



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. КИРОВА

ДРЕВЕСНЫЕ ПЛИТЫ И ФАНЕРА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА



Всероссийская
научно-практическая
конференция

17–18 марта 2021 года

Санкт-Петербург
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. КИРОВА



ДРЕВЕСНЫЕ ПЛИТЫ И ФАНЕРА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Всероссийская
научно-практическая конференция

17–18 марта 2021 года



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург

2021

УДК 674.817–41:674.816.3

ББК 37.133.6

Д73

Древесные плиты и фанера: теория и практика : Всерос. науч.-практ. конф., 17–18 марта 2021 г. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 154 с.

В сборнике материалов XXIV Всероссийской научно-практической конференции «Древесные плиты и фанера: теория и практика» рассматриваются аспекты образования древесных плит и фанеры, модифицирования свойств, расширения сырьевой базы и повышения их санитарно-гигиенической безопасности. Анализируются условия минимизации эмиссии формальдегида и получения плит пониженной горючести. Приводятся разработки по карбамидоформальдегидным связующим и клеям, парафиновым эмульсиям, бумаги для бумажно-слоистых пластиков. Сообщается о статистике производства древесных плит в Российской Федерации и Республике Беларусь.

Программный комитет

Председатель – доцент *И. А. Мельничук*, врио ректора СПбГЛТУ им. С. М. Кирова.

Сопредседатель – профессор *А. А. Леонович*, профессор кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов.

Члены комитета: *А. В. Васильев* – директор института химической переработки биомассы дерева и техносферной безопасности; *А. В. Шелоумов* – заведующий кафедрой технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов; *А. П. Шалашов* – генеральный директор ЗАО «Научно-исследовательский институт ВНИИДРЕВ».

Организационный комитет

Председатель: *О. Е. Шайтарова* – начальник отдела конгрессной деятельности.

Члены комитета: *А. А. Багаев* – доцент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов; *Л. П. Бичевая* – заведующая лабораторией кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов; *М. Г. Глазунова* – ассистент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов; *Д. В. Иванов* – старший преподаватель кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов; *Е. В. Чугунова* – ведущий специалист отдела конгрессной деятельности.

Ответственный редактор

Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный работник высшей школы РФ, лауреат премии Правительства Санкт-Петербурга, доктор технических наук, профессор *А. А. Леонович*.

Редакционный совет

А. А. Леонович – профессор кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С. М. Кирова; *М. Г. Глазунова* – ассистент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С. М. Кирова; *Д. В. Иванов* – старший преподаватель кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С. М. Кирова.

© Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет
имени С. М. Кирова, 2021

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2021

ISBN 978-5-7422-7091-1

Предисловие

Конференция, возникшая в конце 90-х годов, выросла до Международной благодаря широкой популярности среди специалистов Германии, Швеции, и др. стран, которые активно занимаются разработкой теории и технологии древесных плит. Долгое и продуктивное сотрудничество с учёными и инженерами Белоруссии, Латвии, Украины и др. воплотилось в активном обсуждении актуальных научных проблем. Совместные издания в трудах сборника по материалам регулярных конференций способствовали появлению новой тематики и прогрессу в технологии древесностружечных и древесноволокнистых плит и их новых модификации. Особенно тесные контакты устанавливались со специалистами Финляндии, спонсировавшими издание научной литературы и несколько раз принимавшими студентов на производственную практику. Благоприятное влияние на развитие отечественного производства древесных плит проявилось в интересе у посещаемости этих конференций, когда число участников превышало число функционирующих технологических линий нашей страны. Мероприятия оказались полностью рентабельны.

К сожалению общая ситуация в последние годы изменилась не в лучшую сторону. Предприятия несколько утратили интерес к развитию собственных разработок. Основное развитие отечественной промышленности базируется на зарубежных технологиях и оборудовании как на наиболее прогрессивных. В силу этого основное содержание нашей деятельности составляют научные аспекты и принципиально новые направления в придании эксплуатационно-важных свойств, таких как пониженная горючесть, повышенная водостойкость, санитарно-гигиеническая благонадёжность древесных плит. Центр тяжести научных исследований переместился почти исключительно на вузы страны. Это нашло отражение в содержании научных докладов данного сборника.

Разумеется, не потеряет значения практическая ценность обмена опытом по конкретным техническим вопросам, который всегда был важным притягательным моментом к участию в конференции. Публичная дискуссия позволит выявить наиболее актуальные вопросы научных исследований и дать коллективную оценку или иных разработок и предложений. Задача оргкомитета состоит в том, чтобы в новых условиях сохранить высокий научный уровень обсуждений, обеспечить творческую атмосферу и, как всегда, полезность встречи.

Профессор А.А. Леонович

О разработке огнезащищённых древесных плит

А.А. Леонович

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Рассматриваются основные вопросы, требующие учёта при разработке рецептуры и технологии древесноволокнистых материалов пониженной горючести.

Ключевые слова: антипирен, огнезащита, горючесть, древесные плиты, связующее, вариабельность кислотности среды, активация огнезащитного комплекса, термопревращения древесного вещества, прессование.

К созданию древесных плит пониженной горючести обращаются многие исследователи и разработчики, решая технологическую задачу по своему разумению. Имеющиеся на эту тему публикации в большинстве своём затрагивают отдельные аспекты проблемы. Наиболее часто сообщается о рецептуре древесных плит и свойствах получаемого материала. При определении физико-механических свойств опираются на действующие стандарты плит общего назначения, тогда как при огневых испытаниях ограничиваются произвольно выбранными методами. Этот выбор обусловлен тем, что затратные сертифицированные испытания не всем доступны в силу их дороговизны. Отсюда встречаются и произвольные термины типа «огнестойкие» плиты и даже можно встретить «негорючие» древесные плиты.

Под термином «огнезащищённые» применительно к древесным плитам в общем случае мы понимаем древесноплитные материалы пониженной и строго ограниченной горючести, если в результате направленного модифицирования они переходят (или могут переходить) в другую группу пожарной безопасности по результатам какого-либо известного метода. Многие из них стандартизированы: ГОСТ 12.1.044, ГОСТ 30244, ГОСТ 30402, ГОСТ 30444, ГОСТ Р 53292. Если древесные плиты успешно прошли испытания в шахтной печи, то степень пониженной горючести можно определить конкретно и термин огнезащищённые обоснованно заменить или дополнить по соответствующим результатам испытания на *умеренногорючие* или *слабогорючие* с указанием нормативного документа.

Во всех случаях необходимо сопровождать любое определение указанием метода, по которому древесные плиты рассматриваются как огнезащищённый материал. Так, классификационная характеристика для строительных материалов, если древесные плиты предполагается применять в качестве таковых, присваивается по результатам испытаний по НПБ 244-97 с определением группы горючести в шахтной печи, группы дымообразующей способности, класса опасности по токсичности продуктов горения, устанавливаемого затравкой животных (белых мышей).

Понятно, что такие испытания выполняются на сертифицированных установках в специализированных организациях, а для предоставления образцов нужно изготовить плиты с размером не менее 1 м. Для испытаний на горючесть нужны образцы 1000 × 190 мм. Только при перспективах промышленного производства и применения имеет смысл проводить такие испытания, если получаемые в разработке плиты будут использоваться в строительстве. Для мебели, тары и упаковки таких требований не установлено, исключение составляют особые специальные случаи.

Европейские испытания и классификация проводятся по методу SBI [11]. Фиксируется тепловой поток от экзотермы образца при воздействии внешнего пламени, образование дыма и распространение пламени по образцу. Образцы устанавливаются под прямым углом друг к другу, и в угол направляется пламя горелки. На установке в Институте исследования и развития лесных и древесных продуктов в Елгаве (<http://e-koks.lv/ru>) проведены испытания наших образцов, моделирующих наружные слои трёхслойных ДСП толщиной 5 мм с фосфорсодержащим антипиреном «Palonot» [6].

На рисунке приведено изменение плотности теплового потока для двух уровней обработки. Метод достаточно информативен. Изменения происходят в первые 300 с испытания. Дальнейшая выдержка до 600 с не сопровождается ни характерными экзотермическими эффектами, ни дымообразованием – процесс завершён.

На рисунке видны два разновеликих пика. Первый обусловлен реакцией на зажигание низкокипящих горючих соединений пиролиза древесины [7] в условиях, когда действие антипирена ещё не включилось в работу. На 40-й секунде процесс, соответствующий стадии горения, начинает угнетаться антипиреном. Вклад в огнезащитное действие его коррелирует с содержанием антипирена: выделяющийся тепловой поток, естественно, уменьшается с увеличением содержания антипирена.

Второй пик отвечает твёрдофазным реакциям горения твёрдого остатка под действием источника зажигания, поскольку его температура постоянна и составляет 780 °С. Однако основное огнезащитное действие в период от 40 до 300 с относится наглядно к эндотерме, зависящей от содержания антипирена. В отсутствие антипирена (контроль) начало первого пика получает сильное развитие, тепловой потоккратно возрастает, образуя один большой пик, и начинает спадать после выгорания горючих летучих продуктов.

Метод интересен не только наглядностью проявления механизма ог-

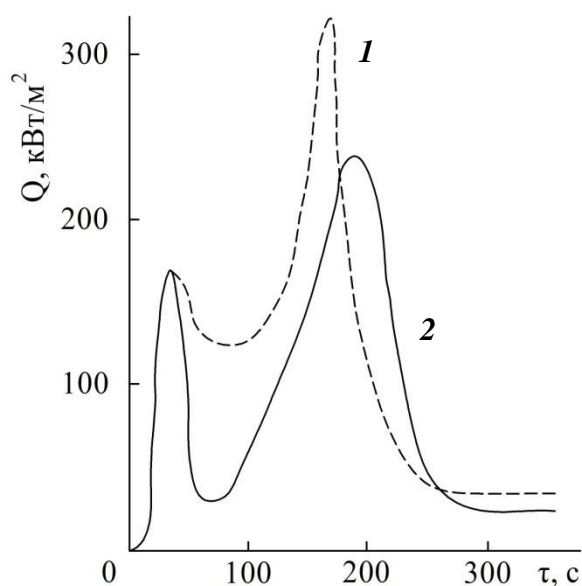


Рисунок. Плотность теплового потока при испытании образцов, содержащих абс. сух. антипирена в наружном слое ДСП: 1 – 10 %; 2 – 21 %

незащиты, но также и тому обстоятельству, если изготовитель предполагает поставлять древесные плиты за рубеж в качестве огнезащищённых. Для поставки продукции в рамках России следует пользоваться СНиП 21-01-97 с установлением упомянутых показателей, обозначаемых Г, Т и Д (горючесть, токсичность, дым).

Для разработчика на начальном этапе важно с минимальными затратами провести огневые испытания, чтобы иметь возможность выбрать подходящий антипирен и уже с ним решать технологические вопросы. Число антипиренов и их составов достаточно велико. Укажем на созданную информационно-поисковую систему поиска антипиренов для огнезащищённых антипиренов на основе выявленных за период в 20 лет 3000 изобретений [1]. Традиционными антипиренами для древесины [2, 10] являются фосфаты и сульфаты аммония, дополняемые различными соединениями: группировкой ББ (тетраборатом аммония, борной кислоты), группировкой ХМ (хром-медь), соединениями хлора (хлорид аммония, хлорпарафин, хлоркаучук), фторид аммония, силикатные краски и многие другие. Порядок, в котором перечислены вещества, отражает степень уменьшения эффективности в снижении горючести при равном удельном расходе. Однако, в различных разработках, как само сочетание, так и их доля в рецептурах композиции сильно варьируются, а приводимые оценки основываются на разных методах огневых испытаний. Кроме того, предлагаются другие вещества и побочные продукты их производства, где доля «работающих» на огнезащиту веществ достаточно мала или неопределенна.

Следовательно, полагаться при создании древесных плит пониженной горючести только на имеющиеся публикации, патенты и авторские свидетельства при выборе антипирена полностью нельзя. Хорошо экспериментально проверить и дополнить их теоретическими исследованиями механизма огнезащиты и более строгими работами на отдельных компонентах древесины.

Не вдаваясь в критические замечания и недостатки огневых труб в их вариантах и малых образцов типа ОСП, отметим, что мы воспользовались методом «полукруг» [5], рассмотренным в настоящем сборнике. Он прост и информативен для сравнительных испытаний антипиренов, позволяет подобрать нужный огнезащитный состав, аддукт или индивидуальное соединение, с которым (или которыми) следует решать поставленную задачу создания конкретного вида древесных плит с заданной степенью огнезащищённости. Особенно важно воспользоваться сочетаниями элементов на основе синергизма.

На следующем этапе важно установить возможности антипирена продуктивно включиться в процессы образования плиты. В частности, применительно к ДВП, был синтезирован амидофосфат КМ с избытком свободных аминогрупп и строго заданной температурой активации [9]. В результате слабокислый КМ оказал в начальной стадии прессования пластифицирующее действие; способствовал релаксации напряженных в деформированных при прессовании клеточных стенках; взаимодействуя с гидроксильными группами, в завершающей стадии прессования образовал сшитые структуры из фрагментов полисахаридов и лигнина с созданием нейтральной среды для долговечности плит. С повыше-

нием температуры до пожароопасных условий огнезащитный комплекс активировался с резким повышением кислотности, что обеспечивало огнезащиту согласно теории каталитической дегидратации. Такую функцию должен выполнять любой антипирен для плит, а именно активироваться при температуре T_a , превышающей температуру прессования $T_{пр}$, но ниже начала разложения древесного комплекса в условиях зажигания T_T . Условия согласованности температур следующие

$$T_{пр} < T_a < T_T$$

Вариабельность среды, пластификация древесного комплекса, реакционная способность, досрочное смещение температурного интервала активации ниже начала T_T для изменения механизма термораспада древесного комплекса – вот требования, которым должен соответствовать антипирен в своём действии. Для плит со связующим следует увязать кислотность с условиями отверждения [4].

Изменение механизма направлено на уменьшение выхода летучих продуктов, разбавление их парами реакционной воды и не поддерживающих горение соединений, образовавшихся из превращений антипирена (NH_3 , CO_2 , N_2), а также на развитие сетчатых структур с высокой долей углерода (коксообразование). Состав и количество летучих продуктов устанавливаются методом пиролитического газохроматографического анализа, температурный интервал активации как антипирена, так и древесного субстрата регистрируется при термическом анализе по кривым термогравиметрии на производной и кривым дифференциального термического анализа. Методы элементного анализа помогут понять степень сохранения или потери «рабочих» элементов антипирена – фосфора, азота, галогенов и др. – в препаратах на стадии изготовления плит и при огневых испытаниях [4].

При изучении механизма образования конкретных видов древесных плит следует обратить внимание, а лучше воспользоваться вариабельностью кислотности, когда на стадии горячего прессования слабокислая среда способствует лёгкому гидролизу древесного комплекса. Образующиеся низкомолекулярные продукты выступают пластификаторами, в процессе горячего прессования в силу чего создаются лучшие условия для контакта и адгезионного взаимодействия структурных единиц. Для ДВП сухого метода производства пластификация волокна способствует адгезии по диффузионной концепции, а также релаксации напряжений в прессуемой плите с уменьшением остаточных напряжений. В готовой плите для долговечности нужна нейтральная среда, а в условиях возгорания антипирен должен создавать кислую среду (около $pH\ 2 \pm 0,5$) для реакции каталитической дегидратации за счёт превращений при нагревании в строго определённом интервале повышения температуры.

Задача исследователя при создании огнезащищённых плит состоит в том, чтобы на основе научных знаний и явлений образования древесных плит (а они специфичны для разных видов) изыскать возможность включить в выбранный антипирен механизм межволоконного (или межчастичного) взаимодействия. В

качестве вероятных принципов модифицирования можно использовать некоторые, успешно опробованные для плит [3].

На стадии отработки технологии тоже имеется поле для творчества. В частности, простой вариант, связанный с исследованием рабочих растворов антипирена. Как правило, их концентрация не выше 50 %. После обработки таким раствором древесных частиц или волокон необходимо провести дополнительную сушку для удаления введённой воды, а это 20...30 %. Перешли от водного раствора антипирена к использованию геля, получив тем самым антипирен повышенной концентрации. Установив его совместимость со связующим, разбили обработку на две части: частично гель вводится в связующее, а частично (уже в меньшем по объёму количестве) в древесные частицы. Введение в связующее исключило надобность разбавления поставляемой товарной смолы водой до рабочей вязкости. В итоге отпала необходимость установки дополнительной сушилки. Значение этого приёма для внедрения технологии ДСП пониженной горючести на действующем производстве может оказаться критерияльным, поскольку площади при строительстве были использованы рационально и места для установки дополнительной сушилки может не оказаться, а к коренной перестройке изготовитель не готов, если можно решить иначе возникшую проблему.

Вместо заключения отметим, что *потребителю* важно знать не только то, что плиты «негорючи» – входят в группу Г1 или Г2, «не дымят» – малой дымообразующей способностью Д1, «не токсичны» – продукты горения малоопасны Т1 или умеренноопасны Т2, но важно понимать, почему эти качества наличествуют. Более того, его можно заинтересовать ответом на вопросы, на долго ли параметры плит сохранятся в конкретных условиях эксплуатации изделия или конструкции, возможен ли рециклинг.

Изготовителя заинтересуют вопросы, кто спонсор, какой эффект в производстве может быть получен при переходе на новую продукцию, какое оборудование потребуется, на чем возможно сэкономить, какова перспектива с объемом сбыта, кто разрабатывает проект и другую документацию и множество других вопросов.

Создатель огнезащищённых плит понимает социальную значимость проблемы, представляет научное содержание проекта и пути его выполнения. Стратегия создания многопланова. Кроме затронутого в статье, она включает всю типичную стратегию внедрения любой новой продукции, которая не сможет появиться на рынке только усилиями одного разработчика. Сам термин «внедрение» вместо «реализация» предполагает, что это происходит вопреки им, по крайней мере, с большим преодолением известных трудностей, особенно, когда проблема кажется преждевременной. Американцы говорят «кто придумал – тому доллар, кто сделал – тому десять, кто продал – тому сто». Тому, кто довел дело до широкой реализации.

И ещё добавлю, что для разработчиков, приступающих к созданию огнезащищённых древесных плит и полагающихся в значительной части на обыденное сознание и отрывистые сведения, полезно будет хотя бы прочесть лег-

ко доступный учебник для вузов [8] в котором использованы 137 опубликованных источников и документов по теме, и который авторы адресовали в том числе инженерно-техническим работникам отрасли.

Литература:

1. Блинов В.И., Александров Л.В., Комарова В.В. Создание специализированной информационно-поисковой системы по огнезащищённым полимерным материалам // VI Всесоюзная конф. по горению полимеров и созданию ограниченно горючих материалов. – М.: Наука, 1988. – С. 8-9.

2. Горшин С.Н. Консервирование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 366 с.

3. Леонович А.А. 21 принцип модифицирования древесных плит от Леоновича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 80 с.

4. Леонович А.А. Теория и практика изготовления огнезащищенных древесных плит: монография. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 176 с.

5. Леонович А.А., Глазунова М.Г. Простой метод сравнительной оценки эффективности антипиренов // Древесные плиты и фанера: теория и практика / Под. ред. А.А. Леоновича: 24-я Междунар. науч.-практ. конф., 17-18 марта 2021 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021. – С 4-7.

6. Леонович А.А., Свиридо Е.А., Захаров С.С. Использование гидроксипропилфосфонатной кислоты в снижении горючести древесностружечных плит // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 3 (43). – С. 111-115.

7. Леонович А.А., Холькин Ю.И., Болтовский В.С., Гридюшко Г.С., Эрдман М.Э. Исследование терморазложения фосфорсодержащих древесноволокнистых плит // Химия древесины. 1977. № 2. – С. 104-109.

8. Леонович А.А., Шелоумов А.В., Шпаковский В.Г. Создание древесных композиционных материалов пониженной горючести: монография / Под ред. А.А. Леоновича. – 2-е изд., испр. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 160 с.

9. Пат. 517491 РФ, МКИ⁶ В27 К3/52, В29 J5/00. Антипирен и способ его приготовления / А.А. Леонович. – № 2108036/30-15; Заявл. 21.02.75; Опубл. 05.03.93, Бюл. № 22.

10. Bassett G. Fire retardants // Timber Trades Journal. – 1987. – V. 341. № 5743, 17/1. – P. 23-32.

11. EN 13823. Method SBI [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/view/1130000019081608>, свободный. [Дата обращения – 11.01.21].

Состояние и перспективы развития производства древесных плит в России

А.П. Шалашов
АО «ВНИИДРЕВ»

Приводятся данные о состоянии развития производства древесных плит и фанеры в России. Оценивается влияние пандемии коронавируса COVID-19 на состояние подотрасли. Сообщается о проектах строительства новых предприятий.

Ключевые слова: древесные плиты, фанера, объёмы производства.

Объём выпуска древесных плит в России в последнее десятилетие стабильно увеличивался, однако в 2020 году из-за пандемии заметно сократился. Согласно данным Росстата, приведенным в табл. 1, выпуск древесностружечных плит (ДСП) и плит древесных из ориентированной стружки (OSB от англ. *oriented strand board*) в 2020 г. снизился по сравнению с 2019 г. на 1,5 % и составил 9858 тыс. м³, а выпуск древесноволокнистых плит (ДВП) уменьшился примерно на 7,1 % и составил 642 млн. усл. м². Выпуск фанеры упал на 3,2 % и составил 4014,9 тыс. м³.

