

В результате исследований для образцов были определены следующие показатели физико-механических свойств: твердость по Бринеллю, число упругости, пластичность и контактный модуль упругости при сжатии. Результаты определения свойств образцов композита и отвержденной эпоксидной смолы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов  
древесно-полимерных композитов

№	Твердость по Бринеллю, МПа	Число упругости, %	Пластичность, %	Модуль упругости при сжатии, МПа
1	26,5	52,3	47,8	10,7
2	61,2	70,4	29,6	22,1
3	153,2	99,2	0,8	36,9
4	139,8	100,0	0,0	48,3

Данные табл. 2 показывают, что увеличение содержания в образцах конопли ведет к увеличению числа упругости и контактного модуля упругости при сжатии, также при увеличении содержания конопли до 40 % наблюдается рост показателя твердости по Бринеллю, с дальнейшим увеличением содержания конопли в образцах этот показатель уменьшается. В то же время наблюдается уменьшение показателя пластичности.

### Библиографический список

1. Малинин Л. Н. Эфиروцеллюлозные пластмассы. – URL: [https://gufo.me/dict/chemistry\\_encyclopedia/этролы](https://gufo.me/dict/chemistry_encyclopedia/этролы) (дата обращения: 27.11.2020).
2. Брацихин Е. А. Технология пластических масс. – СПб., 1963. – 362 с.
3. Manaia J. P., Manaia A. T. and Rodrigues L. Industrial Hemp Fibers: An Overview // *Fibers*. – 2019. – 7 p.

УДК 678

Асп. И. В. Тычинкин  
Рук. О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих  
УГЛТУ, Екатеринбург

## ИЗУЧЕНИЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ РЕЗОЛЬНОЙ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИГНИНА

Лигнин наряду с целлюлозой является одной из основных составляющих органического природного материала, из которого формировался

каменный уголь и некоторые другие твердые горючие ископаемые. После целлюлозы [1] лигнины – наиболее распространенные соединения биологического происхождения, их содержание в древесине хвойных пород составляет 25–30 %, лиственных – 19–23 %. Содержание лигнина определяется породой древесины, климатической зоной, почвой, возрастом растения. Структура лигнина представляет собой сложную, нерегулярную, разветвленную пространственную сетку, представленную фрагментами кониферилового, синригилового и синапового спирта.

Дефицит ископаемых ресурсов, нестабильные рынки и экологические проблемы являются основными факторами, которые стимулируют усилия по сокращению использования синтетических клеев и разработке смол на основе лигнина или танина [1]. И это оправдано, поскольку лигнины являются самым доступным полимером фенольной природы и относятся к малоиспользуемому виду органического сырья [2]. Повышение цен различных индивидуальных соединений, в том числе синтетического фенола, дает импульс для более широкого использования лигнина в промышленной химии высокомолекулярных соединений.

Для оценки температуры и времени отверждения была выбрана резольная фенолформальдегидная смола, используемая для производства вспененных композиционных материалов. Смола имеет светло-коричневый цвет и условную вязкость 10 000 сП, а также массовую долю свободного фенола 1,8 % и свободного формальдегида 0,2 % соответственно. В качестве лигнина был выбран крафт-лигнин Lineo™ компании Stora Enzo, представляющий собой порошок коричневого цвета с содержанием сухого вещества 92–97 %.

Для изучения влияния лигнина на время отверждения резольной фенолформальдегидной смолы отбирали навеску смолы в количестве 2 г и в нее вводили лигнин в количестве 10 масс. ч. от общей навески смолы. Полученную смесь перемешивали в ступке до получения однородной пасты. Для оценки кинетики отверждения фенолформальдегидных смол использовали дифференциально-сканирующий калориметр DSC 823e/700 производства компании Mettler Toledo [3]. Измерения тепловых потоков на анализаторе DSC (ДСК-измерения) проводились в закрытых стальных 120 мкл тиглях, способных выдержать давление паров до 2 МПа. Динамические ДСК-измерения проводили при скоростях нагрева 5, 10 и 20 °С/мин в диапазоне температур от 100 до 200 °С.

В результате было выявлено, что лигнин замедляет отверждение фенолформальдегидной смолы на ранних стадиях. Так, например, при одинаковой температуре в 100 °С отверждение фенолформальдегидной смолы с лигнином происходит значительно позднее и медленнее, что видно из графика, представленного на рис. 1.

При дальнейшем нагреве и при достижении более высоких температур разница во времени у стандартной фенолформальдегидной смолы и

смолы с лигнином становится менее значительной, что видно из графика, представленного на рис. 2.

