

И. А. Хмызов, доцент; Т. А. Снопкова, мл. науч. сотрудник; Д. В. Куземкин, ассистент;
Е. В. Дубоделова, аспирант; Т. В. Соловьева, профессор

СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДА СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

In a paper the opportunity of lowering of expenditure of phenol-formaldehyde resin used as the hardening component by production of fibre boards is considered. It is installed, that the updating of phenol-formaldehyde resin by carbamide in conditions of padding heat allows essentially reducing its expenditure, which is actual in conditions of a raw deficit in production of fibre boards.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) – это листовой композиционный материал, получивший широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства как дешевый заменитель древесины, обладающий свойством изотропии [1].

В состав ДВП входят древесные волокна и клеяющие добавки. Древесные волокна получают из технологической щепы, для производства которой используют, в основном, отходы деревообрабатывающих производств. Проклеивающие добавки вводят для повышения прочностных свойств и водостойкости плит. В качестве упрочняющих добавок используют связующие вещества различной природы. Среди них в промышленности нашли наибольшее применение натуральный клей альбумин и синтетические фенолоформальдегидные смолы в виде жидких резольных фенолоформальдегидных олигомеров различных марок, из которых СФЖ-3014 используется в наибольшей степени [1]. При этом расход связующего составляет в среднем 52–62 кг/1000 м² ДВП (0,8–1,2% от массы а. с. в.).

Стоимость упрочняющей добавки в структуре себестоимости ДВП составляет довольно большую величину – 30–40%, поэтому снижение расхода связующего в производстве ДВП является актуальной задачей.

В этих целях весьма целесообразным является повышение реакционной способности используемых резольных фенолоформальдегидных олигомеров.

Резольные олигомеры обычно получают при конденсации фенола с избытком формальдегида (1:2) в присутствии оснований и кислот [2]. В состав резолов входят в основном моно-, ди- и триметилфенолы (рис. 1).

Образование резолов (рис. 2) происходит при повышенных температурах. При этом образуется смесь сравнительно низкомолекулярных и разветвленных продуктов, молекулярная масса которых изменяется от 400 до 800–1600. При нагревании резолы постепенно отверждаются, т. е. превращаются в полимеры пространственного строения (рис. 2, 3).

Такое отверждение фенолоформальдегидных олигомеров происходит в плитах на стадии их горячего прессования (и закалки, если она

присутствует). Чем разветвленнее макромолекулы и чем однороднее по составу их олигомеры, тем однороднее свойства получаемых полимеров и выше прочность проклеенных ими плит.