Таблица 1 – Производство древесных плит в России (данные Росстата)

Вид плиты	Един. изм.	Объёмы по годам				
		2017	2018	2019	2020	% к 2019
ДСП и OSB	тыс. м ³	8370	9789	10012	9858	98,5
ДВП	млн. усл. м ²	597,9	649,9	691,3	642,5	92,9
Фанера	тыс. м ³	3758,8	4021,1	4146,2	4014,9	98,8

Распределение объёмов производства ДСП, ДВП и фанеры по федеральным округам приведено на рис. 1, 2 и 3 соответственно. На рисунках видно, что основные объёмы листовых древесных материалов производятся в трёх федеральных округах: Центральном, Северо-Западном и Приволжском.

Отрадно отметить, что предсказания о падении объёмов изготовления плит и фанеры в 2020 году на 30...50 % не сбылись. Сокращение производства ни в одном из значимых (по объёмам) округов не превысило 8 %. Однако ситуация со спросом и предложением на древесные плиты на рынке в течение 2020 года складывалась непросто, особенно с ДСП. Падение объёмов производства ДСП в марте 2020 года по сравнению с 2019 годом составило 9,4 %, в апреле – 33,0 %, мае – 36,4 %, в июне 10, 6 % соответственно.

Кроме пандемии на падение производства повлияло также и остановка завода «Русский ламинат» (примерно 6 % мощностей всех заводов в России). В то же время введение карантинных мер на всей территории страны вызвало повышенный спрос на мебель начиная с апреля 2020 года.

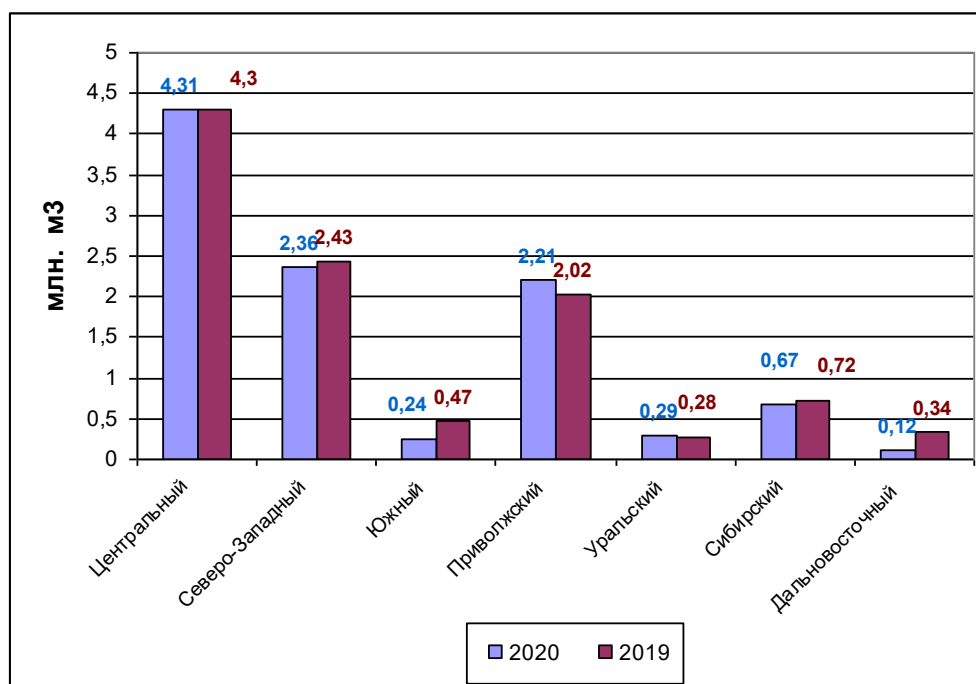


Рис. 1. Производство ДСП по федеральным округам в 2020 и 2019 гг.

Нахождение непрерывно в своих жилищах вызвало у людей естественное стремление улучшить окружающую обстановку. Деньги, в прежние годы идущие на туризм, образно говоря, перетекли в покупку мебели, а также в ремонт квартир и домов.

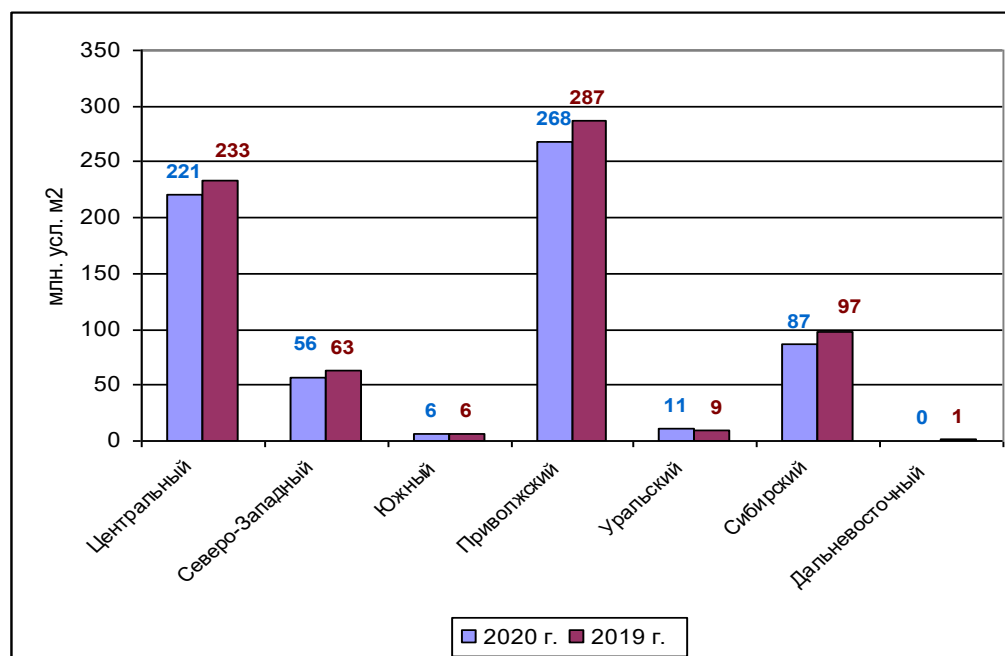


Рис. 2. Производство ДВП по федеральным округам в 2020 и 2019 гг.

С июля ежемесячное производство ДСП превысило показатели 2019 г., но погасить ажиотажный спрос не удалось и до конца года. Одновременно повысились цены и в России, и на зарубежных рынках, и некоторые производители увеличили поставки плит на экспорт. В начале весны традиционно снижается

спрос на мебель, и есть надежда, что спрос и предложение на ДСП стабилизируется. Рост цен более чем на 35 % вызвал разговоры о внесении ДСП в список наиболее важных товаров и о запрете их экспорта. При таком развитии событий может произойти затоваривание рынка, так как в России традиционно производят ДСП на 15...20 % больше, чем потребляют в текущем году.

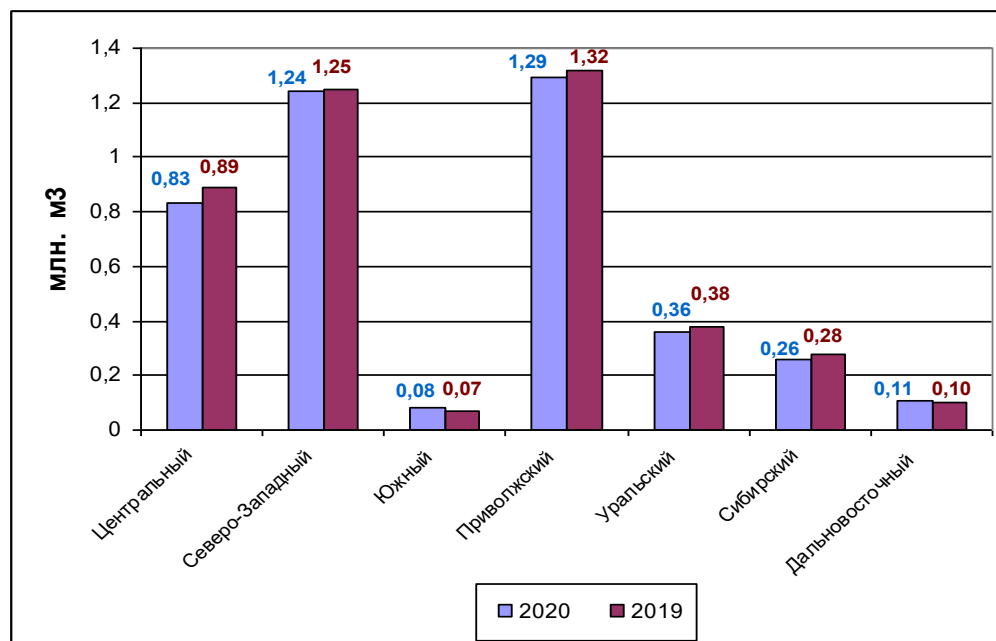


Рис. 3. Производство фанеры по федеральным округам в 2020 и 2019 гг.

Косвенным признаком стабильного развития производства древесных плит в России служат так же планы строительства новых плитных заводов и модернизации действующих, приведённые в «Перечне приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов», утверждённом приказом Минпромторга России от 23 мая 2019 года № 1708 [1].

Проекты из упомянутого «Перечня...» и литературных источников за 2020 год, содержащие строительство или модернизацию заводов древесноволокнистых плит средней плотности (MDF от англ. *medium density fiberboard*), ДСП и OSB приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Проекты строительства заводов древесных плит

Предприятие	Продукция	Мощность, тыс. м ³ /год	Год реализации
Проекты строительства заводов ДСП			
ООО «Увадрев-холдинг», Республика Удмуртия	ДСП	320	–
ООО «Томлесдрев», Томская область	ДСП	350	–
ООО «Гагаринский ФЗ», Смоленская область	Ламинированная ДСП	350	–
ООО СП «Аркаим», Хабаровский край	ДСП	140	–

Продолжение табл. 2

Предприятие	Продукция	Мощность, тыс. м ³ /год	Год реализации
Проекты строительства заводов ДСП			
ЗАО «Череповецкий ФМК», Вологодская область	Техническое перевооружение ДСП	до 208	–
Проекты строительства заводов OSB			
ООО «СВИСС КРОНО», Шарья, Костромская область	OSB	500	2023
ЗАО «Муром», Владимирская область	OSB	250	2022
ООО ДОК «Калевала», Республика Карелия	OSB	300	–
ООО «СВИСС КРОНО» Шарья, Костромская область	OSB	500	2023
Проекты строительства заводов MDF			
ООО «Лузалес» пос. Човью, Республика Коми	MDF	260	2023
ООО «Кастамону» Елабуга, Республика Татарстан	MDF	третья очередь (до 3200)	2021
АО «РусКитИн-вест», Асино, Томская область	MDF	200	2020
«Жешартский ЛПК», Республика Коми	Техническое перевооружение MDF	150	–
ООО «Кроношпан Калуга», Калужская область	MDF	313	2025
ООО «Римбунан Хиджау», Хабаровский край	MDF	150	–
ОАО «Игоревский ДОК», Смоленская обл.	MDF	400	–

Количество заявленных в табл. 2 проектов обнадёживает, однако только два из них (АО «Муром» и ООО «Кроностар») имеют контракты на поставку оборудования с фирмами «Диффенбахер» и «Зимпелькамп», а по некоторым переговоры ещё продолжаются.

Литература:

1. Минпромторг России. Перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!perechen_prioritetnyh_investicionnyh_proektov_v_oblasti_osvoeniya_lesov, свободный. [Дата обращения – 20.02.2021].

Анализ развития деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь

*А.Н. Волкович¹, И.М. Грошев², Ю.В. Дойлин³, А.А. Кожемяко³,
Е.В. Дубоделова⁴*

¹Беллесбумпром,

²Витебский государственный технологический университет

³ОАО «Витебскдрев»

⁴Белорусский государственный технологический университет

Рассматриваются современное состояние и направления развития деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь в соответствии с основными программными документами.

Ключевые слова: государственная программа «Белорусский лес», концерн «Беллесбумпром», лесопромышленный сектор Республики Беларусь.

Промышленная политика лесопромышленного сектора Республики Беларусь в целом строится на наличии собственных древесных ресурсов и их эффективном использовании внутри страны. При этом стратегической целью является переработка имеющегося запаса сырья на предприятиях в Беларуси и обеспечение реализации продукции с высокой добавленной стоимостью. Для достижения цели введён запрет экспорта древесины в круглом виде, что позволяет государству принимать решения, направленные на рациональное и эффективное использование древесного сырья. Площадь лесов Беларуси 9,6 млн. га, т.е. лесистость республики составляет 39,9 %. Запас древесины на корню 1,8 млрд. м³. Ежегодно прирастает 31 млн. га. Благодаря планомерно проводимой политике рационального лесопользования объёмы заготовок древесины выросли с 15,5 млн. м³ в 2010 г. до 26,9 млн. м³ в 2019 г., что обеспечивает потребности в сырье более 2,5 тысяч лесопромышленных компаний. Нарращивание объёмов производства и экспорта (в том числе за счёт комплексной модернизации деревообрабатывающей отрасли республики) позволило увеличить вклад лесопромышленного комплекса в ВВП страны с 2,4 % в 2015 г. до 4,6 % в 2019 г.

Экспорт лесного комплекса вырос в два раза до \$ 2,3 млрд.; его доля в общем объёме белорусского экспорта увеличилась в 1,6 раза – с 4,3 % до 6,9 %. Поставки за рубеж древесных плит увеличились в два раза – до \$ 529 млн.; мебели в 1,7 раза – до \$ 572 млн, продукции целлюлозно-бумажного производства в 2,2 раза – до \$ 268 млн.

Почти \$ 600 млн. в этом объёме составляет экспорт продукции концерна «Беллесбумпром», который является крупнейшим переработчиком древесины в стране. В состав концерна входит порядка 50 крупных предприятий.

Деревообрабатывающая отрасль концерна представлена производствами: лесо- и пиломатериалов, погонажных изделий, фанеры, спичек, древесных плит (в т.ч. напольных ламинированных покрытий), строительных конструкций, окон, дверей, домов и древесного топлива. Доля деревообработки в общем объёме производства концерна составляет – 41 %. Благодаря модернизации дере-

вообрабатывающих предприятий, осуществлявшейся с 2008 г., ассортимент продукции организаций концерна увеличился вдвое, он охватывает более 80 видов изделий. Практически вся номенклатура выпускаемых товаров является как импортозамещающей, так и экспортоориентированной.

Предприятия концерна консолидировано являются крупнейшим производителем мебели в республике. Более 70 % мебели поставляется на экспорт. Мебель из Беларуси поставляется в Италию, Германию, Францию, Чехию, Великобританию, Бельгию, Австрию, США и другие страны. Ввод в эксплуатацию модернизированных деревообрабатывающих комплексов значительно расширил возможности производителей мебели. За счёт отечественных древесных плит мебельные предприятия выпускают экономичную и востребованную на рынке мебель. Помимо непосредственно мебельных предприятий, мебельное производство создано в ОАО «Ивацевичдрев», в ОАО «Речицадрев», ОАО «Гомельдрев». Развитие получили и небольшие мебельные компании. В Беларуси за последние годы количество производителей мебели выросло в 2 раза и сегодня их уже более 1200.

Объём производства на предприятиях концерна, прошедших модернизацию, с 2010 г. по 2018 г. увеличился в 12,4 раза, а глубина переработки древесины на отдельных предприятиях концерна к 2020 г. достигла 93 %. С учётом того, что и древесным отходам при производстве продукции на предприятиях концерна находится применение (в качестве местных видов топлива), можно говорить о практически полностью безотходном производстве.

Две трети продукции предприятий деревообработки поставляется на экспорт. По удельному весу в товарной структуре экспорта безусловным лидером являются мебель (21,4 %) и древесноволокнистые плиты (17,7 %). Далее идут фанера (11,1 %) и древесностружечные плиты (около 10 %).

Экспортная география включает 69 стран. Основные рынки сбыта: Россия, Польша, Украина, Китай (почти 17 %), Литва, Германия. Стоит отметить, что наибольшую рентабельность при экспорте продукции концерн получает на рынках соседних стран. «Длинная» логистика, как, к примеру, в Китай, рентабельность серьёзно снижает.

Рост производства и продаж продукции свидетельствуют о правильности выбранных направлений развития и выполнении основной цели и задач Государственной программы «Белорусский лес» на 2016 – 2020 гг.

Государственная программа «Белорусский лес» на 2021 – 2025 гг. сохраняет преемственность целей и задач действующей программы, в том числе в подпрограмме «Деревообрабатывающая промышленность».

Стратегические цели развития отрасли на период до 2025 года:

- создание устойчивого, экономически эффективного, конкурентоспособного, целлюлозно-бумажного, деревообрабатывающего и мебельного комплекса;
- производство продукции, соответствующей по качественным параметрам мировым стандартам;
- наращивание экспортного потенциала;

- создание высокопроизводительных рабочих мест;

При этом среди основных приоритетов развития отрасли можно выделить:

- сохранение и укрепление трудовых коллективов;
- стимулирование инвестиционной активности;
- повышение эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новых видов продукции, стандартизация наиболее успешных решений;
- формирование «зелёной» экономики, базирующейся на энергосбережении, внедрении экологичных и эффективных технологий производства.

Литература:

1. Государственная программа "Белорусский лес" НА 2016–2020 гг. (в ред. постановлений Совмина от 20.12.2016 N 1048, от 20.12.2017 N 975). [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://normativka.by/lib/document/500213696>, свободный. [Дата обращения – 20.02.2021].

2. Программа развития деревообрабатывающего и мебельного производства концерна «Беллесбумпром» на период до 2025 года. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://bellesbumprom.by/ru/dokumenty/programmy>, свободный. [Дата обращения – 14.02.2021].

УДК 658.562; 674.815

Подготовка предприятий древесных плит к выпуску продукции класса эмиссии формальдегида E0,5 по европейским требованиям

В.А. Бардонов, И.В. Бардонов

ООО «Лессерттика»

Рассматриваются аспекты контроля токсичности фанеры и древесных плит. Сообщается о сходствах и различиях отечественных и международных стандартов, регламентирующих уровень эмиссии формальдегида и способы испытания продукции. Раскрывается история вопроса. Сообщается об услугах, предоставляемых ООО «Лессерттика», по определению выделения формальдегида из фанеры и древесных плит.

Ключевые слова: токсичность древесных плит, токсичность фанеры, сертификация продукции, стандарты на древесные плиты.

В адрес предприятий по производству фанеры и древесных плит в последнее время активно поступает от европейских потребителей информация о готовности с 1 января 2020 года, согласно требований DIN EN 16516:2018, EN 717-1, ASTM D 6007, поставлять фанеру и древесные плиты класса эмиссии формальдегида E0,5, что в два раза ниже нормы класса E1, равной 0,124 мг/м³ по требованиям DIN EN 13986, и составляет не более 0,05 ppm, т.е 0,062 мг/м³.

Фанерным и плитным предприятиям необходимо исходить из того, что если ранее европейские потребители, через нотифицированные центры в ЕС, устанавливали норму выделения формальдегида, определённого методом газового анализа по EN 717-2, ГОСТ 32155, в пределах от 0,5 до 0,7 мг/м²·ч, то с 1 января 2020 года эта норма устанавливается конкретно для каждого фанерного и плитного предприятия в пределах от 0,2 до 0,4 мг/м²·ч. Многим предприятиям без проведения ряда мероприятий технологического характера, подбора и введения новых клеевых систем, выполнить эти требования будет проблематично.

Специалисты нескольких фанерных предприятий обратились в аккредитованную испытательную лабораторию древесных плит и фанеры ООО «Лессертика» с просьбой оказать техническую помощь в переходе на новый норматив выделения формальдегида из фанеры класса эмиссии E0,5.

Приведём краткую справку из истории вопроса. Особое внимание к эмиссии формальдегида из древесных плитных материалов (ДПМ) было обращено на мировом уровне после опубликования официальной информации о выделении в окружающую среду штата Калифорния (США) более 960 т формальдегида в год. Доля выделения формальдегида из ДПМ в указанном объёме велика, т.к. в этом штате, как и в других штатах Америки, ДПМ имеют широкое применение в строительстве и других отраслях. Эта проблема возникла в 2008 г. а уже 7 июля 2010 г. был принят закон «Стандарты, ограничивающие эмиссию формальдегида из древесных композиционных материалов». Вместе с нормами ограничения выделения формальдегида в этом законе впервые введены понятия, характеризующие различные типы связующих (т.н. клеевых систем) по содержанию в них формальдегида. В указанном законе нормы выделения формальдегида из ДПМ ужесточены в 2 раза, а также предусмотрено дальнейшее их ужесточение, практически ежегодно. Так как, каждый год в мире производится порядка 10 млн. т формальдегида. И приблизительно 70 % – это производство карбамидоформальдегидных, фенолформальдегидных и меламиноформальдегидных смол (соответственно КФС, ФФС и МФС), которые используются в качестве основных компонентов клеев при производстве фанеры и связующих при производстве древесных плит. Проблема миграции формальдегида в первую очередь относится к КФС. Формальдегид высвобождается из фанеры и древесных плит во время производства при горячем прессовании. Выделение большей части непрореагировавшего формальдегида происходит сразу во время производственного процесса. На этой стадии наиболее подвержены риску отравления работники производства. Но на этом проблема не исчезает. Дело в том, что полимерная смола, подвергаясь гидролитическому разложению, может выделять формальдегид в течение не определенного периода времени. Как следствие люди подвергаются воздействию малых доз формальдегида, используя продукцию из древесных плит и фанеры. В этом и есть основная проблема.

