влияние на водопоглощение за 24 ч. оказывает расход связующего, а также в значительной мере совместное влияние расхода связующего и температуры прессования. Графически зависимость \hat{y}_1 от температуры прессования и расхода связующего приведена на рисунке 1. Рис. 1 - Зависимость водопоглощения за 24 ч. от расхода связующего и температуры прессования ДСП Для двухфакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_2 следует, что объемное разбухание за 24 ч. зависит от расхода связующего и в меньшей степени от температуры прессования (рис. 2). Рис. 2 - Зависимость объемного разбухания за 24 ч. от расхода связующего и температуры прессования ДСП Для трехфакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_3 следует, что основное влияние на плотность ДСП оказывает соотношение компонентов, температура прессования и расход связующего влияют в меньшей степени. Графически зависимость \hat{y}_3 при температуре прессования 150 °С приведена на рисунке 3. Рис. 3 - Зависимость плотности ДСП от расхода связующего и соотношения компонентов связующего Для двухфакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_4 следует, что основной вклад в предел прочности при скалывании по клеевому слою вносит совместное влияние соотношения компонентов связующего и температуры прессования. Для однофакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_5 следует, что предел прочности при сжатии вдоль волокон наружного слоя зависит только от температуры прессования. Для трехфакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_6 следует, что предел прочности при сжатии поперек волокон наружного слоя зависит от температуры прессования и соотношения компонентов связующего, но больший вклад вносит их совместное влияние. Для трехфакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_7 следует, что предел прочности при сжатии под углом 45° к направлению волокон наружного слоя зависит от совместного влияния соотношения компонентов и расхода связующего, также существенный вклад вносит соотношение компонентов связующего. Для двухфакторной нелинейной зависимости для \hat{y}_8 следует, что основное влияние на предельное объемное разбухание оказывает расход связующего. Графически зависимость \hat{y}_8 приведена на рисунке 4. Рис. 4 - Зависимость предельного

объемного разбухания от температуры прессования ДСП и расхода связующего. Для поиска рациональных значений технологических факторов, обеспечивающие получение водостойких ДСП с показателями свойств, соответствующих современным требованиям, в качестве целевой функции было взято уравнение регрессии для y_1 (водопоглощение за 24 ч), которое анализировалось симплексным методом для поиска минимума при следующих ограничениях других свойств ДСП: объемное разбухание 24 ч, не более 10 %; плотность, не менее 1280 кг/м³; предел прочности при скалывании по клеевому слою ($\tau_{ск}$), не менее 7 МПа; предел прочности при сжатии вдоль волокон наружного слоя ($\sigma_{сж 0^\circ}$), не менее 100 МПа; предел прочности при сжатии поперек волокон наружного слоя ($\sigma_{сж 90^\circ}$), не менее 100 МПа; предел прочности при сжатии под углом 45° к направлению волокон наружного слоя ($\sigma_{сж 45^\circ}$), не менее 80 МПа; предельное объемное разбухание, не более 30 %; Результаты расчетов показали, что при условии выполнения ограничений минимальное значение разбухания ДСП в воде за 24 ч достигается при следующих условиях: расход связующего - 100 г/м²; температура прессования - 150 оС; количество компонента В на 100 м.ч. компонента А - 140 м.ч. При найденных рациональных значениях технологических факторов были получены три лабораторных образца тринадцатислойных листов ДСП. Значения ожидаемых по уравнениям регрессии и средние арифметические значения полученных фактических результатов приведены в табл.е 5.

Показатель свойств	Расчетное значение	Фактический результат	Расхождение от расчёта, %
Водопоглощение за 24 ч, %	3,5	3,6	2,9
Объемное разбухание 24 ч, %	7,9	8,2	3,8
Плотность, кг/м ³	1341	1270	-5,3
Предел прочности при скалывании по клеевому слою ($\tau_{ск}$), МПа	8,6	10,9	26,7
Предел прочности при сжатии вдоль волокон наружного слоя ($\sigma_{сж 0^\circ}$), МПа	117,1	122,9	5,0
Предел прочности при сжатии поперек волокон наружного слоя ($\sigma_{сж 90^\circ}$), МПа	112,8	116,6	3,4
Предел прочности при сжатии под углом 45° к направлению волокон наружного слоя ($\sigma_{сж 45^\circ}$), МПа	100,8	86,4	-14,3
Предельное объемное разбухание, %	27,9	29,4	5,4

Данные таблицы 5 показывают хорошее соответствие между расчетными и фактическими значениями показателей свойств водостойкости ДСП (до 6 %). Расхождение показателей механической прочности листов не превышает 27%, что обусловлено неоднородностью древесного материала. Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы: Получены закономерности влияния некоторых технологических факторов на свойства тринадцатислойных листов ДСП с карданолсодержащим полиуретановым связующим в форме полиномиальных уравнений регрессии второй степени, найдены рациональные значения технологических факторов, позволяющие получать водостойкие ДСП, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 13913-78.