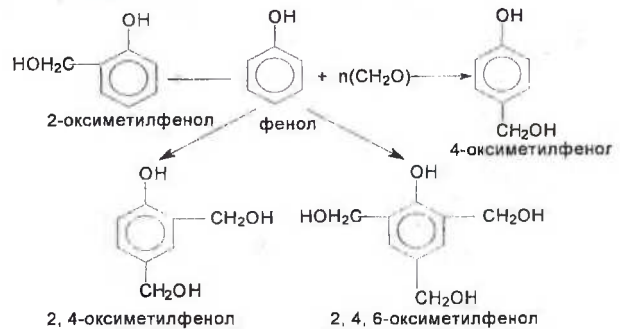


Рис. 1. Начальные продукты взаимодействия фенола и формальдегида

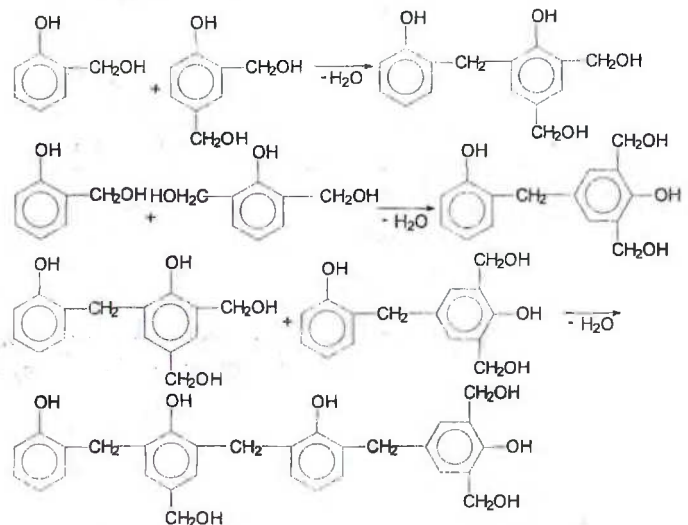


Рис. 2. Структурная схема образования резолов

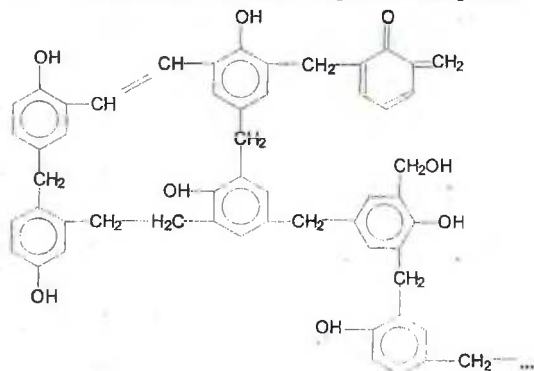


Рис. 3. Структурная схема отвержденных резолов

Проведенные нами исследования показали, что повышения реакционной способности резольных фенолоформальдегидных олигомеров можно достичь, используя их дополнительный нагрев (старение) в присутствии химического модификатора. В качестве модификатора, по нашему мнению, целесообразно использовать карбамид, являющийся амидом угольной кислоты, который имеет в своей структуре две аминогруппы и одну карбонильную группу, отличающиеся высокой реакционной способностью.

В результате старения смолы в ее макромолекулах образуются дополнительные функциональные группы, способные вступать в реакции химического взаимодействия как между собой, так и с функциональными группами компонентов древесины. Этим можно добиться повышения прочностных свойств ДВП и, как следствие, снижения расхода связующего на их производство.

В этом направлении были проведены соответствующие исследования. При этом использовали фенолоформальдегидную смолу СФЖ-3014, традиционно применяемую в производстве ДВП. Модифицировали смолу карбамидом.

В ходе исследований был реализован многофакторный эксперимент на основе плана Хартли с варьированием трех факторов – температуры старения смолы (X_1) от 70 до 90°C, времени обработки смолы (X_2) от 40 до 80 мин и расхода карбамида (X_3) от 10 до 100% к массе а. с. смолы. На основе составленных композиций связующего были изготовлены ДВП и испытаны их показатели прочности и водостойкости.

Результаты исследований приведены в табл. 1.

Анализ результатов эксперимента был возможен только при условии стабильности таких показателей, как плотность и толщина плит. Описательная статистика названных показателей, полученная с применением надстройки «Анализ данных» электронных таблиц Excel, подтвердила их достаточную стабильность [3]. Интервал изменений плотности и толщины составил 88 кг/м³ и 0,3 мм, стандартное относительное отклонение – 2,99 и 3,45% соответственно. Это дало основание утверждать, что все образцы ДВП сопоставимы по плотности и толщине.

Обработку результатов исследований также проводили в электронных таблицах Excel. Расчет коэффициентов уравнений регрессии для исследуемых показателей качества ДВП позволил получить следующие уравнения регрессии:

а) для предела прочности при изгибе:

$$Y_1 = -409,981 + 10,80619 \cdot X_1 - 0,27275 \cdot X_2 + 0,56844 \cdot X_3 - 0,00363 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,00601 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,000111 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,06253 \cdot X_1^2 + 0,005993 \cdot X_2^2 - 0,00042 \cdot X_3^2;$$

б) для разбухания:

$$Y_2 = 294,7789 - 6,99563 \cdot X_1 + 1,588418 \cdot X_2 - 0,37214 \cdot X_3 - 0,01475 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,003234 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,000182 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,045705 \cdot X_1^2 - 0,00509 \cdot X_2^2 + 0,000879 \cdot X_3^2.$$

Анализ уравнений регрессии проводили путем построения двумерных сечений поверхностей отклика предела прочности при изгибе и разбухания – рис. 4 и рис. 5 соответственно.

Из рис. 4 видно, что наибольшее влияние на предел прочности при изгибе оказывает температура старения композиции фенолоформальдегидной смолы с карбамидом.