Основным методом определения формальдегида в США и в остальном мире является большая климатическая камера объёмом более 22 м³ согласно ASTM E 1333-96 (2002), или камера объёмом 1 м³ и менее по ASTM D 6007 (2004), EN 717-1:2004, ГОСТ 30255–2014. При этом единицей измерения выде-

ленного формальдегида при камерном методе принята единица объёмного соотношения – ppm, т.е. одна миллионная часть на единицу объёма воздуха. Кстати, в России приняты единицы, характеризующие массовую долю вредных веществ на единицу объёма воздуха – 1 мг/м³. При нормальных условиях эксплуатации ДПМ соотношение этих единиц имеет вид: 1 ppm = 1,24 мг/м³.

В США установлены нормативы выделения формальдегида из ДПМ в зависимости от применяемых клеевых систем. Так, для фанеры – на безформальдегидных связующих, или при использовании клеевых систем с ультранизким содержанием формальдегида, норма выделения формальдегида не более 0,05 ppm.

В США с 12 декабря 2017 г., в развитие системы CARB-регулирование, вводится Заключительное правило в р. 6 TSCA «Закона о контроле над токсичными веществами» с целью сократить выбросы формальдегида из древесных материалов. В связи с этим «Агентство по охране окружающей среды США» в этот период утвердило новую систему сертификации древесных композиционных материалов – EPA, которая распространяет систему CARB (штата Калифорния) на все 50 штатов США. Система EPA значительно ужесточает требования к сертификации древесных плит и фанеры. Для участия в реализации этой системы США проводят аккредитацию Органов по сертификации и Испытательных лабораторий Стран ЕС, которые оказывают такие услуги и фанерным предприятиям Российской Федерации. Поэтому, некоторые страны ЕС требуют от РФ с начала 2020 года поставок фанеры по классу эмиссии формальдегида E0,5.

Для определения эмиссии формальдегида из древесных плит и фанеры испытательная лаборатория ООО «Лессерика» оснащена:

- климатическими камерами малого объёма – емкостью 1000 л., 500 л и 225 л по EN 717-1, ASTM D 6007:2004, ГОСТ 30255–2014;
- прибором газового анализа двухкамерным по EN 717-2, ИСО 12460-3:2008, ГОСТ 32155–2013;
- перфоратором EN 120, ИСО 12460-5:2008, ГОСТ 27678–2014.

Для поставки древесных плит и фанеры на европейский рынок класса эмиссии формальдегида E0,5 фанерному предприятию, при участии ООО «Лессерика», необходимо:

- приобрести и установить климатическую камеру для определения выделения формальдегида из фанеры и древесных плит, например, камеру климатическую объёмом 0,225 м³ по ASTM D 6007 (2004), EN 717-1:2004, ГОСТ 30255–2018;
- приобрести и установить камеру кондиционирования образцов фанеры и древесных плит перед испытаниями по требованиям ГОСТ 10633–2018, ГОСТ 9621–72, EN 13986:2015, например, камеру объёмом 1 м³ ;
- установить зависимость результатов выделения формальдегида из образцов фанеры между методом газового анализа и камерным методом, при условии, что фактическое значение выделения формальдегида при камерном методе, равное 0,05 ppm (0,062 мг/м³), будет соответствовать фактическому значе-

нию выделения формальдегида для метода газового анализа – равному в пределах 0,2...0,4 мг/м²·ч и установить корреляционную зависимость;

– из трёх листов полноформатной фанеры выпилить по три образца размером (500 × 500) мм и по три образца размером (400 × 50) мм, провести в испытательной лаборатории ООО «Лессертика» их кондиционирование, а затем испытания в климатической камере и в приборе газового анализа, предварительно осуществив герметизацию кромок, затем произвести математическую обработку данных для установления коэффициента корреляции между данными методами определения формальдегида.

– провести в испытательной лаборатории ООО «Лессертика» сравнительные испытания выделения формальдегида из типовых образцов фанеры и/или древесных плит по требованиям EN 16516:2018 и требованиям EN 717-1 по запросам потребителей стран ЕС и США.

ООО «Лессертика» предлагает услуги по выполнению данной работы, включая поставку камеры по определению выделения формальдегида, камеры кондиционирования, прибора газового анализа – до заключения предприятием контракта на поставку фанеры в страны ЕС, что может исключить значительные финансовые и моральные риски.

В случае заинтересованности в нашем предложении будет представлена подробная методика выполнения исследований, стоимость которых в 5...7 раз ниже стоимости услуг аналогичных европейских лабораторий, а результат аналогичный.

Особенность требований EN 16516:2018 заключается в проведении испытаний по определению выделения формальдегида из фанеры и древесных плит камерным методом для класса E1 с нормой 0,1 ppm или 0,124 мг/ м³. При этом, предусматриваются следующие условия для проведения испытаний: t = 23 °C; ω = 50 %; A (насыщенность камеры образцами) = 1,8 м²/ м³; L (скорость воздухообмена в камере) = 0,5 объёма воздуха, прокачиваемого через камеру, к рабочему объёму камеры в час.

УДК 674

Особенности приёмочного контроля древесных плит с использованием европейских стандартов

И.М. Грошев¹, Е.В. Дубоделова², А.А. Кожемяко³, Ю.В. Толстик⁴

¹Витебский государственный технологический университет

²Белорусский государственный технологический университет

³ОАО «Витебскдрев»

⁴УП БР-Консалт

Рассмотрены действующие с 2019 г. ограничения на ввоз древесных плит в Германию и страны ЕС, с точки зрения содержания в них формальдегида. Высказаны рекомендации по применению комплекса действующих на террито-

рии ЕС стандартов, распространяющихся на древесные плиты, методы контроля их качества и безопасности в системе производственного контроля производителей.

Ключевые слова: древесные плиты, технические требования, международные стандарты, формальдегид.

Укрепление позиции стран ЕАЭС на рынках древесных плит Европы и Северной Америки требует применения стандартов американского международного общества по испытанию материалов ASTM и европейских норм EN Европейского комитета по стандартизации CEN.

На древесностружечные плиты, обращаемые на территории ЕС, распространяются технические требования, установленные в EN 312 (в зависимости от типа), EN 12871 (для плит, несущих нагрузку, используемых в конструкции полов, стен, крыш), EN 13986 (для плит, используемых в строительстве). На древесностружечные плиты с ориентированными древесными частицами (ориентированно-стружечная плита (ОСП) или на английском *oriented strand board* (OSB)) распространяются требования EN 300.

На территории ЕС применительно к древесноволокнистым плитам действует EN 622 в 5 частях. Общие требования к древесноволокнистым плитам изложены в EN 622-1; требования к твёрдым (НВ) – EN 622-2; полутвёрдым (МВ) – EN 622-3; к пористым или мягким (SB) – EN 622-4; к плитам, изготовленным по сухому способу (MDF) – EN 622-5; для плит, применяемых в строительстве – EN 13986; для плит, облицованных меламиновыми пленками, применяемыми внутри помещений – EN 14322. Части 2–5 EN 622 возведены в статус национальных стандартов республики Беларусь [1].

Стандарты на методы проведения испытаний для плит, обращаемых на территории ЕС, позволяют оценить соответствие технических требований вышеназванным стандартам и ограничить отклонения от: прямолинейности и перпендикулярности кромок (EN 324-2), плотности (EN 323), номинальных размеров (EN 324-1), влажности (EN 322), содержания формальдегида в плите и выделения его в воздух (ISO 12460 по методу экстрагирования, EN 717-1 – по камерному методу, EN 717-2 – по методу газового анализа), набухания по толщине (EN 317), прочности на поперечное растяжение (внутренняя связь) и при растяжении перпендикулярно плоскостям плиты (EN 319), модуля упругости при изгибе (EN 310), влагостойкости при циклических испытаниях и испытаниях кипячением (EN 321 и 1087-1). Для установления названных показателей проводят испытания образцов, отобранных и подготовленных в соответствии с EN 312, 326-1, 326-2, 326-3 [1].

По мнению холдинга организаций деревообрабатывающей промышленности «BORWOOD» Республики Беларусь для производителей древесных плит важно наличие экологических сертификатов соответствия CARB или EPATPC (TSCA), CARB-ИКЕА. Эти сертификаты подтверждают соответствие требованиям Раздела VI Закона «О контроле над токсическими веществами (TSCA)» Управления охраны окружающей среды США (EPA) и регламента CARB (Ка-

лифорнийского совета по воздушным ресурсам), устанавливающего пределы выбросов формальдегида для древесных плит.

Рассмотрим действующие с 2019 г. ограничения на ввоз древесных плит в Германию и страны ЕС, с точки зрения содержания в них формальдегида, согласно Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens und über die Abgabe bestimmter Stoffe, Gemische und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung – Chem Verbots V) и Bekanntmachung analytischer Verfahren für Probenahmen und Untersuchungen für die in Anlage 1 der Chemikalien-Verbotsverordnung:

1. Информация о запрете из «Постановления о запрете химических веществ» (Приложение 1, §3) приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Разъяснения по запрету из «Постановления о запрете химических веществ» для химиката П. 1 формальдегид

Запреты	Исключения
(1) древесные материалы с покрытием и без покрытия (ДСП, столярные плиты, фанера и ДВП) не должны быть размещены на рынке, если концентрации формальдегида в воздухе помещения для испытаний, вызванная древесным материалом превышает 0,1 мг/м ³ (ppm).	Запрет (1) в колонке 2 не распространяется на плиты, которые размещаются на рынке с единственной целью нанесения покрытия при условии, что оно обеспечит эффект, указанный в колонке 2 (1) после нанесения покрытия.
(2) мебель, содержащая древесные материалы, которые не отвечают требованиям пункта 1 не должна быть размещена на рынке. Однако пункт 1, также должен быть выполнен, если мебель соответствует указанному в пункте 1 значению концентрации с полной проверкой изделия.	

2. Необходимость проведения контрольного (первого испытания) методом DIN EN 16516 в аккредитованной лаборатории с установлением корреляции с методом заводского производственного контроля. Периодичность подтверждений не уточнена нормативными документами. Информация из «Уведомление об аналитических процедурах отбора проб и испытаний» приведена в табл. 2.

Таблица 2 – Разъяснения по «Уведомлению об аналитических процедурах отбора проб и испытаний» по параметру П. 1 формальдегид для древесных материалов с покрытием и без

Проведение испытания	Метод
Контрольный метод: измерение выбросов в испытательной камере;	DIN EN 16516
дополнительный метод: измерение выбросов в испытательной камере; Равновесная концентрация должна быть умножена на коэффициент 2,0 (полученное значение после применения коэффициента не должно превышать 0,1 см ³ /м ³ (ppm))	DIN EN 717-1
Производные методы пригодны только для контроля производства. Для этой цели должна быть определена корреляция производственного метода с контрольным методом	например, EN ISO 12460-3

3. Контрольный метод испытания формальдегида EN 16516. Оценка выброса опасных веществ. Определение выбросов в воздух помещений (CEN, 2017), который отличается от используемого сейчас контрольного метода

EN 717-1 (Строительные изделия. Оценка выброса опасных веществ). Определение выбросов в воздух помещений (CEN, 2017). Измеренные концентрации формальдегида должны быть скорректированы в два раза, чтобы привести результаты в соответствие с EN 16516. Поправочный коэффициент, равный двум, фактически означает половину допустимого предела выбросов в текущем определении E1. Это означает, что некоторые древесные плиты, которые будут классифицироваться как E1 при испытаниях в соответствии с EN 717-1, могут иметь значение предела выше выбросов E1 при испытаниях в соответствии с EN 16516 (когда к результатам теста по EN 717-1 применяется поправочный коэффициент два) и не соответствовать новым требованиям.

Для поставщиков IKEA разработана и утверждена инструкция IOS-MAT-0181, которая содержит обязательные дополнительные требования на основе новых ограничений к поставляемым древесным плитам. Получение данных сертификатов невозможно без контроля точности проведения на предприятии испытаний эмиссии формальдегида; её оценки требованиям стандартов и инструкций, независимых проверок и инспекций, а также контроля программы гарантии качества изготовителя органом по сертификации.

На территории ЕАЭС действуют стандарты системы ГОСТ, которые не принимаются во внимание нотифицированными органами по сертификации ЕС, так как не гармонизированы с требованиями европейских норм, в том числе в части испытаний продукции. Аналогичная ситуация наблюдается при прохождении процедуры в целях получения сертификатов CARB или EPATPC (TSCA), CARB-/IKEA. Поэтому производители плитной продукции указанных стран работают по техническим условиям. Для примера, в Республике Беларусь NF EN 622-5 «Плиты древесноволокнистые. Технические условия. Часть 5. Требования к плитам, полученным сухим способом (MDF)» возведён в статус национального стандарта. Опыт его применения производителями плитной продукции Республики Беларусь положителен, о чём свидетельствует наличие сертификатов соответствия как Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь, так и CARB или EPATPC (TSCA), CARB-/IKEA.

Таким образом, целесообразно возвести в статус межгосударственных стандартов европейские нормы, устанавливающие требования к плитной продукции и методам её испытаний, Евро-Азийским Советом по стандартизации, метрологии и сертификации. Республика Беларусь располагает опытом гармонизации европейских норм и в настоящее время на её территории функционирует национальный технический комитет ТК ВУ 39 «Мебель и деревообработка (в части, не относящейся к строительной продукции)». Для устранения разночтений по качеству и безопасности выпускаемой продукции, методы контроля, изложенные в рассматриваемых нами стандартах, необходимо осваивать производителям древесных плит и использовать в приёмочном контроле.

Литература:

1. Божелко И.К., Янушкевич А.А., Дубоделова Е.В. Технология деревообработки: учеб.-метод. пособие. – Минск.: БГТУ, 2019. – 199 с.

Опыт проведения дистанционного обучения и повышения квалификации специалистов заводских лабораторий

В.А. Бардонов, Б.К. Иванов, С.И. Тупикин

ООО «Лессертика»

Сообщается об услугах, оказываемых ООО «Лессертика» по обучению специалистов предприятий современным способам определения содержания / выделения формальдегида из фанеры и древесных плит. Раскрывается специфика освоения учебных программ в условиях дистанционной работы.

Ключевые слова: повышение квалификации, дистанционное обучение, эмиссия формальдегида.

В соответствии с Федеральным законом от 08.12.2020 г. «Об удалённой и дистанционной работе» ООО «Лессертика» накопило положительный опыт проведения дистанционного обучения и аттестации специалистов предприятий по эксплуатации: прибора газового анализа в соответствии с требованиями ГОСТ 32155–2013, EN 717-2:2009, ISO 12460-3; климатической камеры по определению выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из древесных материалов и мебели по ГОСТ 30255–2014, EN 717-1:2009, ISO 12460-1; перфоратора по ГОСТ 27678–2014, EN 120, ISO 12460-5; климатической камеры кондиционирования образцов фанеры и древесных плит по ГОСТ 9621–72, ГОСТ 10633–2018, EN 13986:2015. Такое обучение проводится для специалистов, у которых срок действия сертификата компетентности ограничен 2021 и / или 2022 гг., и которые намерены повысить свою квалификацию. ООО «Лессертика» планирует продолжить с 2021 г. и очное обучение специалистов предприятий с выдачей Свидетельства о повышении квалификации.

Допускается обучение дистанционно специалистов предприятий впервые, при условии, что на данном предприятии имеется аттестованный специалист, владеющий навыками эксплуатации указанного лабораторного оборудования и способный передать вновь обучаемому специалисту опыт эксплуатации данного оборудования на практике.

Для реализации такой методики обучения ООО «Лессертика», как аккредитованные Испытательная лаборатория древесных плит и фанеры и Орган по сертификации лесопромышленной продукции, разработчик более 35 ГОСТов на продукцию деревообработки и методы испытаний, а также изготовитель и поставщик указанного лабораторного оборудования, представляет специалисту предприятия:

- комплект обновлённых Методических рекомендаций по эксплуатации лабораторного оборудования;
- программы и методики аттестации лабораторного оборудования;
- ГОСТы, ТУ на требования к лабораторному оборудованию;

– не менее пяти научных статей, отражающих современное состояние испытаний, сертификации и декларирования фанеры и древесных плит на предприятиях отрасли;

– новую «Систему добровольной сертификации лесопромышленной продукции – ЛесСерт», рег. № РОСС RU 32200.04ЛСЕ0 от 11 февраля 2020 года;

– анкету-вопросник по теме обучения.

После изучения представленных материалов, специалист предприятия получает необходимые консультации по тел. (48438) 2-15-36, 8 (910) 913-22-95 у экспертов ООО «Лессертика» и затем отвечает на вопросы Анкеты, которую передаёт в ООО «Лессертика».

Срок проведения дистанционного обучения (консультаций) – до 2-х месяцев, стоимость услуги за одного специалиста указана в Программе.

По итогам такой работы за ноябрь-декабрь 2020 года нами было подготовлено и аттестовано 18 специалистов от восьми предприятий.

Учитывая пожелания предприятий отрасли, ООО «Лессертика» расширило спектр обучающих Программ и видов оказания услуг (таблица).

По мнению экспертов Учебного центра дистанционного повышения квалификации «АЛЬФА-Образование» (г. Москва), предприятия, которые используют систему дистанционного обучения, экономят 50 % времени своих работников и 20 % затрат на обучение за счёт обучения и сертификацию специалистов без отрыва от производства.

Таблица – Перечень услуг, оказываемых ООО «Лессертика»

№ п/п	Наименование Программы, видов услуг	Стоимость, тыс. руб.
1	Эксплуатация прибора газового анализа (72 ч.)	20.0
2	Эксплуатация климатической камеры объёмом 0,5 м ³ для определения эмиссии формальдегида и других веществ (72 ч.)	20.0
3	Эксплуатация перфоратора (72 ч.)	20.0
4	Эксплуатация камеры объёмом 1 м ³ для кондиционирования образцов древесных материалов (36 ч.)	15.0
5	Правила проведения физико-механических испытаний фанеры по требованиям ГОСТ и стандартов EN (36 ч.)	15.0
6	Правила проведения физико-механических испытаний древесных плит по требованиям ГОСТ и стандартов EN (36 ч.)	15.0
7	Разработка и передача комплекта методических документов (не менее 15) и карты процессов (не менее 7) Системы менеджмента качества предприятия по требованиям ГОСТ Р ISO 9001–2015 (72 ч.)	50.0

Продолжение таблицы

№ п/п	Наименование Программы, видов услуг	Стоимость, тыс. руб.
8	Разработка и передача Правил проведения периодической аттестации лабораторного оборудования силами метрологической службы предприятия	14.0
9	Обучение и аттестация менеджера по качеству ЦЗЛ предприятий, работающих в системе CARB EPA	13.0
10	Разработка и передача Руководства по качеству в Системе управления качеством ЦЗЛ предприятия-поставщика фанеры на экспорт в системе CARB EPA	12.0
11	Изготовление, аттестация и поставка лабораторного оборудования с оказанием услуг по внедрению, обучению и аттестации специалистов, в том числе:	
11.1	прибора газового анализа однокамерного по EN 717-2, ГОСТ 32155-2013, в системе CARB EPA	470.0
11.2	прибора газового анализа двухкамерного по EN 717-2, ГОСТ 32155-2013, в системе CARB EPA	650.0
11.3	камеры климатической объёмом 0,5 м ³ по EN 717-1, ГОСТ 30255–2014 по определению выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из образцов древесных плит и фанеры	710.0
11.4	камеры климатической объёмом 15 м ³ по EN 717-1, ГОСТ 30255–2014 по определению выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из образцов мебели	1800.0
11.5	камеры климатической объёмом 1 м ³ для кондиционирования образцов древесных плит и фанеры по ГОСТ 10633–2018, ГОСТ 9621–72, EN 13986:2015, в системе CARB EPA	435.0
12	Поставка прибора для экстракции формальдегида (перфоратора) по ГОСТ 27678-2014, EN 120	98.0
13	Поставка химической посуды для ЦЗЛ предприятия по Заявке «Заказчика»	до 50.0
14	Проведение периодической аттестации лабораторного оборудования совместно с метрологической службой предприятия	25.0
15	Подбор, идентификация и поставка дополнительного лабораторного оборудования: фотоколориметра типа КФК 3 КМ; водяной бани; шкафа сушильного; весов лабораторных и т.п. по Заявке «Заказчика»	до 1000.0

Опыт оказания услуг по укомплектованию 3-х заводских лабораторий дополнительным оборудованием, а также уровень компетентности наших специалистов и Свидетельства о повышении квалификации, выдаваемые ООО «Лессертика» по результатам дистанционного обучения, подтверждает их признание

экспертами зарубежных Органов по сертификации древесных плит и фанеры, что позволяет расширить объёмы поставок фанеры в страны ЕС и США.

УДК 674.815

Технологические проблемы производства синтетических смол и древесных плит

В.В. Васильев

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Проведён социологический опрос специалистов производства синтетических смол и древесных плит по выявлению актуальных технологических проблем. В опросе приняли участие 47 человек. Наиболее значимыми являются проблемы связанные с созданием и применением синтетических смол в производстве плит. Это новые низкотоксичные смолы, обеспечивающие, помимо снижения содержания формальдегида в смоле и плитах, необходимые физико-механические свойства плит, низкий расход связующего, высокую скорость прессования и экологические параметры производства.

Ключевые слова: производство древесных плит, технологические проблемы.

Для выявления актуальных технологических проблем производства синтетических смол и древесных плит проведён опрос специалистов отрасли, которые участвовали в работе 22-й международной научно-практической конференции «Древесные плиты: теория и практика». Она проходила 20-21 марта 2019 г. в Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете. Анкеты разослали также специалистам отрасли, которые не присутствовали на конференции. В результате число экспертов составило 47 человек. Из 47 полученных анкет в 31 заполнен раздел «Производство смол», в 42 – «Производство ДСП», в 22 – «Производство ДВП».