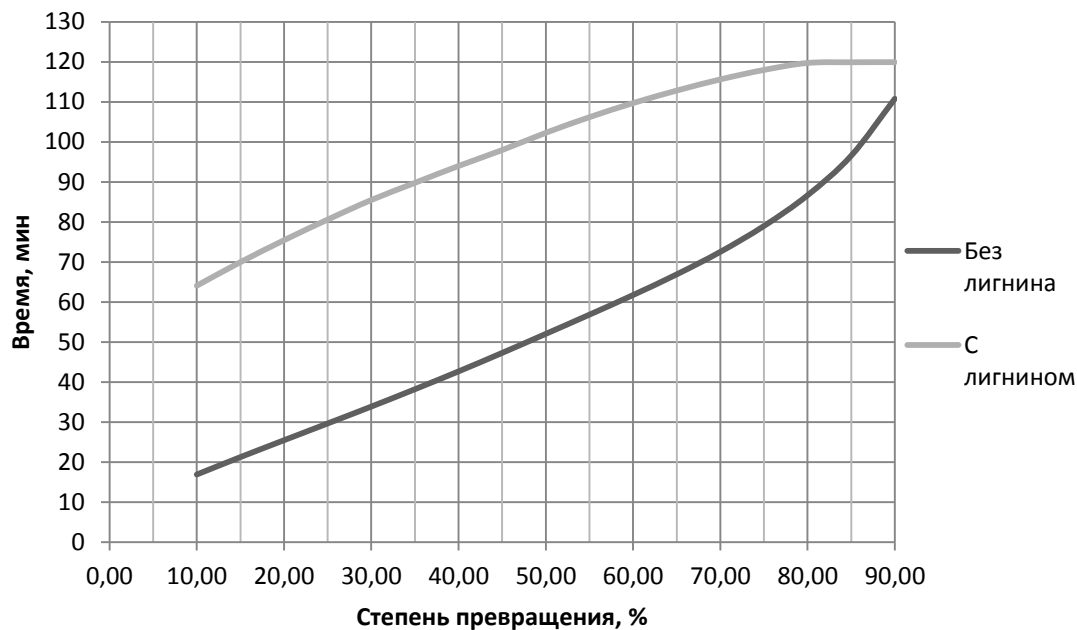


Рис. 1. Зависимость времени протекания реакции отверждения фенолформальдегидной смолы с добавлением лигнина и без него от степени превращения  $\alpha$  при температуре 100 °C

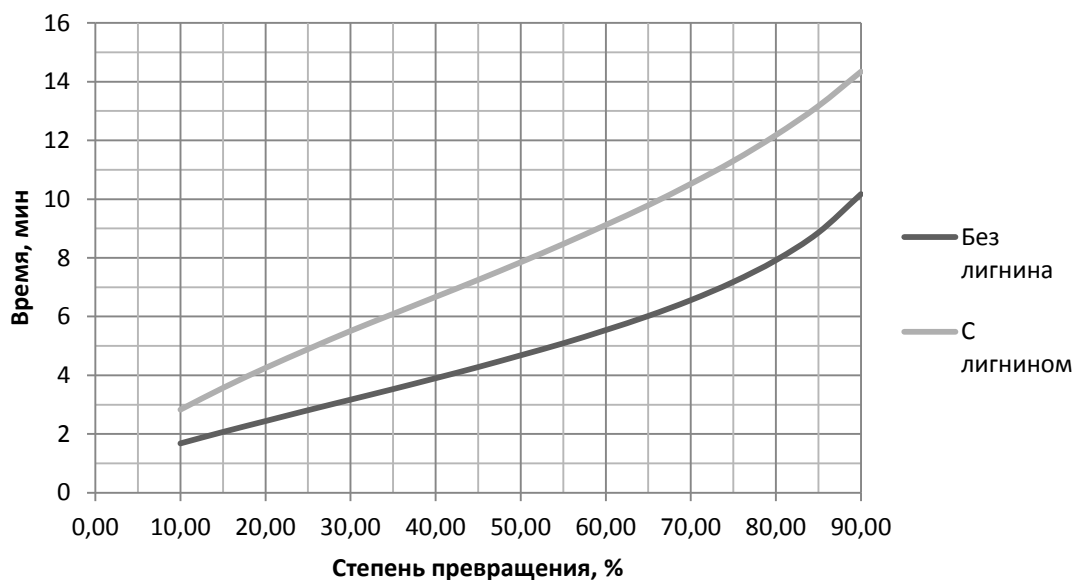


Рис. 2. Зависимость времени протекания реакции отверждения фенолформальдегидной смолы с добавлением лигнина и без него от степени превращения  $\alpha$  при температуре 150 °C

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что лигнин в значительной мере замедляет процесс отверждения фенолформальдегидной смолы на ранних стадиях при начальных температурах нагревания. Вероятнее всего, вводить лигнин необходимо на стадии синтеза фенолформальдегидной смолы, а также использовать ускорители процесса отверждения.

1. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) изучена зависимость от времени степени отверждения жидкой резольной фенолформальдегидной смолы с добавлением лигнина и без него.

2. Установлено, что введение лигнина в количестве 10 масс. ч. в состав резольной фенолформальдегидной смолы значительно увеличивает время её отверждения.

### *Библиографический список*

1. Lettner M., Hesser F., Hedeler B., Schwarzbauer T. Barriers and incentives for the use of lignin-based resins: Results of a comparative importance performance analysis// Journal of Cleaner Production. – 2020. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120520. – P. 1–11.

2. Варфоломеев А. А., Синегибская А. Д., Гоготов А. Ф. Фенолформальдегидные смолы модифицированные лигнином. Новые аспекты реакции // Химия растительного сырья. – 2009. – № 3. – С. 11–16.

3. Шишлов О. Ф., Баулина Н. С., Глухих В. В. Лигнинсодержащие фенолкарданолформальдегидные смолы для фанеры и древесностружечных плит // Деревообрабатывающая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 40–45.