Таблица 1

Зависимость физико-механических показателей ДВП от расхода карбамида, температуры и продолжительности старения

№ опыта	Температура старения (X_1), °C	Время обработки (X_2), мин	Расход карбамида (X_3), %	Предел прочности при изгибе (Y_1), МПа	Разбухание за 24 ч (Y_2), %
1	0	0	0	30,8	39,5
2	80	80	55	51,3	25,3
3	80	40	55	44,4	33,4
4	80	60	10	40,4	38,1
5	80	60	100	48,8	28,2
6	70	60	55	33,5	39,1
7	70	40	10	31,2	40,3
8	70	40	100	39,1	39,6
9	90	60	55	44,9	32,8
10	90	80	10	46,3	21,3
11	90	80	100	45,1	27,1
12	90	40	100	39,2	39,5
13	90	40	10	42,3	35,9
14	80	60	55	48,4	28,7
15	70	80	10	39,6	39,0
16	70	80	100	40,9	37,5

С увеличением температуры старения от 70 до 78–82°C происходит существенное увеличение прочности плит от 30–35 МПа до 50–55 МПа при расходе карбамида во всем исследуемом интервале расходов. При дальнейшем увеличении температуры старения прочность плит проявила тенденцию к снижению.

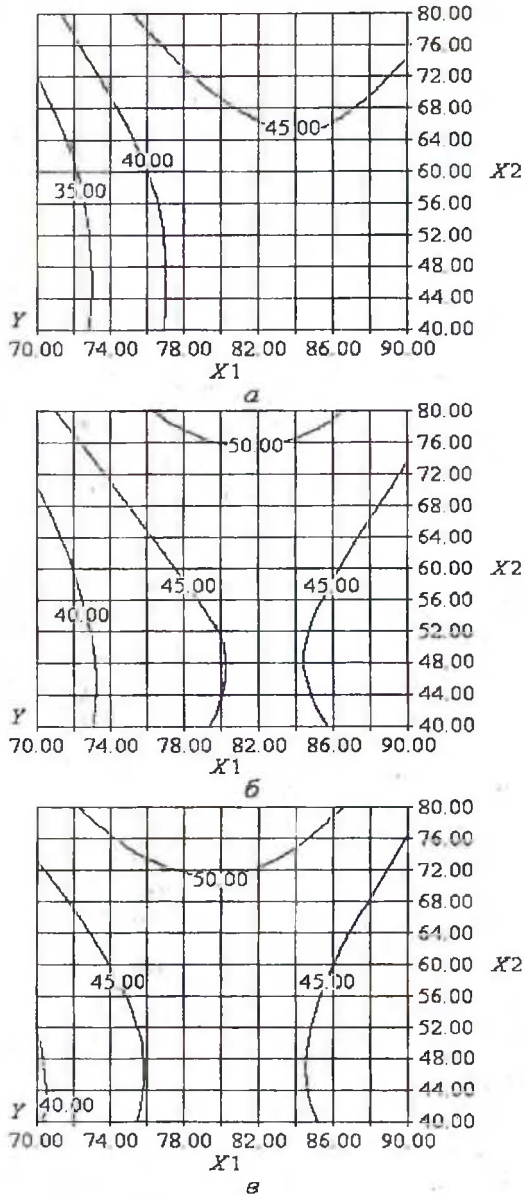


Рис. 4. Двумерные сечения поверхностей отклика зависимости предела прочности при изгибе ДВП от температуры (X_1) и продолжительности (X_2) старения фенолоформальдегидной смолы при расходах карбамида: а – 10%; б – 55%; в – 100%

Увеличение продолжительности старения тоже вызывало повышение прочности плит. Наилучшие результаты были достигнуты при максимальной продолжительности – 80 мин. Увеличение дозировки карбамида тоже привело к повышению предела прочности при изгибе

плит. Наиболее высокие значения прочности были достигнуты при расходах 55% и выше.

Влияние факторов на показатель разбухания отражено на рис. 5. Анализ зависимостей показывает, что наибольшее влияние на водостойкость при температурах старения 80–90°C оказывает время: с увеличением продолжительности старения разбухание существенно уменьшается. Наилучшие результаты достигаются при малых расходах карбамида.