Исследование проведено методом группового анкетного опроса [4]. Анкета содержала 3 перечня вероятных проблем по разделам: производство синтетических смол, производство древесностружечных плит и производство древесноволокнистых плит сухого способа (ДВП-ССп) и мокрого способа (ДВП-МСп). Перечни технологических проблем взяты как итоговые результаты прошлых социологических исследований 2005 и 2011 годов [2; 3], а также на основании предложений специалистов.

Оценка актуальности проблемы производилась по пятибальной шкале: 1 балл – проблема неактуальна; 2 балла – малоактуальна; 3 балла – среднеактуальна; 4 балла – повышенная актуальность; 5 баллов – проблема высокоактуальна. Оценки, выставленные экспертами, суммировали и рассчитывали средневзвешенный балл и по его величине выстраивали анализируемые проблемы в ряд уровней значимости [5]. Величина средневзвешенного балла определяет уровень актуальности технологической проблемы, – чем он выше, тем значимее анализируемая проблема.

В табл. 1 приведены данные о профессиональном составе экспертов и стаж их работы в отрасли. Статистические данные показывают, что средний стаж работы экспертов в отрасли составляет более 20 лет, что говорит об их высокой квалификации и опыте. Необходимо также отметить, более 70 % участников опроса – это работники предприятий.

Таблица 1 – Профессиональный состав участников опроса и средний стаж их работы в отрасли

№	Категория специалистов	Число участников опроса, чел.	Доля от общего числа участников опроса, %	Средний стаж работы в отрасли, лет
1	Работники на уровне комбината: ген. директор, гл. инженер, гл. технолог, начальник лаборатории, ОТК, отдела	12	25,5	22,4
2	Работники на уровне цеха, смены, участка: начальник, зам. начальника, мастер, технолог, инженер	22	46,8	17,9
3	Работники ВУЗов, научно-исследовательских и проектных организаций	13	27,7	31,2
Итого		47	100	22,7

Результаты исследования представлены в табл. 2, 3 и 4. Там же указаны уровни значимости этих проблем в 2005 и 2011 гг.

Наиболее серьезной проблемой в производстве синтетических смол по-прежнему остаётся снижение их токсичности. В период между нашими исследованиями введены в действие новые ГОСТ на ДСП общего назначения и на ОСП (OSB), в которых впервые в Европе установлен новый класс эмиссии формальдегида E0,5, ограничивающий содержание формальдегида не более 4 мг/100 г плиты. Всё это определило задачу создания смол пониженной токсичности для древесных плит как высокоактуальную (балл актуальности проблемы в диапазоне от 4,01 до 5,00), а для пропиточных смол – как повышенной актуальности (балл актуальности от 3,01 до 4,00). Новые смолы, обеспечивающие пониженную токсичность, имеют увеличенное время желатинизации, в связи с чем реакционная способность смолы отнесена к проблеме высокоактуальной (балл 4,11).

Все остальные технологические проблемы производства синтетических смол, предложенные проанализировать экспертам, отнесены ими к проблемам повышенной актуальности. Высокое содержание карбамида в смолах привело к снижению их липкости или ухудшению клеящей способности (балл 3,54). Таким образом, от производителей смол требуется создание новых продуктов (балл 3,88). Важное значение имеет стабильность показателей смолы, вопросы экологического характера, качества карбамидоформальдегидного концентрата и долговечности смолы.

Таблица 2 – Экспертная оценка технологических проблем производства синтетических смол

Технологическая проблема	Значимость проблемы в 2019 г.		Уровень проблемы в г.	
	Балл	Уровень	2011	2005
Снижение токсичности смол для древесных плит	4,45	1	1	1
Реакционная способность смолы	4,11	2	3	8...10
Новые смолы для короткотактных прессов	3,88	3	2	3
Снижение токсичности пропиточных смол	3,60	4	4	4...7
Липкость смолы	3,54	5	5	4...7
Стабильность показателей смолы	3,52	6	9	4...7
Качество карбамидоформальдегидного концентрата	3,44	7	7	8...10
Очистка газовых выбросов производства смол	3,38	8	6	4...7
Утилизация надсмольных и сточных вод производства смол	3,28	9	8	2
Долговечность (срок хранения) смолы	3,14	10	10	8...10

В производстве ДСП две проблемы имеют категорию высокой актуальности: снижение токсичности (балл 4,31) и снижение расхода смолы в производстве плит (балл 4,24). Вопрос токсичности мы уже обсуждали выше. Но именно применение в производстве плит современных маломольных низкотоксичных смол стало причиной увеличения расхода смолы и ухудшения физико-механических показателей плит, в том числе водостойкости (проблема повышенной актуальности). Не случайно эти три проблемы являются самыми актуальными на протяжении последних 15 лет. Варьируется только уровень значимости их в разные годы.

Шесть анализируемых проблем оценены экспертами как среднеактуальные (балл актуальности проблемы в диапазоне от 2,01 до 3,00). Они касаются вопросов коробления плит, стабилизации влажности сухой стружки, организации производства плит со специальными свойствами, а также качеством поверхности ДСП. Многие из этих проблем в прошлые наши исследования имели статус повышенной актуальности, однако внедрение в производство более современного технологического и контрольного оборудования позволило снизить уровень их значимости.

В настоящее время показатель «разбухание плит по толщине при выдержке их в воде в течение 24 ч» не нормируется для ДСП общего назначения. Он установлен для влагостойких ДСП и плит ОСП из крупноразмерной ориентированной стружки, и выполнение требований для плит этих марок становится проблемой повышенной актуальности.

Таблица 3 – Экспертная оценка технологических проблем производства древесностружечных плит

Технологическая проблема	Значимость проблемы в 2019 г.		Уровень проблемы в г.	
	Балл	Уровень	2011	2005
Снижение токсичности плит	4,31	1	2	2
Снижение расхода смолы в производстве плит	4,24	2	3	1
Снижение разбухания плит	3,83	3	1	3
Интенсификация процесса горячего прессования плит	3,78	4	4	7...10
Снижение расхода древесного сырья	3,51	5	5	7...10
Переработка низкокачественной древесины	3,49	6	9	7...10
Коробление плит	3,00	7	8	7...10
Нестабильная влажность сухой стружки	3,00	8	7	5
Придание плитам специальных свойств*	2,93	9	11...12	–
Снижение впитываемости жидкости поверхностью плиты	2,92	10	–	–
Пылесмоляные пятна на поверхности плиты	2,88	11	6	4
Недошлифовка плит	2,29	12	10	6

* имелись в виду огне- и биостойкость, защита от электромагнитного излучения и т.п.

К проблемам повышенной актуальности, имеющим балл в диапазоне 3,01...4,00, помимо водостойкости относятся ещё 3 проблемы. Высокое место среди них занимает вопрос интенсификации процесса горячего прессования плит (балл 3,78). Решение его имеет значительный экономический эффект, поскольку позволяет увеличить выпуск готовой продукции. На одном довольно высоком уровне находятся проблемы по древесному сырью: снижение расхода древесного сырья (балл 3,51) и переработка низкокачественной древесины (балл 3,49).

Шесть анализируемых проблем оценены экспертами как среднеактуальные (балл актуальности проблемы в диапазоне от 2,01 до 3,00). Они касаются вопросов коробления плит, стабилизации влажности сухой стружки, организации производства плит со специальными свойствами, а также качеством поверхности ДСП. Многие из этих проблем в прошлые наши исследования имели статус повышенной актуальности, однако внедрение в производство более современного технологического и контрольного оборудования позволило снизить уровень их значимости.

Таблица 4 – Экспертная оценка технологических проблем производства древесноволокнистых плит

Технологическая проблема	Значимость проблемы в 2019 г.		Уровень проблемы в г.	
	Балл	Уровень	2011	2005
Новые экологически чистые смолы для ДВП-ССп	4,50	1	1	–
Снижение токсичности ДВП-ССп	4,45	2	3	3
Снижение токсичности сточных вод ДВП-МСп	4,24	3	6	2
Снижение расхода смолы в производстве ДВП-ССп	4,14	4	5	1
Новые экологически чистые смолы для ДВП-МСп	4,06	5	4	4 – 6
Очистка сточных вод в производстве ДВП-МСп	4,05	6	–	–
Снижение водопотребления в производстве ДВП-МСп	3,38	7	–	–
Осмоление волокна в производстве ДВП-ССп	3,25	8	2	4 – 6
Снижение расхода смолы в производстве ДВП-МСп	3,20	9	7	1
Повышение сухости ковра ДВП-МСп	2,50	10	8	4 – 6

6 из 10 технологических проблем производства ДВП относятся к высокоактуальным. Все они и ещё 2 проблемы повышенной актуальности связаны с вопросами создания и применения синтетических смол, в том числе и в сточных водах при изготовлении плит мокрым способом (ДВП-МСп).

Поскольку на вопросы анкеты отвечали преимущественно работники промышленных предприятий с большим стажем работы в отрасли, можно считать, что ответы характеризуются высоким уровнем компетентности. По мнению экспертов наиболее значимыми являются проблемы в той или иной мере связанные с созданием и применением синтетических смол в производстве плит. Это новые низкотоксичные смолы, обеспечивающие помимо снижения содержания формальдегида необходимые физико-механические свойства плит, низкий расход связующего и высокую скорость прессования. Более подробная информация о результатах опроса специалистов представлена в статье [1].

Составление списка актуальных технологических проблем, образовавшихся на сегодняшний день в производстве, позволит учёным и специалистам сосредоточить свои усилия на расширке этих «узких» мест. Можно ожидать, что многие из предложенных ими решений дадут возможность получить реальный экономический эффект от внедрения их в практику.

Литература:

1. Васильев В.В. Актуальные технологические проблемы производства синтетических смол и древесных плит // Известия Санкт-Петербургской лесо-

технической академии. 2020. Вып. 230. – С. 173-186.

2. Васильев В.В. Основные проблемы технологического характера в производстве синтетических смол и древесных плит // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: Междунар. науч.-практ. конф. 15-16 марта 2006 г. – Балабаново: ЗАО «ВНИИДРЕВ». 2006. – С. 17-23.

3. Васильев В.В. Технологические проблемы производства синтетических смол и древесных плит // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: 15-я Междунар. науч.-практ. конф. 21-22 марта 2012 г. – Балабаново: ЗАО «ВНИИДРЕВ». 2012. – С. 60-68.

4. Основы прикладной социологии: учебник для вузов / под ред. Шереги Ф.Э. и Горшкова М.К. – М.: Интерпракс, 1996. – 184 с.

5. Ядов В.А. Социологическое исследование: методология, программа, методы. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1995. – 330 с.

УДК 621.039.564

Производство древесных плит с использованием современных контрольно-измерительных приборов и установок фирмы «ГреКон»

А.Г. Васичев

Fagus-GreCon Greten GmbH & Co. KG

Сообщается о современных контрольно-измерительных приборах и установках, разработанных в последнее время фирмой «ГреКон» и поступивших на рынок для повышения надёжности и эффективности производства древесных плит.

Ключевые слова: влагомер, рентгеновская установка, толщиномер, качество склеивания, весы, сканирование поверхности, искрогашение.

Современное производство древесных плит невозможно без постоянного контроля сотен параметров производственного оборудования и конечной продукции. Каждый параметр является в конечном итоге составной частью «общей картины качества продукции». Важность того или другого параметра определяется в зависимости от особенностей технологического процесса, однако существуют такие характеристики, которые важны для любого производства.

Для обеспечения высокого качества конечной продукции необходимо постоянно контролировать её различные параметры. Лабораторный контроль, безусловно, сохранит своё значение и в будущем. Но в силу отставания во времени от событий, происходящих в технологическом процессе, в случае необходимости невозможно быстро вмешаться в ход самого процесса. Поэтому более предпочтительным является фиксирование множества параметров во время технологического процесса, то есть в режиме онлайн. При этом оператор имеет возможность контролировать весь процесс посредством компьютера, подключенного к установкам. Кроме этого имеется возможность подключения всех ус-

тановок посредством модемной связи к отделу обслуживания фирмы «ГреКон» в Германии.

В процессе производства древесных плит большое значение имеет влажность применяемой щепы или волокна. Если материал будет слишком влажным, то придётся смириться со снижением качества готовых плит. Если материал, наоборот, будет слишком сухим, то значит, имел место лишний расход энергии. То же самое относится и к пропитанному клеем материалу. Для решения проблемы используется **бесконтактный инфракрасный влагомер IR 5000**. Принцип измерения основан на изменении, в зависимости от влажности материала, угла отражения светового луча, предварительно оптически разложенного в инфракрасном диапазоне. Влажность может измеряться в диапазоне от 1 до 75 %. Погрешность составляет ± 1 % выбранного диапазона измерения. Например, на выходе из сушильных барабанов, где диапазон измерений составляет 1...5 %, погрешность будет равна 0,05 %.

Следующим очень важным параметром является **масса материала на единицу площади**. Специальные стационарные (**BWS 5000**) или траверсные (**BWQ 5000**) рентгеновские установки фирмы «ГреКон» монтируются непосредственно внутри форммашины или на соответствующем ленточном транспортере. Результаты измерений могут быть использованы для изменения скорости движения транспортной ленты или высоты расположения гребенки. Диапазон измерений: 0...40 кг/м², погрешность измерений составляет $\pm 0,25$ % конечной величины, разрешающая способность 30 г/м².

Чтобы точно оценить колебания массы на единицу площади – как в продольном, так и в поперечном направлении – в процессе производства, необходимо проводить измерение всей поверхности сформированного ковра. Это стало возможным с помощью **сканера ковра «Диффензор» (Dieffensor)**. Представление точных графических и цифровых данных позволяет оператору своевременно вмешиваться в процесс формования ковра, чтобы добиться постоянно высокого качества плиты при одновременной оптимизации расхода материала и энергии. Одним из преимуществ использования сканера «Диффензор» является то, что ширина колебаний удельной массы в продольном направлении при регулировании скальпера значительно ниже, чем при регулировании с использованием данных с весов. Систематическая ошибка весов в диапазоне 250...400 г/м² отчётливо прослеживается и затем корректируется вручную, как правило, после забора проб после пресса. «Убегание» массы на весах также является всем известным на практике феноменом, вызванным различием напряжений в ленте, влиянием температур и загрязнениями, которое корректируется также вручную после взятия проб. Ещё одной ошибкой при регулировании с помощью весов являются допуски формирующей ленты до 100 г/м², которые, как правило, корректировке не поддаются. При использовании сканера ковра «Диффензор» удельная масса формирующей ленты на протяжении всего процесса измеряется и при регулировке скальпера соответствующим образом корректируется масса на единицу площади ковра. Постоянный контроль распределения массы поперёк направления технологического потока перед главным

прессом обеспечивает возможность оптимизации процесса изготовления продукции. Одновременно это препятствует попаданию ленты пресса под воздействие неравновесия плотности в ковре. При помощи данных измерения можно легко проследить и запротоколировать ход производственных процессов. С помощью сканера «Диффензор» впервые появилась возможность всесторонней и эффективной защиты стальных лент от непоправимых дефектов, вызываемых как металлическими, так и неметаллическими, а также другими инородными телами высокой плотности, что увеличивает срок службы лент на 2...4 года.

Датчик EasyLog+ является новой разработкой для непрерывного измерения в динамике параметров давления газа и температуры внутри ковра из древесных материалов (ДСП, MDF, OSB) при прохождении внутри пресса в направлении подачи, а также поперёк ковра в любом выбранном месте. Контроль можно вести как внутри прессов непрерывного действия, так и в тактовых, и в многоэтажных прессах. Полученные данные дают опосредованную информацию об отверждении смолы в ковре и позволяют оптимизировать программу прессования по отдельным рецептам. **ЦЕЛЬ:** как можно скорее достигнуть температуры в 100 °С для среднего слоя! Теперь с помощью датчика EasyLog+ можно минимизировать явления расслоения, если добиться большего удаления газа из середины ковра. Влияние предшествующих технологических процессов (например, орошения ковра, систем подогрева) или параметров продукции (например, смолы, плотности, влажности) на процесс прессования можно фиксировать в режиме реального времени. Появилась возможность контролировать процесс формирования свойств плиты! Процесс измерения происходит следующим образом. Беспроводной датчик вбрасывается в средний слой в месте формирования ковра и проходит через горячий пресс как своего рода потерянная деталь. Осуществляется синхронизация измерений с моментом входа в пресс и выходом из него. При нахождении ковра внутри пресса производится замер давления газа и температуры. При помощи считывающего устройства замеренные данные по выходе из пресса считываются беспроводным способом. При помощи карты SD или интерфейса данные затем передаются на ПК более высокого уровня. Одновременно могут быть вброшены до 3 датчиков, например, по ширине ковра.

Выход за пределы допусков, определяющих размеры изделия, особенно толщины, снижает качество, увеличивает выход брака, а значит, влияет на снижение общих экономических показателей предприятия. При отклонениях от заданного параметра можно сразу принять необходимые меры, если располагать текущими данными благодаря применению **установки измерения толщины**. Высокочувствительные прецизионные ролики установки **DMR 6000** касаются материала таким образом, что изменения толщины материала вызывают вертикальное перемещение устройства записи пути. Внутри измерительных головок бесконтактным способом выполняется фиксирование пути. Чаще всего применяется парное (сверху и снизу) размещение измерительных головок, чтобы компенсировать прогиб материала. Наиболее распространённой является ком-

бинация из трёх пар измерительных головок, позволяющая получать информацию о толщине плиты по краям и в центре. Точность измерений – 0,014 мм.

Установки контроля качества склеивания UPU 6000 фирмы «ГреКон» помогают вовремя зафиксировать ошибки производства, что позволяет избежать выпуска брака. Невидимые отклонения от хорошего качества представляют в производстве древесных плит значительную проблему. Они распознаются только на стадии раскроя самой плиты или уже на предприятии по дальнейшей переработке плит. Рекламации и брак – вот последствия этого явления. В установках фирмы «ГреКон» ультразвуковые волны пронизывают плиту и воспринимаются расположенным напротив приёмником. Например, не пропитанная клеем зона ослабляет звуковые волны, в силу чего генерируется сообщение. К системе можно подключить до 24 контрольных каналов. Благодаря этому достигается высокая плотность контроля. В процессе работы имеется возможность устанавливать допустимые длины дефектов. Возможна также активизация интегратора дефектов. Основой для подачи им сигнала служит определённое процентное содержание небольших дефектов в пересчёте на одну плиту. Места расположения дефектов могут быть промаркированы по боковой стороне плиты. С помощью этой установки можно не только распознавать воздушные включения, такие как пузыри, расслоения, места непрочлея, но и оптимизировать технологический процесс в целом. Информация, индицируемая на экране компьютера, позволяет технологу определить качество склеивания и оптимизировать предстоящие технологические процессы, например, время сушки шпона, количество клея, время прессования, таким образом, чтобы выпускать по-прежнему качественную плиту, но с наименьшими сырьевыми и энергозатратами. Кроме этого, установка UPU 6000 оснащена устройством автоматического калибрования каждого канала, устройством автоматического контроля загрязнения канала. После первой настройки устройств сбора измеряемых параметров по опорной величине через заранее установленные интервалы выполняется автоматический контроль уровня загрязнения установки. Если сигнал от контрольного канала в силу загрязнения отклоняется от предварительно установленной опорной величины, то автоматически выполняется дополнительное калибрование системы. Если уровень загрязнения достигает величины, не допускающей проведения дополнительного калибрования, то оператору автоматически даётся указание на очередную чистку. Таким образом, всегда можно быть уверенным в результатах контроля.

Новинка: установка **UPU 6000fs** – контроль всей площади плиты за счёт расположения каналов в два ряда и новой конструкции траверсы.

Распределение объёмной плотности также является важной характеристикой древесных плит. Установка **StenOgraph 6000** фирмы «ГреКон», использующая в качестве источника излучения рентгеновскую трубку, позволяет получить распределение объёмной плотности в плите сразу после пресса в режиме реального времени. Скорость измерения 0,3...1,0 мм толщины плиты/с.

Колебания распределения материала и массы плиты ведёт к повышению издержек производства при одновременном снижении качества продукции. До

недавнего времени в плитной промышленности применялись гравиметрические весы или рентгеновские излучатели, при помощи которых можно определить массу готовой плиты.

Гравиметрические весы типа GS 6000 фирмы «ГреКон» применяются в основном в качестве весов, работающих в состоянии покоя взвешиваемого материала. При этом каждая плита должна находиться на столе весов в состоянии покоя некоторое время, чтобы быть взвешенной. Такие весы могут применяться в основном в тактовых прессах. Плиты взвешиваются при прохождении через весы, причём надо учитывать, что на весах может находиться только одна плита или (в определённых случаях) целая группа. Полотно весов должно быть соответствующей длины, чтобы обеспечивать необходимое время взвешивания. Кроме того, разрыв между двумя плитами должен быть достаточно большим. Для работы необходимы рабочие столы, которые имеют очень большую тару. Взвешивание очень лёгких или коротких плит из-за этого становится делом весьма трудным.