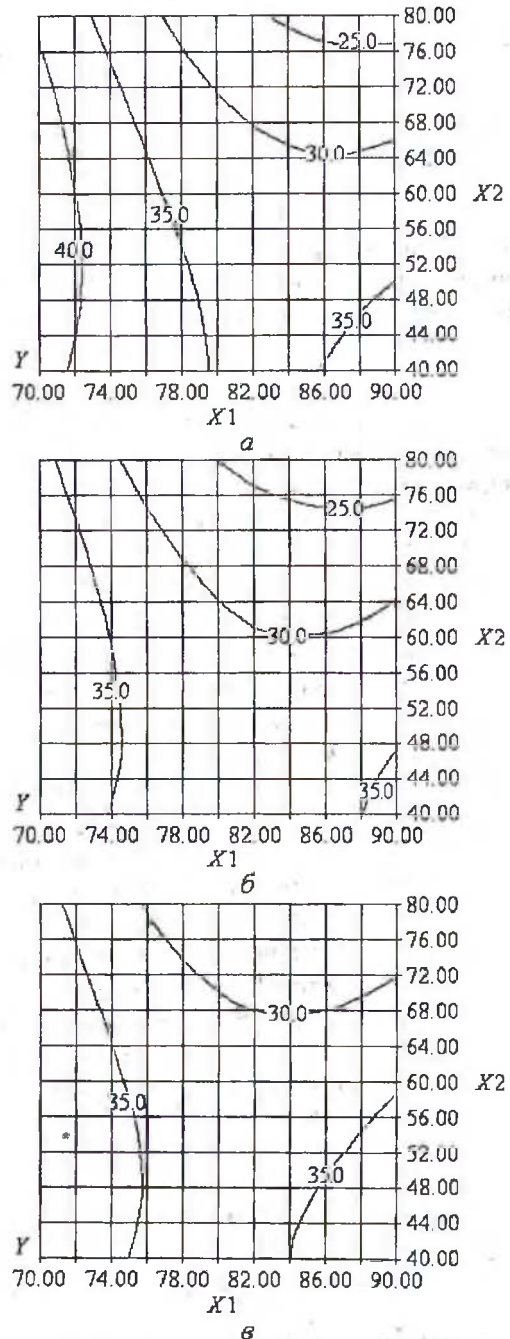


Рис. 5. Двумерные сечения поверхностей отклика зависимости разбухания ДВП от температуры (X_1) и продолжительности (X_2) старения фенолоформальдегидной смолы при расходах карбамида: а – 10%; б – 55%; в – 100%

Полученные зависимости однозначно свидетельствуют о повышении реакционной способности фенолоформальдегидной смолы под воздействием карбамида.

Учитывая сложный характер влияния факторов на показатели качества плит, задачу оптимизации параметров технологического процесса решали с применением обобщенного критерия оптимизации [4]. В электронных таблицах Excel были рассчитаны коэффициенты функциональных зависимостей частных функций полезности для каждого показателя качества:

$$d(Y1) = e^{-e^{(8,72 - 0,21 \cdot Y1)}} ;$$

$$d(Y2) = e^{-e^{(-7,57 + 0,18 \cdot Y2)}}$$

С использованием полученных зависимостей были найдены построчные значения обобщенного критерия оптимизации W по формуле

$$W = \sqrt{d(Y1) \cdot d(Y2)} .$$

При помощи функции «ЛИНЕЙН» были определены коэффициенты аппроксимирующего полинома обобщенного критерия оптимизации W : $W = -19,634 + 0,504 \cdot X1 - 0,0501 \cdot X2 + 0,0205 \cdot X3 + 0,0004 \cdot X1 \cdot X2 - 0,002 \cdot X1 \cdot X3 + 0,000035 \cdot X2 \cdot X3 - 0,00018 \cdot X1^2 + 0,0002 \cdot X2^2 - 0,0000609 \cdot X3^2$.

С применением надстройки «Поиск решения» найдено такое сочетание факторов, при котором обобщенный критерий оптимизации W имеет максимальное значение, равное 0,89: температура термообработки – 57°C; продолжительность термообработки – 53 мин; расход карбамида – 15% [3]. При этом были достигнуты следующие значения показателей качества ДВП: предел прочности при изгибе – 51 МПа, набухание – 25,4%.

В лабораторных условиях было установлено, что использование модифицированной фенолоформальдегидной смолы при оптимальном сочетании параметров ее обработки позволяет сократить расход традиционно используемого при производстве плит связующего до 30%.