Весы для плит проходного типа CS 6000 фирмы «ГреКон», работающие в режиме in-line, обеспечивают автоматизацию контроля распределения материала, а также массы плиты. Особенно для производственных установок с очень высокой скоростью конвейера, в стеснённых условиях, при недостатке места или при неблагоприятном соотношении массы стола и массы плиты весы для плит CS 6000 производства фирмы «ГреКон» просто идеальны. В отличие от обычных весов для плит, оборудованных рабочим столом, установка CS 6000 обеспечивает отображение распределения массы в поперечном направлении в пределах измеряемой плиты. Компьютер, обрабатывающий данные измерений, показывает величины измерений и позволяет без труда выбирать параметры установки. Особым преимуществом этой системы является её компактность (она занимает немного места), высокая точность измерения и нечувствительность к внешним воздействиям, например, пыли, пару и высокой температуре материала. В комбинации с установкой измерения толщины DMR 6000 производства фирмы «ГреКон» можно определять объёмную плотность плит, а также её распределение в плите и использовать эти данные в целях оптимизации технологического процесса. Весы проходного типа CS 6000 работают бесконтактным способом. Для фиксирования результата измерения измеряемый материал просвечивается слабым рентгеновским излучением. В зависимости от количества материала и его удельной массы изменяется воспринимаемая приёмником сила излучения. Она и является мериллом массы на единицу площади ($\text{кг}/\text{м}^2$). Диапазон измерений составляет от 2 до 40 $\text{кг}/\text{м}^2$ при толщине плиты до 50 мм и скорости конвейера до 120 м/мин. Погрешность измерений $\pm 3,5\%$ при 2 $\text{кг}/\text{м}^2$ и $\pm 0,2\%$ при 40 $\text{кг}/\text{м}^2$. Надо отметить, что это устройства с узким, полособразным измерением. Чтобы получить достаточно точное отображение массы плиты, применяется чаще всего три, пять или шесть измерительных дорожек для контроля плиты. При таком способе измерения всегда есть непромеренные пространства, а в силу этого приходится выполнять интерполяцию. Абсолют-

ная масса плиты, таким образом, даётся с определённой допустимой погрешностью.

У новой рентгеновской системы **HPS 5000** фирмы «ГреКон» всех этих недостатков нет! Эта установка работает бесконтактным способом с покрытием всей площади. Для фиксации измеряемых величин контролируемый материал просвечивается рентгеновским излучением, причём в зависимости от количества материала и удельной массы материала изменяется воспринимаемая датчиком интенсивность излучения. Эта система невосприимчива к таким мешающим воздействиям окружающей среды, как пыль, пар и высокая температура материала. Плиты взвешиваются в процессе прохождения через весы. Тут масса брутто будет нетто, никакой тары не нужно при этом вычитать. Очень лёгкие и короткие плиты можно взвешивать независимо от скорости! Большой интерес представляет, особенно для будущего дооснащения существующей линии, компактность – для размещения требуется всего около 1,5 м. С помощью высокоточных весов HPS 5000 с покрытием всей площади измерение выполняется с высоким разрешением и определяется масса каждой отдельной плиты, а также колебания материала в плите. Одновременно производится контроль взвешивающей техники в форммашине. Таким образом, весы HPS 5000 выдают точную массу плиты и распределение материала в ней. Распределение материала вдоль и поперёк плиты анализируется и представляется посредством соответствующих параметров. Результаты измерения остаются в распоряжении в архивной базе данных. Ими можно воспользоваться для настройки и оптимизации процесса с целью сокращения расхода материала. Диапазон измерений составляет от 1 до 40 кг/м² при толщине плиты до 50 мм и скорости конвейера до 240 м/мин. Погрешность измерений $\pm 0,5\%$.

Системы контроля часто приобретаются с целью исключения поставки покупателям дефектного товара. Функция системы понимается, как возможность распознать и отбраковать товар с дефектом. С другой стороны эту же информацию можно использовать и для оптимизации технологического процесса. Таким образом, получается двойной эффект: оптимизация расхода сырья и снижение брака. Так же как производители в плитной промышленности постоянно стремятся усовершенствовать технологию, так и фирма «ГреКон» ведёт работу ради того, чтобы предоставить в распоряжение эксплуатационников измерительные системы, соответствующие их потребностям. Одна из таких систем – **SuperScan** является устройством сканирования поверхности плит. Первая установка предназначалась для применения в производстве ламинированного полового покрытия, чтобы быстро и просто проверить большеформатную ламинированную плиту на наличие поверхностных дефектов сразу после пресса. Ведь именно здесь может возникнуть немало проблем, из которых можно назвать в качестве примера следующие: отсутствие рисунка или его наложение, сдвиг рисунка, вырывы, складки или ямки в рисунке, вдавленный сор, капельки масла, воды, насекомые и иные инородные тела, изменение цвета поверхности плиты, вздутия или ямки из-за воздействия неверной температуры или времени прессования. К тому же вывод о причине дефекта становится тем точнее, чем

раньше замечено его появление. В ходе доработки установки SuperScan добавилось значительное количество дополнительных модулей, чтобы наряду с чисто поверхностными дефектами можно было распознавать и другие отклонения, например, топологические дефекты или сбои в синхронизации между структурой и рисунком на большеформатной плите. Сегодня из «бойца-одиночки» выросла целая «группа спецназначения», где каждый боец специализируется на отдельных областях: мебельная плита (SPM), ламинат (SPL), волокно (SPF) и белая плита (SPR). Большие возможности открываются именно в определении качества белой плиты, поскольку качество белой плиты, особенно в связи с тенденцией к её ламинированию, приобретает всё большее значение. В систему закладываются для различных типов дефектов пороговые значения. При превышении их выдаётся соответствующее сообщение об ошибке. Типичными ошибками считаются такие дефекты как клеевые пятна, крупные куски щепы, царапины и места сошлифовки. Установку можно смонтировать после прессы или после шлифовального станка. В последнем случае она может оказать существенную услугу в правильной оценке процесса шлифования и предоставить сведения о состоянии шлифлент.

Распределение объёмной плотности также является важной характеристикой древесных плит. **Лабораторный прибор DAX 6000** фирмы «ГреКон», использующий в качестве источника излучения рентгеновскую трубку, позволяет получить распределение объёмной плотности 19-мм образца всего за 5 сек. Загрузочный магазин вмещает 7 таких образцов. Диапазон измерения: 400...1500 кг/м³, точность измерений составляет ± 5 % от граничной величины диапазона, разрешающая способность 20 мкм.

Несмотря на применение в процессе производства усовершенствованной техники невозможно полностью предотвратить образование искр и источников возгорания. Почти каждый день где-нибудь происходит взрыв пыли или регистрируется пожар, возникший от возгорания пыли, но о больших убытках в промышленности и длительных простоях на производстве умалчивается, не говоря уже об опасности для жизни человека. Именно поэтому предупредительные меры по защите от взрывов приобретают большое значение.

Фирма «ГреКон» является ведущим мировым производителем, выпускающим **установки искрогашения** в течение более 30 лет. За это время по всему миру, в том числе и на предприятиях России и стран, входивших ранее в СССР, установлено и работает около 300 000 установок. Установки регистрируют искры и тлеющие частицы сразу же после их появления в системе пневмотранспорта или на открытых транспортёрах. После обнаружения и анализа моментально (время открывания форсунки составляет 0,25...0,3 с от момента обнаружения искры или горячей частицы) вводятся меры противодействия с целью ликвидации причины возникновения пожара или взрыва. В отличие от других систем пожаротушения установки искрогашения ведут борьбу с начальной фазой явления, т.е. ещё до того, как появляется огонь. **Производственный процесс при этом может беспрепятственно** продолжаться. Центральный пульт управления принимает и анализирует сигналы тревоги и выдаёт соответ-

ствующие команды автоматике противодействия. В процессе работы происходит регулярное автоматическое тестирование всех датчиков и автоматики противодействия. Тесты, проведённые американской страховой компанией «Factory Mutual», подтвердили, что датчики фирмы «ГреКон» реагируют на каждое видимое и инфракрасное излучение в диапазоне от 0,8 до 1,1 мкм, куда попадают и низкотемпературные тлеющие и тёмные частицы (≈ 400 °C), обладающие, тем не менее, большим взрывным потенциалом. Гашение искр в подавляющем большинстве случаев осуществляется водой. Она подается под большим давлением через специальную форсунку, создающую мелкодисперсный водяной туман. Фирма «ГреКон» предлагает и другие средства противодействия, например, углекислый газ, переводные стрелки, шиберы, заслонки. Установки искрогашения соответствуют мировым стандартам, имеют сертификаты TÜV CERT (Германия), допущены к эксплуатации страховыми организациями Factory Mutual System и Союзом страховщиков от ущерба (VdS). Имеются сертификаты пожарной безопасности РФ, сертификат соответствия техническому регламенту о безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах Таможенного союза, декларация о соответствии требованиям о безопасности низковольтного оборудования Таможенного союза.

Решаете ли Вы задачи, связанные с измерением конкретных характеристик продукции, или осуществляете всеобъемлющий контроль на производстве – в любом случае в лице фирмы «ГреКон» вы имеете действительно надёжного и компетентного партнёра.

УДК 674.815; 817.4

Выделение формальдегида из древесностружечных плит и один из способов его снижения

Е.М. Разиньков

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова*

Производимые отечественной промышленностью древесностружечные плиты превышают допустимый уровень выделения формальдегида ($0,01$ мг/м³ воздуха) до 15...17 раз в основном за счёт использования в технологии карбамидоформальдегидных смол, которые в своем составе содержат свободный формальдегид в количестве 0,15...0,20 %. Приводится анализ существующего ДУ формальдегида; токсичности плит; в исследовании процесса отверждения смол; в поиске эффективных акцепторов формальдегида для снижения токсичности плит.

Ключевые слова: древесностружечная плита, формальдегид, акцепторы формальдегида, комплексный препарат.

Объёмы производства древесностружечных плит в России постоянно растут. Так, по данным [4] в 2013 г было произведено 7270, в 2017 – 8370, в

2018 – 9789, в 2019 – 9986 тыс. м³ плит. В основном плиты используются в жилых помещениях для изготовления корпусной мебели. Однако существенным недостатком плит является повышенная токсичность к человеку, связанная со значительным выделением из них вредного газа – формальдегида, уровень которого значительно превышает допустимый уровень (ДУ), равный 0,01 мг/м³ воздуха. Так, по данным [2] выделение формальдегида из промышленных древесных плит на карбамидоформальдегидных смолах (КФС), при испытании их камерным методом, в 2012 – 2015 г.г. составило от 0,034 до 0,27 мг/м³ воздуха для древесностружечных плит и от 0,098 до 0,18 мг/м³ воздуха для древесных плит из ориентированной стружки. В последующие годы ситуация с токсичностью плит остаётся проблемной.

В этой связи цель работы состояла: в анализе существующего ДУ формальдегида; токсичности плит; в исследовании процесса отверждения смол; в поиске эффективных акцепторов формальдегида для снижения токсичности плит.

При анализе состояния вопроса по уровню ДУ формальдегида в воздухе исходили из следующего. По «Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» установлен ДУ для формальдегида 0,01 мг/м³ воздуха для того чтобы в помещении загазованность формальдегидом была на уровне ДУ насыщенность жилого помещения выпускаемыми в настоящее время отечественной промышленностью древесностружечными плитами должна быть очень низкой, что не соответствует реальной насыщенности плитами жилых помещений.

В связи с высокой токсичностью производимых отечественной промышленностью плит и, в этой связи со сложившейся проблемой их использования в мебели, ещё в 2011 г. ЗАО «ВНИИДрев» и АНО ЦСЛ «Лессертика» поставили вопрос: могут ли отечественные мебельщики выпускать продукцию, выделяющую не более 0,01 мг/м³ формальдегида? Следует отметить, что аналогичный зарубежный норматив по выделению формальдегида из древесных плит в 10...12 раз больше российского и составляет в Западной Европе 0,1 ppm или 0,124 мг/м³, в Северной Америке – 0,11 мг/м³. Этот уровень совпадает с уровнем Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), которая в качестве обоснования величины такого уровня указывает на то, что *«лишь очень небольшая часть населения реагирует какими-либо раздражениями на воздействие формальдегида в концентрации 0,1 ppm»*. Основным документом в этом плане можно считать «Заключение Федерального института оценки рисков от 30 марта 2006 г.» (Германия) по токсикологической оценке формальдегида и установлению его как «безопасного» уровня для человека.

Для анализа процесса отверждения связующих в древесностружечных плитах и причин «замораживания» в них формальдегида исходили из необходимости проведения микротехнологических исследований применительно к технологии плит.

При анализе состояния вопроса по снижению токсичности плит исходили из следующего. Для снижения выделения из плит формальдегида в мире используются различные способы: применение в технологии малотоксичных смол; специальная обработка готовых плит в камерах; использование в технологии акцепторов формальдегида.

Применение в технологии малотоксичных смол связано с уменьшением в исходной рецептуре избытка формальдегида, а также изменением технологических режимов конденсации смол с целью более полного связывания формальдегида в готовой смоле. Однако снижение в рецептуре избытка формальдегида связано с технологическими трудностями производства смол, так как для получения смол с хорошей клеящей способностью необходим определенный избыток формальдегида. В настоящее время получены малотоксичные КФС с мольным соотношением карбамида к формальдегиду (К : Ф от 1 : 1,00 до 1 : 1,28) КФ-МТ-15КП; КФ-МТ-15; КФ-01; КФ-НФП, КФ-О и др. с содержанием свободного формальдегида 0,10...0,15 %, а также фенолоформальдегидные смолы (ФФС) марок СФЖ-3014, СФЖ-3024 с таким же содержанием свободного формальдегида. В настоящее время из этих смол в технологии древесностружечных плит используют в основном смолы марок КФ-МТ-15 и КФ-НФП. В качестве экспериментальных плит используются плиты на смоле СФЖ-3014.

Специальная обработка готовых плит в камерах предусматривает удаление формальдегида в основном только с поверхностной части плит. Наиболее эффективной из таких камер является камера фирмы «Веркор ФД-ЕХ» (Бельгия), где плиты обрабатывают в секциях различными газами (сернистым и др.), которые частично связывают выделяющийся из плит формальдегид. Однако этот способ не нашёл большого практического применения из-за невысокой эффективности. Как показала практика, наиболее эффективным способом снижения выделения формальдегида является использование акцепторов формальдегида с параллельным применением в технологии малотоксичных смол.

Для отечественной плитной промышленности ключевой проблемой является пересмотр существующего ДУ формальдегида в воздухе и снижение выделения формальдегида из плит, используя для этого эффективные способы одним из которых является использование в технологии химических препаратов комплексного действия. Поэтому основным направлением нашей работы в решении проблемы снижения выделения формальдегида являлось нахождение и внедрение в практику эффективного способа снижения токсичности плит, основанного на использовании в технологии плит химических препаратов комплексного действия, которые одновременно выполняют роль акцепторов формальдегида и, дополнительно, являлись бы хорошими антисептиками, отвердителями смол.

Анализ причин «замораживания» формальдегида в древесностружечных плитах с использованием в них в качестве связующего КФС и ФФС осуществлён следующим образом. Были изготовлены модели клеевых плёнок из карбамидоформальдегидных и фенолоформальдегидных смол. Эти модели проходили стадию термообработки применительно к технологии древесностружечных

плит при температуре от 100 до 170 °С. После этого проводили микроскопические исследования плёнок с использованием электронного растрового микроскопа Carl Zeiss Jena. Увеличение пленок составляло от 50 до 5000 раз.

Для исследования эффективности связывания формальдегида акцепторами были изготовлены древесностружечные плиты толщиной 16 мм, плотностью 750 кг/м³ с использованием КФС марки КФ-МТ-15, содержание которой (по сухому веществу к массе абс. сух. стружки) составляло для наружных слоев плит 13 %, а для внутреннего слоя 10 %. Отвердителем смолы являлся хлорида аммония с содержанием 1 % к массе товарной смолы концентрацией 60 %. Породами древесины для стружки служила смесь берёзы, осины и сосны. Режим горячего прессования плит был следующий: температура 170 °С; давление 2,4 МПа; продолжительность 0,35 мин/мм толщины плиты. В экспериментах использовали следующие химические препараты: пентахлорфенолят натрия (ПХФН), кремнефторид натрия (КФА) и ХМББ-3324 в состав которого входили бихромат натрия, медный купорос, тетраборат натрия и борная кислота в массовом соотношении соответственно 3 : 3 : 2 : 4. Содержание препаратов (по сухому веществу) в плите составляло от 1 до 2 % к массе абс. сух. стружки. ПХФН вводили в смолу, с последующим его растворением. Поскольку ПХФН имеет щелочную реакцию, то содержание хлористого аммония в смоле составляло 2 %. КФА тоже вводили в смолу, которая не содержала хлорида аммония, поскольку КФА сам обладает свойством отвердителя смолы. ХМББ-3324 наносили на стружку в виде водного раствора с последующей сушкой стружки до 3 %. Выделение формальдегида из плит определяли перфораторным и камерным методами.

Результаты исследований показывают, что ни о какой монолитности и неразрывности клеевого слоя в древесностружечных плитах говорить не приходится. Отверждённая масса связующего в этом слое находится в пористом, полуразрушенном состоянии. В процессе отверждения связующего происходит замораживание части парогазовой смеси вместе с формальдегидом в клеевом слое. Со временем формальдегид фильтруется через разрушенные оболочки парогазовых пузырей и выходит наружу. Такая ситуация представляет собой опасность дополнительного выделения формальдегида из готовых плит при их деформациях, связанных с перевозкой, раскрыем плит.

Поиск эффективных акцепторов формальдегида осуществляли в направлении поиска препаратов комплексно действия. Было исследовано более 10 препаратов таких как фторид натрия (ФН), кремнефторид натрия (КФН), КФА, ПХФН; ХМБББ-3324 и другие. В результате наиболее эффективными оказались препараты ПХФН, КФА и ХМББ-3324. Новизна такого поиска состоит в том, что эти препараты обладают двойным, а то и тройным действием. Все они обладают свойством эффективного антисептика и успешно используются для биозащиты древесины, а также могут применяться и для биозащиты древесностружечных плит. Препарат КФА дополнительно обладает ещё свойством отвердителя КФС. Первые два из этих препаратов запатентованы. ПХФН и КФА целесообразно вводить в смолу с растворением их в воде, находящейся в смоле.

ХМББ-3324 целесообразно наносить в виде водного раствора на стружку с последующей её сушкой. Количество препаратов для снижения выделения формальдегида и придания им биозащиты должно быть в пределах 1,5...2,0 % к массе абс. сух. стружки. Результаты опытно-промышленной апробации показали эффективность использования этих препаратов для снижения токсичности и биозащиты плит. Полученные плиты удовлетворяли требованиям ГОСТ 10632–2014 по эмиссии формальдегида для классов E0,5 и E1. Препараты нами запатентованы [1, 3].

Выводы:

1. Существующий в настоящее время допустимый уровень формальдегида в воздухе, равный 0,01 мг/м³, является очень низким, что создаёт большую проблему не только предприятий – изготовителей плит, но и для потребителей, в основном мебельщиков.

2. Клеевая пленка между древесными частицами в ДСП представляет собой не монолитную массу, как это считалось ранее, а пористую, состоящую из большого количества пустот (пузырей) внутри которых «заморожена» парогазовая смесь вместе с формальдегидом. Со временем формальдегид выделяется из плит (в том числе и из пузырей клеевого слоя через трещины отверждённой массы связующего). При деформации плит интенсивность выделения из них формальдегида может увеличиваться за счет образования дополнительных трещин в клеевом слое.

3. Рекомендованы для практического использования в технологии ДСП такие препараты комплексного действия как ПХФН, КФА и ХМББ-3324, значительно снижающие выделение формальдегида и обеспечивающие их биозащиту. Кроме того, КФА заменяет использование в технологии плит хлорида аммония (содержащего вредный для человека хлор), как отвердителя карбамидоформальдегидных смол.

Литература:

1. А.с. № 1047938, МПК C08L 61/10, C08L 97/02. Прессмасса для изготовления древесностружечных плит / Разиньков Е.М., Станкевич К.И., Цендровская В.А., Дышиневи́ч Н.Е. – № 3338693. Заявл. 10.09.1981; Оpubл. 15.10.1983.

2. Бардонов В.А. Состояние нормирования и фактические результаты эмиссии формальдегида из фанеры и древесных плит // Фанера. – СПб. №1. 2016. – С. 40-45.

3. Патент № 2209819 РФ, МПК C08L 97/02. Пресс-масса для изготовления древесностружечных плит / Разиньков Е.М., Пономаренко Л.В. – № 2001112524/04. Заявл. 07.05.2001; Оpubл. 10.08.2003. Бюл. № 22.

4. Шалашов А.П. Состояние и перспективы развития рынка древесных плит в России // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: сборник докладов 23-й международной научно-практической конференции 18 – 19 марта 2020 г. / под ред. Е.П. Гнутовой. – Балабаново, 2020. – С. 3-15.

Преимущества и недостатки методов определения миграции формальдегида из древесных плит и фанеры

В.А. Бардонов
ООО «Лессертика»

Рассматриваются существующие методы определения содержания и выделения формальдегида из фанеры и древесных плит. Приводится их сравнение, а также разбор достоинств и недостатков.

Ключевые слова: эмиссия формальдегида, требования к токсичности, перфораторный метод, метод газового анализа, камерный метод.

В ближайшие годы для повышения конкурентоспособности древесных плит и фанеры на мировом рынке нормы выделения / содержания формальдегида должны соответствовать Единым санитарно-гигиеническим требованиям, т.е. уровень выделения формальдегида не должен превышать 0,01 мг / м³ воздуха.

Рассмотрим, почему в ГОСТах на древесные плиты и фанеру применяются одновременно все три метода определения содержания / выделения формальдегида – **перфораторный, метод газового анализа, камерный**. Необходимо исходить из того, что каждый из трёх указанных методов имеет свои особенности.

Перфораторный метод позволяет определить содержание формальдегида в древесных плитах и фанере путём экстрагирования формальдегида из образцов древесных плит или фанеры кипящим толуолом, поглощении его дистиллированной водой с последующим спектрофотометрическим анализом полученного раствора с использованием ацетилацетона в среде уксуснокислого аммония. При этом одновременно с экстрагированием формальдегида происходит извлечение из древесного материала «букета» других вредных летучих химических веществ, некоторые из которых могут усиливать концентрацию формальдегида в пробе, а некоторые – наоборот. Поэтому перфораторный метод используется как предварительный (грубый) метод определения уровня содержания формальдегида в древесных материалах.