Полученный результат, вероятно, был достигнут за счет взаимодействия метилольных групп резольной смолы с аминогруппами карбамида (рис. 6), сопровождающегося дальнейшим образованием карбаминофенолоформальдегидных олигомеров (рис. 7).

Аминогруппы в макромолекулах олигомера могут взаимодействовать с функциональными группами компонентов древесины – целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз, образуя древесноволокнистые плиты с высокими физико-механическими показателями.

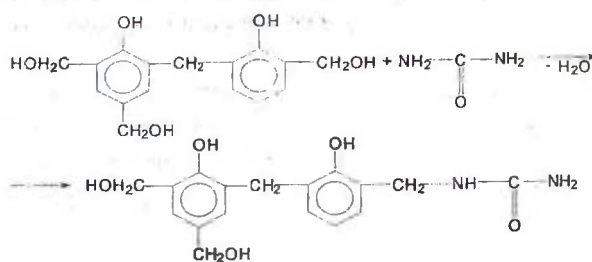


Рис. 6. Схема взаимодействия фенолоформальдегидных олигомеров с карбамидом

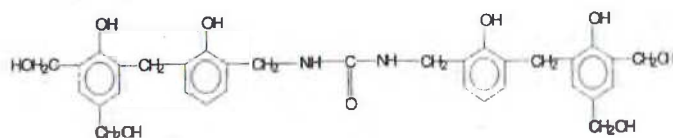


Рис. 7. Схема образования карбаминофенолоформальдегидных олигомеров

Результаты лабораторных исследований были апробированы в промышленных условиях цеха ДВП ОАО «Витебскдрев».

В качестве сырья при производстве опытной партии древесноволокнистых плит использовали технологическую щепу из смешанных пород древесины с преимущественным содержанием (85%) лиственных пород березы, осины и ольхи.

Для старения смолы СФЖ-3014 использовали карбамид марки Б. Опытный раствор модифицированной смолы имел концентрацию 8%. Содержание карбамида по отношению к абсолютно сухой смоле составило 19 и 15%, при этом расход смолы был равен 41,6 и 33,6 кг на 1000 м² плит. Прогрев композиций связующего проводили при температуре 60°C в течении 50 мин. Для сравнения использовался традиционный расход смолы, определяемый ее концентрацией 10%. Это составило 52 кг на 1000 м² ДВП.

Результаты проведенных промышленных испытаний в ОАО «Витебскдрев» показаны в табл. 2.

Использование в производстве ДВП связующего, модифицированного 15% карбамида при дополнительном прогреве, позволяет сократить его расход до 35,4% по сравнению с традиционно используемым. При этом показатели качества ДВП с этим связующим несколько выше, чем у плит на традиционной смоле (табл. 2). Увеличение содержания карбамида в композиции прогретого связующего до 19% дает возможность получать ДВП с еще более высокими показателями качества, однако при этом экономия связующего снижается до 20%. Необходимо отметить, что стоимость СФЖ-3014 почти на порядок выше стоимости карбамида.

Таблица 2

Показатели качества ДВП, полученных в условиях ОАО «Витебскдрев»

Характеристика связующего СФЖ-3014 и его расход (кг) на 1000 м ² ДВП	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при изгибе после пресса, МПа	Разбухание, %
Исходное связующее (расход 52 кг)	2,80	850	32,1	18,8
Модифицированное 19% карбамида связующее (расход 41,6 кг)	2,65	870	41,9	17,5
Модифицированное 15% карбамида связующее (расход 33,6 кг)	2,75	850	36,2	17,2

Результаты проведенных лабораторных исследований и промышленных испытаний позволяют рекомендовать к использованию в производстве ДВП фенолоформальдегидную смолу, модифицированную карбамидом в условиях ее дополнительного нагрева. Это позволит существенно снизить ее расход. В настоящее время данная разработка находится в стадии внедрения на предприятиях концерна «Беллесбумпром».

Литература

1. Ребрин С. П., Мерсов Е. Д., Евдокимов В. Г.

Технология древесноволокнистых плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 272 с.

2. Доронин Ю. Г., Мирошниченко С. Н., Свиткина М. М. Синтетические смолы в деревообработке. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.

3. Долженков В. А., Колесников Ю. В. Microsoft Excel 2002. – СПб.: БХ – Петербург, 2003. – 1072 с.

4. Колесников В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем. – Минск: БГТУ, 2003. – 312 с.