К преимуществам перфораторного метода по EN ISO 12460-5:2015, EN 120:1992, ГОСТ 27678–2014 относятся:

1. Низкая стоимость установки для экстракции формальдегида.
2. Не большая длительность проведения анализа.
3. Не высокая сложность проведения анализа.
4. Не высокие требования к персоналу.
5. Возможность оперативного отнесения результатов анализа к установленным в ГОСТах на продукции классам содержания формальдегида E0,5, E1 или E2.
6. Укомплектованность практически всех заводов древесных плит и фанеры перфораторами по ГОСТ 27678–2014.

Объективные *недостатки перфораторного метода* по EN ISO 12460-5:2015, EN 120:1992, ГОСТ 27678–2014 следующие:

1. Величина содержания формальдегида в древесных плитах и фанере, определённая перфораторным методом, не соответствует фактическому выделению формальдегида, определяемого камерным методом. Так, для класса E0,5 с нормой выделения 0,01 мг/м³, норма содержания формальдегида не должна превышать 1 мг / 100 г абс. сух. плиты, а норма по ГОСТ 3916.1–2018 составляет 4 мг / 100 г абс. сухой фанеры. Для класса E1 с нормой 0,124 мг/м³ при камерном методе норма для перфораторного метода не должна превышать 4 мг / 100 г абс. сухой фанеры, а норма по ГОСТ 3916.1–2018 составляет 8 мг / 100 г абс. сухой фанеры. Следовательно, перфораторный метод не подтверждает условия безопасного использования фанеры, при производстве мебели по ТР ТС 025/2012, в котором норма выделения формальдегида не должна превышать 0,01 мг/м³, определяемая камерным методом по ГОСТ 30255–2014.

2. Испытательные лаборатории ЕС в данном случае проводят сравнительные испытания содержания формальдегида в фанере перфораторным методом и камерным методом и устанавливают для конкретного предприятия норматив содержания формальдегида при норме для камерного метода. Например, для нормы класса эмиссии формальдегида E1 равной 0,124 мг/м³, для перфораторного метода может быть установлена величина не более 2,8...3,2 мг/100 г. Следовательно, разработчикам, например ГОСТ 3916.1–2018 необходимо провести дополнительно исследования и установить в стандарте норматив содержания формальдегида гармонизированный с уровнем миграции формальдегида из фанеры в условиях её использования, т.е. определённый камерным методом.

3. Перфораторным методом проводятся испытания на содержание формальдегида только необлицованных плит и фанеры.

4. Осуществляется принудительное извлечение формальдегида из древесных плит и фанеры путём кипячения в толуоле, который относится к прекурсорам, требующих осторожного обращения.

5. При кипячении образцов материала в толуоле вместе с формальдегидом выделяются другие вредные летучие химические вещества, которые могут усиливать или уменьшать концентрацию формальдегида в материале.

Метод газового анализа предназначен для ускоренного определения миграции формальдегида из древесных материалов при температуре воздуха в камере равную 60 °С, с последующим спектрофотометрическим анализом полученного раствора. Недостатком метода, также как и при перфораторном методе является «принудительное» извлечение формальдегида из образцов при высокой температуре, которая не соответствует температуре, при которой эксплуатируются древесные плиты и фанера.

К *преимуществам метода газового анализа* по BS EN ISO 12460-3:2015, EN 717-2:2008, ГОСТ 32155–2013 относятся:

1. Сравнительно низкая стоимость прибора газового анализа для ускоренного определения выделения формальдегида из фанеры и древесных плит.

2. Не большая длительность проведения анализа – одна рабочая смена.

3. Невысокая сложность проведения анализа.
4. Невысокие требования к персоналу.
5. Возможность оперативного отнесения результатов анализа к установленным в ГОСТах на продукции классам выделения формальдегида E0,5, E1 или E2.
6. Укомплектованность большого количества заводов фанеры и древесных плит приборами газового анализа по ГОСТ 32155–2013.

Недостатки *метода газового анализа* по BS EN ISO 12460-3:2015, EN 717-2:2008, ГОСТ 32155–2013 следующие:

Результат ускоренного выделения формальдегида из древесных плит и фанеры при температуре воздуха в камере равной 60 °С не соответствует фактическому выделению формальдегида, определяемого камерным методом. Так, для класса E0,5, с нормой выделения 0,01 мг/м³, норма выделения формальдегида не должна превышать 0,2...0,4 мг/м²·час, а норма по ГОСТ 3916.1–2018 составляет 1,5 мг/ м²·час. Для класса E1 с нормой не более 3,5 мг/ м²·час при методе газового анализа норма для камерного метода не должна превышать 0,124 мг/м³. В условиях использования фанеры для нормы 0,124 мг/м³ при камерном методе норматив ускоренного выделения формальдегида не должен превышать 0,5...0,7 мг/м²·час, а согласно ГОСТ 3916.1–2018 этот норматив составляет 3,5 мг/м²·час. Соответственно метод газового анализа не подтверждает условия безопасного использования фанеры, например, при производстве мебели по ТР ТС 025/2012, в котором норма выделения формальдегида не должна превышать 0,01 мг/м³, определяемая камерным методом по ГОСТ 30255–2014.

Испытательные лаборатории ЕС в данном случае проводят сравнительные испытания выделения формальдегида в фанере методом газового анализа и камерным методом и устанавливают для конкретного предприятия норматив выделения формальдегида при норме для камерного метода. Например, для нормы класса эмиссии формальдегида E1 равной 0,124 мг/м³ – для метода газового анализа может быть установлена величина не более 0,5...0,7 мг/ м²·ч. Следовательно, разработчикам, например, ГОСТ 3916.1–2018 необходимо провести дополнительно исследования и установить в стандарте норматив выделения формальдегида для метода газового анализа, гармонизированный с уровнем миграции формальдегида из фанеры в условиях её использования, определённый камерным методом.

Проводятся испытания только облицованных плит и фанеры.

Камерный метод заключается в определении выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из древесных материалов как стационарной концентрации определённого вещества в воздухе камеры при условиях моделирующих условия эксплуатации древесных материалов.

К *преимуществам камерного метода* по ISO 12460-1:2007, EN 717-1:2004, ГОСТ 30255–2014 относятся:

1. Возможность оперативного окончательного отнесения результатов анализа к установленным в ГОСТах классам эмиссии формальдегида E0,5, E1 или E2, что соответствует условиям эксплуатации продукции.

2. Сравнение достоверности результатов испытаний полученных в заводской лаборатории (перфораторным методом и метода газового анализа) с результатами испытаний камерным методом, представленными аккредитованной испытательной лабораторией.

3. Возможность предоставить заводской лабораторией результаты оценки миграции формальдегида из древесных плит и фанеры перфораторным методом и методом газового анализа для установления коэффициентов корреляции с результатами оценки миграции формальдегида из этих же листов древесных плит и фанеры камерным методом, полученных в аккредитованной испытательной лаборатории древесных плит и фанеры ООО «Лессертика» и/или нотифицированных лабораториях ЕС или США.

4. Возможность подтверждения заводской лабораторией или аккредитованной испытательной лабораторией соответствие древесных плит или фанеры нормам выделения формальдегида, установленным стандартами EN или Единными санитарно-гигиеническими требованиями ЕврАзЭС для камерного метода.

5. Возможность сравнить результаты эмиссии формальдегида из древесных плит и фанеры, полученные с использованием альтернативных методов жидкостной газохромотографии, в т.ч. с применением серии ГОСТ Р ИСО 16000 и DIN EN 16516:2018.

Объективными *недостатками камерного метода* по ISO 12460-1:2007, EN 717-1:2004, ГОСТ 30255–2014 являются:

1. Высокая стоимость камеры для определения эмиссии формальдегида.

2. Большая длительность проведения анализа от 5 до 15 суток.

3. Сложность проведения анализа.

4. Высокие требования к квалификации персонала.

5. Укомплектованность не большого количества заводов по производству фанеры и древесных плит климатическими камерами для определения выделения формальдегида по ГОСТ 30255–2014.

Применение одновременно трёх названных методов для заводских лабораторий обосновано несколькими условиями:

1. Сравнение достоверности результатов испытаний полученных в заводской лабораторией для каждого из методов оценки миграции формальдегида с результатами испытаний, представленными аккредитованной испытательной лабораторией.

2. Оперативное подтверждение заводской лабораторией соответствия древесных материалов классу эмиссии формальдегида одному из классов: E0,5; E1 или E2.

3. Возможность предоставить заводской лабораторией результаты оценки миграции формальдегида из древесных плит перфораторным методом для установления коэффициента корреляции с результатами оценки миграции формальдегида из этих же листов древесных плит камерным методом, полученных в нотифицированных лабораториях ЕС или США;

4. Возможность предоставить заводской лабораторией результаты оценки миграции формальдегида из фанеры методом газового анализа для установления коэффициента корреляции с результатами оценки миграции формальдегида из этих же листов фанеры камерным методом, полученных в нотифицированных лабораториях ЕС или США.

5. Возможность подтверждения заводской лабораторией или аккредитованной испытательной лабораторией соответствие древесных плит или фанеры нормам выделения формальдегида, установленным стандартами EN или Единными санитарно-гигиеническими требованиями ЕврАзЭС для камерного метода.

6. Возможность сравнить результаты эмиссии формальдегида из древесных плит и фанеры, полученные с использованием альтернативных методов жидкостной газохроматографии, в т.ч. с применением ГОСТ Р ИСО 16000.

УДК 674-416; 674.049.3

Простой метод сравнительной оценки эффективности антипиренов

А.А. Леонович, М.Г. Глазунова

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

На основе прибора зарубежного стандарта, предназначенного для классификации тканей по их горючести, предложен метод оценки эффективности антипиренов для древесных материалов. Дается интерпретация результатов анализа огневых испытаний.

Ключевые слова: антипирен, оценка горючести, амидофосфат КМ, гидроксипропандиндиформат, Palonot, «полукруг».

В настоящее время с ростом пожарной опасности сооружений, обусловленной применением новых материалов и повышением численности людей, особенно на культурно-зрелищных мероприятиях, возрастают и требования к безопасности таких древесных материалов как древесностружечных, древесноволокнистых плит и фанеры. Число научно-исследовательских работ по их огнезащите растёт, а квалификационные огневые испытания стали достаточно затратны. Если примерно 50...70 лет тому назад для рекомендации древесных плит в строительство как огнезащитных достаточно было положительных результатов в огневой или керамической трубе, то теперь нужны испытания в шахтной печи с размерами образцов 1000 × 190 мм, дополненных их дымообразующей способностью и токсичностью продуктов горения. Такие испытания выполняются сертифицированными организациями и являются дорогостоящими.

Разработчики всегда стремились воспользоваться каким-либо быстрым и доступным методом огневых испытаний, но вместе с тем приближенным к

стандарту. В тематическом сборнике [7], посвящённом огнезащите древесных материалов, рассматривается экспресс-метод ОСП с использованием образцов малых размеров $20 \times 10 \times 5$ мм. Однако огнезащитающая эффективность различных препаратов и сопоставление её с результатами, полученными другими методами, такими как «радиационная панель», «шахтная печь», не позволило установить надёжную корреляцию и получить достоверную оценку разных антипиренов, испытанных различными методами и методом ОСП. С.Н. Горшин показал ограниченность метода «керамическая труба» в способности дифференцировать антипирены по огнезащитной эффективности.

В литературе [11, 1, 12] анализируются и другие методы при выборе подходящего антипирена, основанные на огневом испытании образца «горит – не горит» по отдельно взятому параметру: потере массы, времени самостоятельного горения после окончания поджигания, температуре отходящих газов, расходе антипирена, обеспечивающего огнезащитность.

В целом давняя тенденция исследователей на первом этапе разработки состоит в стремлении знать сравнительную эффективность антипиренов в их способности угнетать горение. И знать как можно более объективно и полно. Это обусловило цель нашей работы, состоящую в том, чтобы найти метод оценки способности антипиренов снижать горючесть древесного субстрата (древесных частиц или волокна) и иметь возможность с определённой достоверностью проанализировать их в этом отношении. И сделать это с минимальными затратами. А только затем устанавливать пригодность выбранного антипирена к решению задач по технологичности, экономичности, реализуемости и другим аспектам.

С этой целью предприняли попытку на основе прибора «полукруг», используемого для классификации тканей по их горючести, установить возможность и предложить метод для быстрой объективной и сравнительной оценки антипиренов и предложить интерпретацию параметров, получаемых при испытании и выборе веществ для снижения горючести древесных материалов.

В качестве древесного субстрата, моделирующего древесные частицы, принят шпон, представляющий практически неизменное древесинное вещество. В древесных плитах это вещество в основном (≈ 90 %) определяет горючесть плит. Как известно, в процессе пропарки и лущения древесины берёзы шпон практически не претерпевает химических изменений и потому подобен древесным частицам в ДСП, изготавливаемых преимущественно из лиственных пород древесины. Толщина шпона 1,5 мм.

В качестве антипирена А1 взят Palonot на основе гидроксипропилфосфонатной кислоты, моноэтаноламина, аммиачной воды с добавкой ПАВ по патенту [9]. С этим антипиреном была изготовлены ДСП в лабораторных условиях, позволяющие в первом приближении считать их относящимися к материалам пониженной горючести [4]. В качестве антипирена А2 взят амидофосфат КМ – продукт конденсации фосфорной кислоты и карбамида по патенту [7], А3 – антипирен 13 представляет двухкомпонентную смесь $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в соотношении по массе 1:1, он хорошо известен как антипирен для огнезащиты древесины путем пропитки, но с его использованием нельзя получить каче-

ственных древесных плит, т.к. при горячем прессовании компоненты терморазлагаются и нарушают их внешний вид и прочность [5]. Его мы использовали для сравнительных целей в качестве антипирена целиком работающего на снижение горючести по так называемой газовой теории и теории каталитической дегидратации. Антипирены А1 и А2 в отличие от А3 участвуют в механизме образования древесных плит и имеют практическую перспективу [6, 3].

Образцы шпона размером 800 × 56 мм пропитывали антипиренами в виде водного раствора до одинакового содержания, сушили и испытывали.

Огневые испытания проводили методом «полукруг», используемым по BS 476 (Великобритания) и DIN 54331 (Германия) для оценки горючести текстильных материалов [13, 14]. Полоска текстиля закрепляется на шипах двух металлических полукругов, отстоящих друг от друга по осям на 45 мм. Схема функционирования прибора приведена на рис. 1. При испытании регистрируют длину продвижения фронта пламени по образцу и продолжительность этого продвижения. Рассчитывают индекс M по формуле:

$$M = (10,4 \cdot \tau_T / L^{2,5}) \cdot 10^6,$$

где τ_T – продолжительность самостоятельного горения, с; L – длина сгоревшей части, мм.

Материал классифицируют по трем группам: как не распространяющий пламя, медленно распространяющий или опасный по условиям распространения пламени.

Мы воспользовались этим прибором для новой цели, состоящей в сравнении и оценке эффективности антипиренов. Сущность метода состоит в том, что пламя распространяется по поверхности образца, а действие антипирена в снижении горючести проверяется в процессе его горения с созданием затруднённых условий из-за закономерно возрастающих теплопотерь. Это возрастание происходит за счёт рассеивания тепла в окружающую среду по мере изменения угла горения при прохождении кромки горения по полукругу. Содержание антипирена уменьшено против необходимой огнезащиты, чтобы при зажигании образцы могли самостоятельно гореть на каком-то участке полукруга до момента, когда теплоотвод возрастёт настолько, что в образце скорость горения

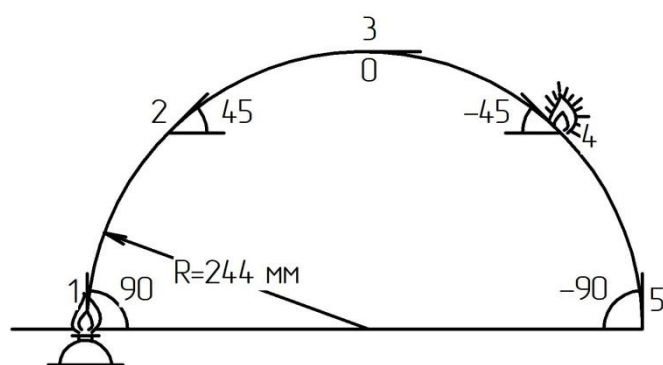


Рис. 1. Схема метода «полукруг». Точки прохождения кромки горения по полукругу обозначаются в тексте

сначала замедлится, а затем горение прекратится. Вместо точечного результата «горит – не горит» снимается кинетика процесса угнетённого возрастающим теплоотводом горения, которое дополнительно затруднено огнезащитной функцией антипирена. Эта функция и выявляется в процессе испытания.

Регистрировали участок зажигания *а*, переходный к самостоятельному горению участок *б*, мак-

симальную скорость горения u_{max} , угол затухания α , длину сгоревшей части L_2 и рассчитывали оценочный индекс сопротивления горению M . Участки устанавливали по скорости горения, как это видно на рис. 2; участок z характеризуется плавным снижением скорости до затухания и служит для оценки антипиренов. Обоснованию такой оценки и посвящена статья.

Образцы ДСП прессовали из промышленно изготовленной стружки, обработанной антипиренами А1, А2 и А3 с использованием меламинаформальдегидной смолы (СТО 0023789–057–212) при температуре 200 ± 2 °С по режиму 0,3 мин / мм толщины готовой плиты. Испытывали в огневой трубе по ГОСТ 12.1.044–84.

В табл. 1 в порядке постановки вопроса приведены результаты испытания образцов с антипиренами при расходе 20 %, толщиной 10 мм. Эти данные взяты из серии испытаний ряда вариантов с некоторыми антипиренами, но лучшие результаты показали образцы с антипиренами, которыми мы в дальнейшем воспользовались для установления пригодности метода сравнительной оценки антипиренов методом «полукруг».

Таблица 1 – Показатели огневых испытаний ДСП

Антипирен	Плотность, кг/м ³	Самостоятельное		Потеря массы, %
		горение, с	тление, с	
А1	680 ± 15	0...1	10 ± 4	12 ± 3
А2	690 ± 13	0...3	11 ± 3	10 ± 2
А3	620 ± 10	0...2	9 ± 4	8 ± 4

Самостоятельное горение всех образцов отсутствует. Тление (или раскалённое свечение со следами дымовыделения) также не показательно. Результаты приводят к выводу, что плиты соответствуют требованиям метода «огневая труба», но чувствительность метода не даёт однозначного ответа на вопрос, что выбрать? Вариант с А3 не подходит по условиям низкого качества образцов. Его используем для сравнения с А1 и А2 как хороший антипирен, но пригодный только для древесины. Он вводится пропиткой и горячее прессование плит в его присутствии не предусмотрено, по крайней мере их качество в отношении физико-механических показателей сильно ухудшается.

Вариабельность технологических параметров повлияет на толщину и плотность образцов и, следовательно, на горючесть. Комплексные испытания пожароопасности материалов – горючести, дымообразующей способности, токсичности – могут выявить существенное различие в эффективности антипиренов, практически не видимое по данным таблицы. Однако дальнейшая разработка обоих вариантов (а в реальной задаче их может быть много) связано с большими затратами, например, при испытании в шахтной печи. Нужно сделать выбор в пользу только одного варианта. Перед нами стояла и другая методическая задача: как сделать правильный выбор антипирена, если традиционно используемые разработчиками испытания в огневой или керамической трубе из-за низкой чувствительности метода дают результаты, которые не служат достоверными для однозначного решения по выбору антипирена.

Сложные исследования по механизму действия антипирена и математическому моделированию помогут определиться, но для простого первичного выбора такие материальные и временные затраты не оправданы. Нужно минимизировать затраты на начальной стадии разработки путем выбора лучшего из изучаемых антипиренов, а в дальнейшем переходить к углубленным научным исследованиям или ограничиваться решением поставленной технической задачи.

Следует отметить, что выбранная физическая модель «шпон с уменьшенным содержанием антипирена» относится к термически тонким материалам, в которых соотношение между размерами теплового слоя пламени и толщиной материала в кромке пламени зависят от химической кинетики в реакционной зоне и массопереноса [1]. Обычно при ламинарном горении полимерные материалы рассматриваются как термически тонкие, если их толщина менее 3...4 мм. Используемый в нашей работе шпон имеет толщину 1,5 мм.

Линейная скорость распространения горения термически тонких материалов определяется скоростью тепловыделения (экзотермой процесса) в зоне горения, градиентом температуры, температуропроводностью и тепловым потоком из зоны горения путем теплопереноса (теплоотводом) [2].

Примем, что градиент температуры – разность температур зажигания (пламя спиртовой горелки) и окружающей среды (воздух), а также теплопроводность шпона для вариантов образцов в наших испытаниях одинаковы. Тогда в исследованиях определяющими параметрами являются скорость тепловыделения (v_{Γ}) и скорость теплоотвода (v_{τ}). Сокращённое против контроля тепловыделение обуславливается присутствием антипирена, угнетающего горение, и зависит от его ингибирующей эффективности и от его количества. Теплоотвод, в свою очередь, обуславливается участком, по которому последовательно проходит кромка горения на полукруге в соответствующей каждой точке на схеме. По мере прохождения пламени по полукругу меняются условия теплопередачи от факела пламени к образцу, обдув собственными продуктами сгорания уменьшается и тем значительно растёт v_{τ} , а обратный тепловой поток от горящего образца в «свежую» массу шпона сокращается. Критическим условием затухания становится равенство тепловыделения и теплоотвода $v_{\Gamma} = v_{\tau}$. При равенстве скоростей горение прекращается.

Итак, степень продвижения кромки горения по полукругу, угнетаемая теплотерями, дополнительно зависит от ингибирующей способности изучаемого антипирена и введенного в субстрат его количества. Отметим, что количественная зависимость ограничена определенными пределами и нелинейна. Поэтому сравнительная оценка эффективности антипиренов должна производиться при равной их массовой доле в субстрате (шпоне) с идентичностью образцов по плотности, толщине, влажности.

Рассмотрим с этих позиций рис. 2 для испытания образцов шпона, содержащих по 3,5 % антипиренов А1 и А2. В методическом плане нам важно, что выбранные антипирены различаются химической природой фосфорсодержащих соединений (они на основе двухосновной и трёхосновной кислот) и соот-

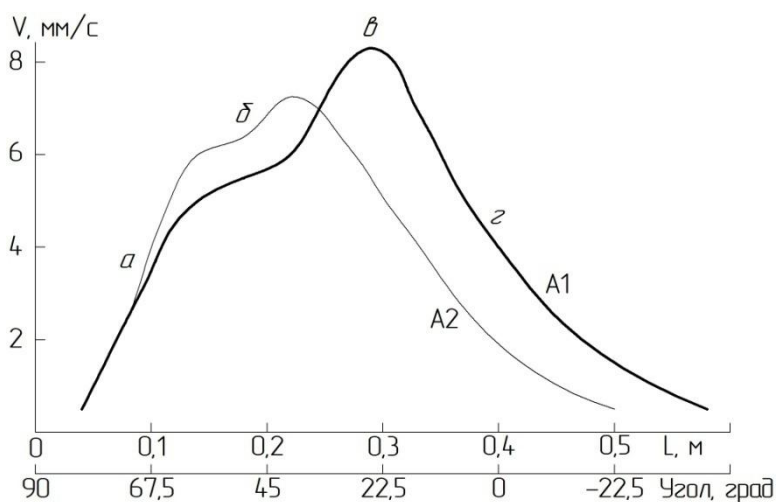


Рис. 2. Кривые изменения скорости горения образцов шпона, содержащего антипирены А1 и А2, по длине полукруга

нований для сравнения. Существенное значение имело выяснить, как ведут себя образцы в режиме самостоятельного горения, когда слабое ингибирующее действие антипирена (ввиду низкого уровня обработки субстрата) ещё дополнительно угнетается возрастанием теплоотвода, затрудняющего это горение. При этом возрастать теплоотвод должен по определенному закону, определяемому изменением наклона кромки прохождения фронта горения. Обратимся к рис. 1 с выделенными для обсуждения некоторыми точками процесса продвижения кромки (или факела) горения. Угол наклона составляет по схеме от + 90 град (в точке 1) с последовательным прохождением точек 2 (угол + 45 град) и 3 (угол 0 град) к отрицательным значениям угла. По мере прохождения по кругу тепло всё больше расходуется не на нагрев, а вовне подверженного горению образца. В точке 4 мы условно показали, что рассеивание тепла экзотермы горения в окружающую среду (теплоотвод) превышает нагрев «свежей» массы субстрата для поддержания горения, в силу чего горение затухает. Свечеобразное горение в точке 5 (угол наклона – 90 град) обуславливает наибольшие теплототери, если бы горение продолжалось.

На участке кривых *a* скорость горения обусловлена источником зажигания. Образцы омываются пламенем горелки, пламя захватывает зону порядка 100 мм. Различие собственно защитного действия антипиренов на этом участке практически не сказывается на скорости горения, прямые почти совпадают. С продвижением горения по полукругу кромка отдаляется от источника зажигания, и получает развитие всё в большей степени само горение, обусловленное тепловыделением (участок *б*). Образец «раскочегаривается», горение развивается и скорость достигает максимума (короткий участок *в*). Здесь уже не оказывает влияния источник зажигания, и в полной мере проявляется присутствие антипиренов. Их природа подавляет скорость горения в разной степени: образец с антипиреном А1 (далее просто образец А1) разгорается несколько сильнее, скорость максимума продвигается дальше по полукругу, чем у образца А2.

ношением N/P, что предопределяет различный механизм ингибирующего действия. Образцы шпона лучше поглощают антипирен 13, в результате общий уровень обработки оказался несколько большим и составил 5 %, поэтому его сравнение оказалось некорректным. Главное отличие этого варианта состоит в непригодности из-за физико-механических показателей плит. Его поведение при проведении испытаний лишено оснований

Теперь индивидуальное действие антипиренов на интенсивность тепловыделения в узком интервале проявляется в стационарном режиме, но по мере прохождения кромки горения по полукругу возрастает теплоотвод, угнетающий горение, и скорость замедляется.

На участке нисходящих кривых z наглядно выявляется различие образцов А1 и А2. При горении условия для теплоотвода у них одинаковы и определяются зоной прохождения кромки на полукруге, углом её наклона. Тогда различие в кривых на всём участке z связано исключительно с влиянием конкретных антипиренов.

Разумеется, антипирены в виде водного раствора могут поглощаться не строго одинаково, высушенные образцы можно проанализировать на соответствие уровня обработки простым весовым способом, но можно провести элементный анализ по основному «рабочему» элементу – фосфору (сравнение по массовой доли фосфора). Мы же проводили сравнение при одинаковом массовом содержании антипирена.

Сведём в таблицу данные по испытаниям, зарегистрированным на рис.2. Перевод значений сгораемой длины на полукруге в градусы угла наклона указан на соответствующей оси рисунка.

Таблица 2 – Показатели испытания образцов по методу «полукруг»

Образец	Участок a , мм	Переходный участок b , мм	v_{\max} , мм/с	α , град	L_T , мм	M
А1	до 100	100...290	8,4	– 40	570	54
А2	до 100	100...230	7,2	– 20	480	62
А3	до 100	100...350	7,4	– 16	470	45

Дополнительно отметим, что горение контрольных образцов (не содержащих антипиренов) существенным образом отличается от изучаемых. Скорость распространения горения примерно в 3 раза выше, образец сгорает на всю длину L_T без затухания. Анализировать его из-за отсутствия антипирена и проявления по этой причине угнетающего действия нет смысла. А высокая экзотерма перекрывает влияние роста теплопотерь из-за изменения угла факела (тут действительно факел).

Что же касается образцов, пропитанных антипиренами, то участок z плавного затухания скорости горения является основным для сравнительной оценки используемых антипиренов. Оценочный параметр складывается из v_{\max} , L_T и характера хода кривой. На качественном уровне по данным таблицы можно однозначно отдать предпочтение антипирену А2 в отношении ингибирования горения. Характер хода кривой можно описать уравнением параболы или выразить через константу процесса затухания, чтобы формально сравнить выявленную специфику действия антипиренов.

Отметим, что зависимость горючести образцов от угла наклона в момент воспламенения использовалась З.А. Роговиным с сотр. для оценки фосфоросодержащих эфиров целлюлозы [10]. Испытания проводились на полосках ткани в подборе угла затухания каждый раз с новым образцом, а в серии – с образца-

ми при разном содержании фосфора. Кинетику затухания при горении установить сложно, и исследователи ограничились оценкой «горит – не горит» и при каком угле наклона происходит затухание.

Таким образом предложен простой и быстрый метод оценки веществ для снижения горючести древесных плит, основанный на огневом испытании лущёного шпона с заниженным уровнем обработки, причём снятие кинетики процесса горения проводится в условиях закономерно возрастающей скорости теплоотвода при прохождении кромки горения по полукругу до полного затухания образца. Комплекс полученных параметров используется для сравнения проверяемых веществ на их пригодность в качестве антипиренов и выбора наиболее эффективного.

Анализ годится для любого числа химических соединений, подлежащих проверке для выбора подходящего антипирена, при решении конкретной технической задачи в создании огнезащищённых древесных плит. Этот выбор, основанный на сравнительной оценке, следует рассматривать в качестве первого этапа. Простота прибора и работы на нём с правильной интерпретацией результатов должны привлечь внимание разработчиков, нуждающихся в малозатратной оценке антипиренов, более информативной, чем распространённые испытания в огневой или керамической трубе. Выбранный таким образом антипирен можно использовать для изготовления опытной партии разрабатываемых древесных плит для заключительной стандартной оценки их согласно НПБ 251-98 по результатам испытания образцов большого размера.

Литература:

1. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
2. Киселев Я.С. Физические модели горения в системе предупреждения пожаров: монография. – СПб.: СПбУМВД, 2000. – 264 с.
3. Леонович А.А., Свиридо Е.А., Глазунова М.Г. Поисковые исследования в создании моноструктурных древесноволокнистых плит пониженной горючести // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. – С. 233-243.
4. Леонович А.А., Свиридо Е.А., Захаров С.С. Использование гидроксипропандиндифосфоновой кислоты в снижении горючести древесностружечных плит // Системы. Методы. Технологии. 2019. № 3 (43). – С. 111-115.
5. Леонович А.А. Теория и практика изготовления огнезащищённых древесных плит: монография. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 176 с.
6. Леонович А.А., Шпаковский В.Г. Древесностружечные плиты. Огнезащита и технология: монография. – СПб.: Изд-во «Лань», 2018. – 160 с.
7. Максименко Н.А. Методы изыскания, исследования и оценки антипиренов, применяемые в Сенежской лаборатории, и их результативность // Теоретические и практические аспекты огнезащиты древесных материалов. – Рига: Зинатне, 1985. – С. 136-150.
8. Пат. FI 127667В Финляндия, МКИ C09 K21/00. Антипирен PALONOT / Kukkonen Oy. J., Nissinen T.; Заявл. 09.03.2017; Оpubл. 10.09.2018.

9. Пат. № 517491. РФ, МКИ 6 В 27 К 3/52. Антипирен и способ его приготовления / Леонович А.А. – № 2108036/15; Заявл. 21.02.75; Оpubл. 05.03.93. Бюл. № 22

10. Роговин З.А. Химия целлюлозы. – М.: Химия, 1972. – 520 с.

11. Шелоумов А.В., Леонович А.А. Феномелогическая оценка антипиренов различной природы, используемых для древесных композиционных материалов // Древесные плиты: теория и практика / Под ред. А.А. Леоновича: 16-я международ. науч.-практ. конф., 20-21 марта 2013 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С. 29-35

12. Bassett G. Fire retardants // Timber Trades Journal. 1987. v. 341, № 5743, 17/1, – P. 23-32

13. BS 476-3:2004. Fire tests on building materials and structures. Classification and method of test for external fire exposure to roofs.

14. DIN 54331-1974. Testing of textiles; determination of the burning behavior, method of test by semi-circle.

УДК 544.773.3; 674.81

Особенности применения парафиновой эмульсии в производстве древесных плит

Д.М. Елисеев¹, Д.В. Иванов²

¹ООО «Химсинтез»

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Раскрываются рецептурные особенности применения парафиновых эмульсий, используемых в технологиях древесных плит. Сообщается об инновационных эмульсиях ООО «Химсинтез», позволяющих добиться принципиально нового эффекта при гидрофобизации продукции.

Ключевые слова: парафиновая эмульсия, парафин, древесностружечные плиты, водостойкость древесных плит.

В настоящее время в производстве древесных плит широко применяют парафиновые эмульсии. Введение эмульсии в смесь древесного сырья и связующего позволяет решить несколько вопросов:

1. Снижение расхода смолы за счёт частичной пропитки и покрытия древесных частиц парафином [1].

2. Облегчение подачи массы (смеси древесного сырья и смолы) при формировании ковра за счёт смазки поверхностей парафином [5].

3. Обеспечение временной водостойкости плит [6].

Рассмотрим, что же представляет собой эмульсия?

Эмульсия – дисперсная система, состоящая из микроскопических капель жидкости (дисперсной фазы), распределённых в другой жидкости (дисперсионной среде).

Например, парафиновая эмульсия для древесных плит – это капли затвердевшего парафина размером, как правило, 0,6...1,0 мкм, покрытые плёнкой эмульгаторов из ПАВ (поверхностно-активных веществ, которые снижают поверхностное натяжение на границе раздела двух фаз), равномерно распределённые по всему объёму электролита во взвешенном состоянии. Эмульсии бывают *прямые* (масло в воде), когда капля масла во взвешенном состоянии находится в водной фазе, и *обратные* (вода в масле) капля воды во взвешенном состоянии находится в масляной фазе (рис. 1).

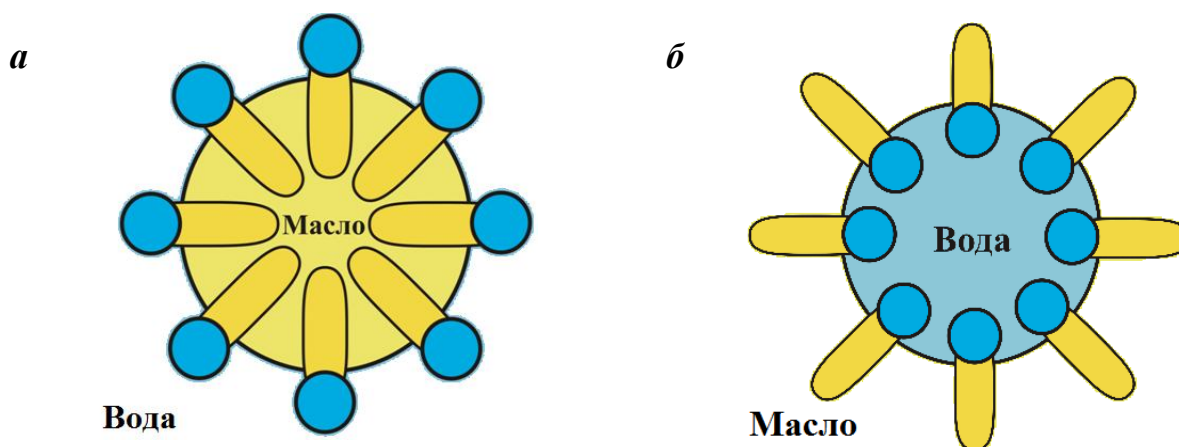


Рис. 1. Условная схема распределения частиц в прямых (а) и обратных (б) эмульсиях

Эмульгаторы в зависимости от способности полярной группы к электролитической диссоциации ПАВ делятся на *ионогенные* (катионные, анионные и амфотерные) и *неионогенные*. Эмульгаторы анионного типа, в водных растворах диссоциируют с образованием анионов, определяющих поверхностную активность. К этому типу ПАВ относятся карбоновые кислоты, алкиларилсульфонаты, алкилсульфонаты, алкилсульфаты и др. Катионные эмульгаторы в водных растворах диссоциируют с образованием катионов, обуславливающих поверхностную активность. К ним относятся алифатические и ароматические амины (первичные, вторичные и третичные) и их соли, четвертичные аммониевые основания и их соли, четвертичные фосфониевые и третичные сульфониевые основания, пиридиновые соединения и др.

Амфотерные ПАВ – вещества, в составе молекул которых присутствует и кислотная, и основная группы. В водных растворах такие ПАВ ионизируются и ведут себя в зависимости от условий (главным образом от pH среды), т. е. в кислом растворе проявляют свойства катионных ПАВ, а в щелочном растворе анионных ПАВ. К этому типу ПАВ относятся многие природные вещества, например аминокислоты и белки. Неионогенные эмульгаторы – соединения, которые растворяются в воде, не ионизируясь.

Выбирая тип эмульсии (прямая или обратная) и тип эмульгатора необходимо принимать во внимание условия применения этой эмульсии (вязкость эмульсии, pH среды, устойчивость эмульсии к внешним воздействиям и т.д.).

Так же при выборе эмульгатора необходимо учитывать гидрофильно-липофильный баланс.

Огромное влияние на эффективность парафиновой эмульсии (снижение разбухания плит) оказывает качество основного сырья – парафина. В первую очередь это касается количества масла в исходном сырье (около 8...12 %). Опыт нашей работы с потребителями показал, что если масла будет менее 8 %, возможны проблемы с дозирующим насосом. Возникнет коалесценция частиц (слипание укрупнение частиц) внутри насоса, с дальнейшим разрушением эмульсии. В случае переизбытка масла (более 12 %) плиты будут иметь повышенную пористость, что негативно скажется на водостойкости.

Важным фактором в производстве эмульсии является *стабильность во времени* и устойчивость при взаимодействии с компонентами плит, такими как смолы, отвердители, осадители и т.д. Стабильность эмульсии – способность сохранять заданные свойства (в данном случае размер частиц и вязкость) без дополнительного воздействия (перемешивания и т.д.) определяется: во-первых размером частиц, то есть способом производства этой эмульсии. Согласно обнаруженным нами закономерностям, оптимальным можно считать размер частиц 0,6 мкм [2]; количество частиц этого размера 95 % (рис. 2, поз. 1). Эмульсии с иным распределением частиц (рис. 2, поз. 2. и 3) скорее всего, будут менее стойки и механическому воздействию и склонны к коалесценции. Аналогичные результаты были получены в работе [3]. Во-вторых, типом применяемых эмульгаторов. Например, при производстве древесных плит с формированием ковра в воздушной среде используют эмульсии анионного типа, а для производства ДВП мокрым способом – эмульсии неионогенного типа. Это позволяет обеспечить стабильность эмульсии при смешивании с компонентами ДВП (фенолформальдегидная смола, осадитель и т.д.).

Технология производства парафиновой эмульсии известна достаточно давно; производства распространены по всему миру. Состав эмульсии понятен: *парафин, вода, эмульгаторы*. С точки зрения новаторства – тупик. Однако, на наш взгляд, используется не весь потенциал парафина как гидрофобизатора.

Рассмотрим более подробно работу парафиновой эмульсии на примере древесностружечных плит:

1. Капля эмульсии, попадая на поверхность стружки, за счёт присутствующей воды, достаточно быстро распределяется по поверхности. При этом образуется слой парафина толщиной минимум 0,6 мкм (толщина слоя определяется размером частиц парафина в эмульсии).

2. В момент прессования парафин плавится и распределяется по поверхности древесных частиц, частично закрывая поверхность и заполняя капилляры.

Однако известно, что древесина гидрофильна, а парафин гидрофобен, то есть краевой угол смачивания парафина на стружке достаточно большой, что препятствует быстрому и эффективному распределению парафина по поверхности древесины. Для более эффективного распределения расплава парафина можно применять модификаторы, способствующие смачиванию древесины, а

также не препятствующие, а может даже способствующие лучшему растеканию эмульсии по древесине.

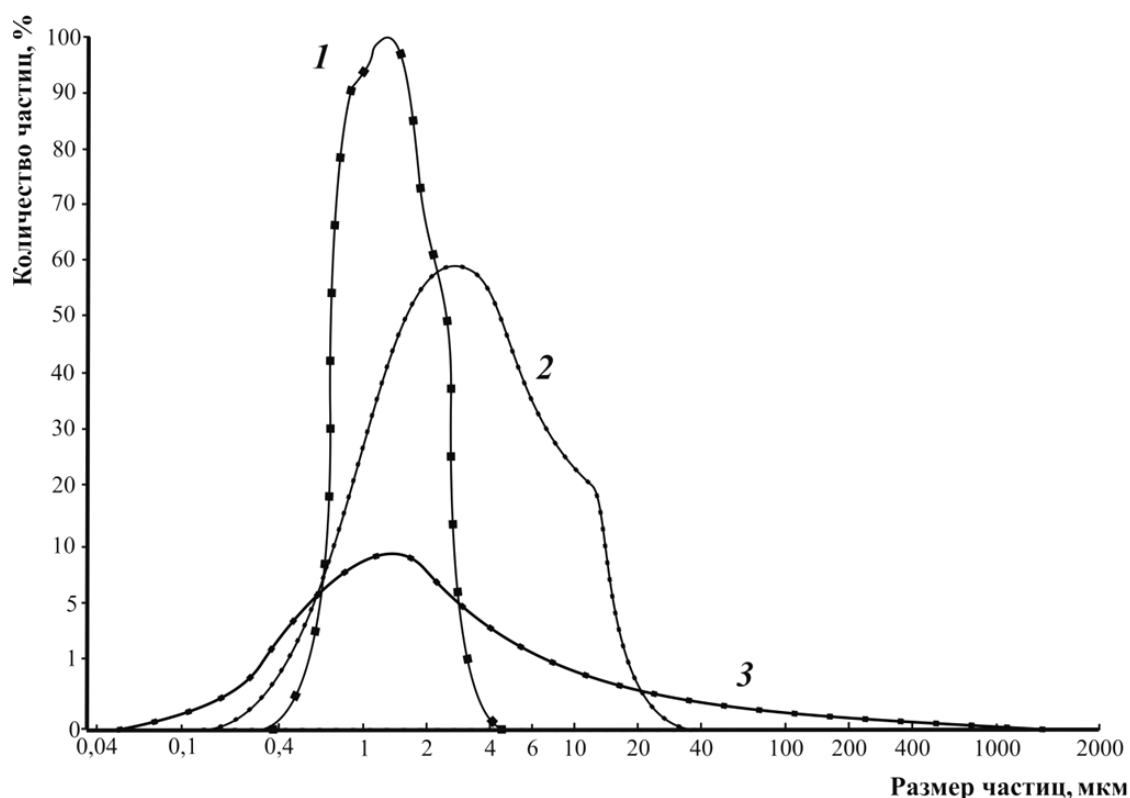


Рис. 2. Распределение частиц парафина в эмульсиях разного качества: 1 – эмульсия, стабильная не менее 180 сут.; 2 – эмульсия, стабильная не более 7 сут.; 3 – эмульсия, стабильная не более 8 ч

Нами были проведены исследования, в первой части которых моделировали процесс прессования с точки зрения воздействия температуры на парафиновую эмульсию, с возможностью наблюдения процесса распределения парафина по древесине [4]. В качестве модели использовали шлифованную берёзовую фанеру и эмульсии анионного типа концентрацией 60 % с содержанием масла 10 % от парафина. Растекание эмульсии наблюдали визуально (рис. 3).

Образцы эмульсий в виде капель наносили на поверхность фанеры (рис. 3, а) и выдерживали в термостате при температуре 110...115 °С в течение 2 мин (моделировали температуру внутреннего слоя при прессовании древесных плит). На рис. 3, б отчётливо видно, что не обычная эмульсия (капля 1) смачивает поверхность древесины намного хуже, чем эмульсии с модификаторами. Эта модель позволила подтвердить предположение о возможном эффекте от введения в эмульсию добавок, повышающих текучесть расплава парафина.

Вторая часть эксперимента – сравнение эффективности эмульсии с модификатором (капля 4 на рис. 2) и без модификатора на образцах древесностружечных плит, изготовленных в лабораторных условиях. Изготавливали однослойные плиты размером 400 × 400 × 10 мм, расчётной плотностью 650 кг/м³ с использованием карбаминоформальдегидной смолы. Массовая доля абс. сух. смолы составила 11 % от массы абс. сух. плиты, массовая доля парафина по сухим веществам 2 %. В качестве отвердителя использовали сульфат аммония,

взятый с массовой долей 1 % от массы абс. сух. смолы. Горячее прессование проводили в течение 0,15 мин/мм толщины готовой плиты при температуре греющих плит прессы 220 °С.

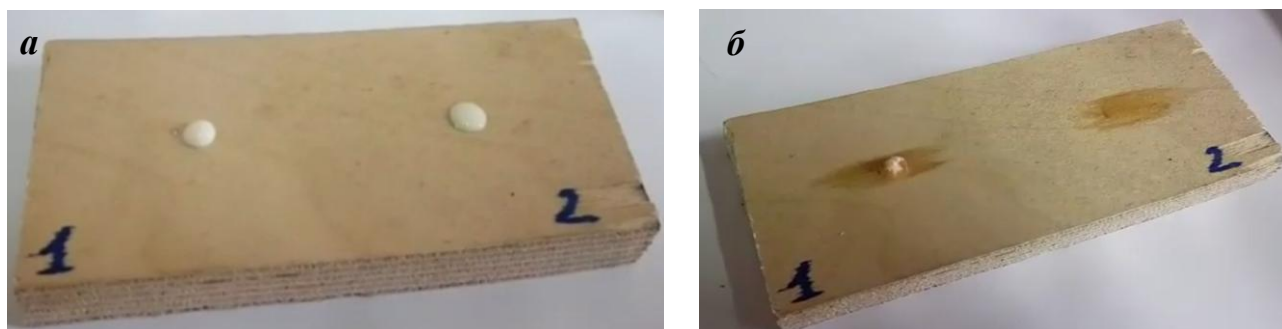


Рис. 3. Растекание образцов парафиновых эмульсий по древесной подложке до (а) и после (б) термообработки: 1 – образец эмульсии без модификаторов; 2 – образец модифицированной эмульсии. QR-код – видеодемонстрация эксперимента [4]



Определяли прочность при изгибе по ГОСТ 10635–88 и прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты согласно ГОСТ 10636–2018. Полученные результаты пересчитывали на плотность 650 кг/м³ по формулам, приведённым в пособии [5]. Результаты испытаний представлены в таблице.

Таблица – Физико-механические показатели древесностружечных плит

Наименование показателя	Значения показателей для образцов с эмульсией:	
	модифицированной	не модифицированной
ρ , кг/м ³	626 ± 24	634 ± 13
$\sigma_{\text{изг}}^{\phi}$, МПа	12,2 ± 0,8	12,3 ± 0,9
$\sigma_{\text{изг}}^{\text{H}}$, МПа	14,2 ± 0,6	13,6 ± 0,6
σ_{\perp}^{ϕ} , МПа	0,28 ± 0,02	0,28 ± 0,02
$\sigma_{\perp}^{\text{H}}$, МПа	0,30 ± 0,01	0,29 ± 0,01

Обозначения: ρ – плотность; $\sigma_{\text{изг}}^{\phi}$ – фактическая прочность при изгибе; $\sigma_{\text{изг}}^{\text{H}}$ – прочность при изгибе, приведённая к плотности 650 кг/м³; σ_{\perp}^{ϕ} – фактическая прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты; $\sigma_{\perp}^{\text{H}}$ – прочность при растяжении перпендикулярно пласти плиты, приведённая к плотности 650 кг/м³.

Согласно данным таблицы, основные показатели плит при использовании модифицированной эмульсии практически не меняются. На рис. 4, б видно, что плиты с модифицированной эмульсией поглощают больше влаги, чем плиты с обычной эмульсией, однако это не приводит к их повышенному разбуханию (рис. 4, а). Разбухание в первые 20 ч у плит с обычной эмульсией меньше, однако к 48 ч их деформация уже значительно превышает деформацию плит с модифицированной эмульсией. Модифицированная эмульсия не препятствует проникновению влаги в поры плиты, о чём свидетельствует большое водопоглощение на протяжении всего времени выдержки в воде. При этом замедляется проникновение влаги внутрь древесных частиц, о чём свидетельствует уменьшение скорости разбухания после 24 ч. Парафин, вместо того, чтобы

быть на поверхности древесных частиц намного глубже проникает в капилляры древесины, поэтому при большом содержании влаги внутри плиты её линейные размеры остаются неизменными.

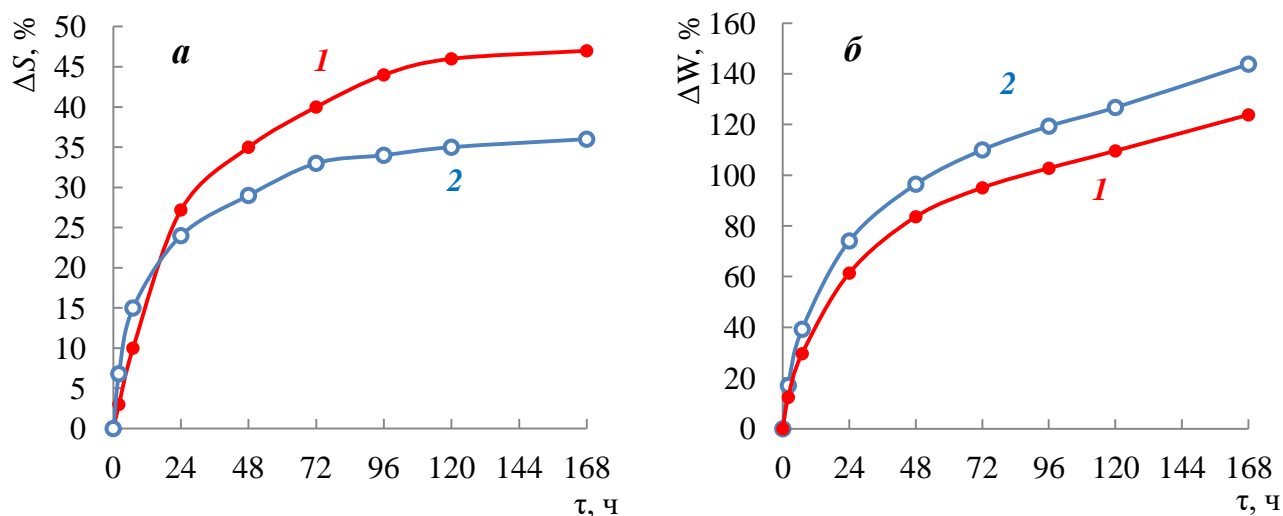


Рис. 4. Разбухание (а) и водопоглощение (б) древесностружечных плит, изготовленных с обычной (1) и модифицированной (2) парафиновой эмульсией

Следует отметить, что высота, на которую поднимается кривая разбухания для плиты с модифицированной эмульсией практически на 15 % ниже, чем высота, на которую поднимается кривая разбухания для плиты с обычной эмульсией. Можно сказать, что временная водостойкость, которая обычно обеспечивается парафиновыми эмульсиями, переходит в постоянную, что не только интересно с практической стороны, но и является новым научным результатом.

Литература:

1. Васильев В.В., Веснина Е.Н. Сокращение расхода карбамидоформальдегидной смолы при изготовлении древесностружечных плит повышенной водостойкости // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2009. № 3. – С. 11-14.
2. Ильиничев А.И. Использование отходов целлюлозно-бумажного производства (ЦБП) в качестве эмульгаторов парафиновой эмульсии // *Состояние и перспективы развития производства древесных плит: 17-я Международная научно-практическая конференция 19-20 марта 2014 г. – Балабаново, 2014. – С. 120-127.*
3. Леонович А.А., Бутузов А.С. Об эффективности парафиновых эмульсий ERGOWAX60 для гидрофобизации древесных плит // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2008. № 185. – С. 224-232.
4. Растекание парафиновых эмульсий по древесной подложке. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://disk.yandex.ru/i/yttnulXZ27YKUQ>, свободный. [Дата обращения – 14.02.2021].
5. Шварцман Г.М., Щедро Д.А., Производство древесностружечных плит. 4-е изд. переработанное и дополненное. – М.: Лесн. промышленность, 1987. – 320 с.

6. Эльберт А.А. Водостойкость древесностружечных плит. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 96 с.

УДК 674

Использование некоторых высокомолекулярных соединений природного происхождения для повышения экологической безопасности древесностружечных плит

Е.В. Дубоделова¹, А.А. Кожемяко², И.М. Грошев³

¹*Белорусский государственный технологический университет*

²*ОАО «Витебскдрев»*

³*Витебский государственный технологический университет*

Для повышения экологической безопасности древесностружечных плит, а также их стабильного соответствия требованиям международных стандартов, предложено использование в составе связующего высокомолекулярных соединений природного происхождения – крахмала, ржаной и пшеничной муки. В целях обеспечения технологических свойств акцептора формальдегида: концентрация до 14 % с обеспечением низкой условной вязкости по вискозиметру ВЗ-4 (11 с), использовано ферментирование препаратами амилолитического и/или целлюлолитического действия (в случае применения муки) в процессе варки. Разработаны клеевые композиции, обеспечивающие снижение токсичности на 9...35 %, повышение предела прочности при изгибе до 14 %, предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты до 17 %, а также снижение расхода карбамидоформальдегидных смол на величину до 14 %.

Ключевые слова: древесностружечные плиты, карбамидоформальдегидные олигомеры, крахмальный реагент, акцепторы формальдегида

Обращение древесностружечных плит, включая плиты древесные с ориентированной стружкой (OSB от англ. *oriented strand board*) на рынках ЕАЭС, Европы и Америки требует обязательного подтверждения соответствия этих материалов показателям экологической безопасности. При использовании в составе древесных плит связующих на основе карбамидоформальдегидных олигомеров нормируется содержание свободного формальдегида. Требования к данному показателю установлены в нормативных правовых актах самого высокого уровня: *Verordnung ber Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens und über die Abgabe bestimmter Stoffe, Gemische und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung – ChemVerbotsV)*; *Bekanntmachung analytischer Verfahren für Probenahmen und Untersuchungen für die in Anlage 1 der Chemikalien-Verbotsverordnung genannten Stoffe und Stoffgruppen*; раздел VI Закона «О контроле над токсическими веществами (TSCA)» Управления охраны окружающей среды США (EPA) и регламент CARB (Калифорнийского совета по воздушным ресурсам). Следует отметить ужесточение требований к

эмиссии свободного формальдегида в древесных плитах, что закономерно требует поиска путей снижения токсичности материалов и обеспечения стабильности по данному показателю. Решение данной проблемы возможно следующими способами: переходом на дорогостоящие карбамидомеламиноформальдегидные, изоционатные связующие, а также путём использования в процессе осмоления акцепторов формальдегида. Известно о применении следующих акцепторов формальдегида – карбамид, карбамидо-аммиачная смесь, окисленный крахмальный реагент, каолин, аэросил и др. [1]. Среди перечисленных акцепторов формальдегида, по нашему мнению, интерес представляет окисленный крахмальный реагент, так как он получен из экологически безопасных высокомолекулярных соединений природного происхождения, имеющих высокое сродство к целлюлозосодержащему волокну. Особенность нашего решения заключается в использовании ферментной обработки высокомолекулярных соединений в целях обеспечения технологических свойств акцептору (низкая условная вязкость по вискозиметру ВЗ-4 с соплом диаметром 4 мм – 11 с при концентрации до 14 %). При этом получение акцептора может быть реализовано производителем древесных плит на территории своего предприятия, поскольку не требует значительных капитальных затрат и стоимость ферментных препаратов в структуре себестоимости акцептора незначительна. Нами были использованы следующие высокомолекулярные органические соединения природного происхождения: картофельный крахмал (ГОСТ 7999), ржаная и пшеничная мука (ГОСТ 7045, ГОСТ 9353). Мука содержит в своем составе не только крахмал, но и белковые соединения, обладающие высокой клеящей способностью.

При проведении эксперимента в целях получения клейстера с низкой вязкостью и высокой концентрацией его ферментировали препаратами амилолитического и целлюлолитического действия (в случае применения муки) в процессе варки. Наиболее низкой стоимостью обладал ферментный препарат амилолитического действия BAN 480 L, который за счёт беспорядочного гидролиза 1-4 и 1-6- α -гликозидных связей, обеспечивал низкую вязкость (11...13 с по ВЗ-4) при концентрации 14,5 % и повышал, таким образом, технологические свойства клейстера. Расход ферментов амилолитического действия, определённый на основании лабораторных исследований для крахмала, находился в пределах 0,00003...0,00160 % к массе а.с. крахмала. Для получения клейстера из муки была подобрана следующая композиция: мука 98,350...99,945 мас. %, фермент амилолитического действия – 0,005...0,150 мас. %, фермент целлюлолитического действия – 0,05...1,50 мас. %.

Результаты опытно-промышленных испытаний древесностружечных плит, проведенные в условиях работы ОАО «Ивацевичдрев» и ОАО «Витебскдрев» показали, что замена 8...14 % карбамидоформальдегидной смолы на клейстер с расходом 2,4 % (к смоле) обеспечивает соответствие показателей качества и безопасности плит требованиям действующих ТНПА. При этом наблюдалось снижение токсичности на 9...35 % при улучшении физико-механических показателей древесностружечных плит: предел прочности при разрыве перпендику-

лярно пласти плиты возрастал до 17 %, предел прочности при изгибе – до 14 %. При проведении отделки экспериментальных плит не только не наблюдалось затруднений в ведении технологического процесса, но и улучшался показатель удельного сопротивления при нормальном отрыве покрытия. Достигнуто снижение расхода карбамидоформальдегидных смол на величину до 14 %.

Проведение исследований позволило разработать следующие композиции древесностружечных плит:

Композиция 1:

карбамидоформальдегидная смола – 9,2...11,5 мас. %; отвердитель – 0,046...0,115 мас. %; мука, модифицированная ферментами амилолитического и целлюлолитического действия – 0,276...1,035 мас. %; древесная стружка – остальное.

Композиция 2:

карбамидоформальдегидная смола – 9,20...11,22 мас. %; отвердитель – 0,092...0,112 мас. %; крахмал, модифицированный ферментом амилолитического действия – 0,449...0,920 мас. %; древесная стружка – остальное.

Композиции защищены патентами РБ и РФ [2–4].

Литература:

1. Божелко И.К., Янушкевич А.А., Дубоделова Е.В. Технология деревообработки: учеб.-метод. пособие – Минск: БГТУ, 2019. – 199 с.
2. Патент № 10434 РБ, МПК⁷ В 27N 3/00. Композиция для древесностружечных плит / Соловьева Т.В., Хмызов И.А., Шкирандо Т.П. № 20060033; Заявл. 13.01.2006; Опубл. 30.04.2008.
3. Патент № 11771 РБ, МПК⁷ В 27N 3/00. Композиция для древесностружечных плит / Соловьева Т.В., Дубоделова Е.В., Шкирандо Т.П. № 20070967; Заявл. 30.07.2007; Опубл. 30.04.2009.
4. Патент № 2561445 РФ, МПК В27N3/02, С08L97/02. Композиция для древесностружечных плит / Росляков Ю.Ф., Литвяк В.В., Гончар В.В. № 2014116317/13; Заявл. 22.04.2014; Опубл. 27.08.2015.

УДК 674.816.3; 665.772.5

Парафиновая эмульсия для производства древесных материалов, выдерживающая многократные циклы замораживания-оттаивания

Д.А. Богачев

ООО «ЭмульКом»

Исследовано поведение парафиновой эмульсии АКВАВОСК 1972, используемой в производстве древесноволокнистых плит, при многократных циклах замораживания-оттаивания. Изучены критически важные параметры эмульсии, изменяющиеся в ходе циклических температурных воздействий – динамическая вязкость, средний размер частиц, коллоидная стабильность. Показана

возможность хранения и транспортировки эмульсии при отрицательных температурах.

Ключевые слова: парафиновая эмульсия, замораживание-оттаивание, стабильность, древесностружечные материалы.

Классические парафиновые эмульсии [1, 2, 3, 4], используемые для производства древесноволокнистых плит, стабилизированные анионными или комбинацией анионного / неионогенного эмульгаторами, как правило, не обладают устойчивостью к замораживанию (с последующим оттаиванием). Ввиду большой протяженности территории Российской Федерации и продолжительного периода отрицательных температур в большинстве климатических зон (до 6...8 месяцев) становится актуальным использование парафиновой эмульсии, устойчивой к многократным циклам замораживания-оттаивания. Это снижает издержки на транспортировку (не требуется теплый режим перевозки), а также исключает необходимость хранения больших запасов перед зимним периодом (в случае расположения производств древесных материалов в наиболее удаленных и холодных регионах). При этом важно, чтобы такая эмульсия обладала гидрофобизирующими свойствами, сопоставимыми с классическими эмульсиями (при том же расходе на массу стружки), не содержала добавок органических растворителей (повышающих пожароопасность).

В данной работе исследуется стабильность к замораживанию-оттаиванию парафиновой эмульсии, состав которой был разработан с учётом указанных выше требований, а криопротекторная добавка (улучшающая стабильность эмульсии к замораживанию-оттаиванию) в технологическом процессе производства древесноволокнистой плиты вступала бы в химическую реакцию с фенолформальдегидными или карбамидоформальдегидными смолами.

Парафиновая водная эмульсия АКВАВОСК 1972 (разработанная в ООО «ЭмульКом») состоит из диспергированных субмикронных частиц парафина в воде в присутствии неионогенных эмульгаторов и криопротекторной добавки. В экспериментах использована эмульсия с сухим остатком 66,1 масс. %, плотностью 0,932 г/см³ (при 23 °С), рН 8,8, динамической вязкостью 301 мПа·с (шпindel LV2, 20 rpm). В эмульсии используется парафины с температурой плавления не менее 50 °С и содержанием масла не более 20 масс. %. Эмульсия получена предварительно смешением смеси парафинов (содержащей эмульгаторы) с водой (содержащей криопротекторную добавку) при температуре выше плавления парафина – получением грубой так называемой пре-эмульсии – и далее пропусканием дважды через лабораторный плунжерный гомогенизатор высокого давления и последующем охлаждением в теплообменнике.

В дисперсионном анализе используется дистиллированная вода.

Замораживание-оттаивание. Замораживание и оттаивание эмульсии проводилось двумя способами: в первом – 500 см³ эмульсии в полипропиленовой банке с плотно закрытой крышкой выдерживались в морозильной бытовой камере при температуре – 18 °С в течение не менее 12 ч, затем эмульсия оттаивала при комнатной температуре без перемешивания не менее 4 ч (до полного

температурного равновесия). После аккуратного перемешивания производились измерения вязкости по Брукфильду, размера частиц дисперсной фазы и коллоидной стабильности при центрифугировании. Последовательное замораживание и оттаивание эмульсии представляло собой один цикл замораживания-оттаивания. По второму способу стеклянная пробирка, плотно закрытая и снабженная термопарой с выходом на компьютер, с 10 см³ эмульсии охлаждалась в жидкостном криотермостате LOIP FT-216-40 до – 18 °С в течение 40...50 мин и затем нагревалась до 10 °С в течение 20 мин. В автоматическом режиме фиксировалось изменение температуры эмульсии во времени. После одно цикла замораживания-оттаивания производились измерения размера частиц.

Центрифугирование. Устойчивость эмульсии к расслоению (коллоидная стабильность) определялась с помощью центрифуги СМ-6М (Elmi), ротор 6М.05 (максимальное ускорение до 2300 g). 10 см³ эмульсии в 12 см³ полипропиленовых пробирках центрифугировались при 2300 g в течение 60 мин при комнатной температуре, визуально оценивалось объёмное отслоение водной фазы. При отслоении не более 5 об. % гарантируется срок хранения эмульсии не менее 6 месяцев.

Дисперсионный анализ. Средний размер частиц эмульсии определялся методом лазерной дифракции при предварительном разбавлении образца дистиллированной водой 1 : 10000. Измерения производились на лазерном дифрактометре Beckman Coulter LS 230.

Динамическая Вязкость. Для измерения динамической (кажущейся) вязкости использовался ротационный вискозиметр Brookfield LVDVL II + Pro, снабженный шпинделем LV2, значение вязкости определялись при 4 скоростях – 20, 30, 50 и 100 rpm.

Парафиновая эмульсия АКВАВОСК 1972, специально разработанная для выдерживания многократных циклов замораживания-оттаивания, подверглась 10 температурным циклам замораживания (до – 18 °С) и оттаивания (до 25 °С). При оценке **коллоидной стабильности** эмульсии после каждого цикла значения данного параметра не превышали 5 % об., таким образом, замораживание эмульсии до – 18 °С с последующим её оттаиванием значимо не влияет на срок хранения эмульсии.

Результаты измерений **динамической вязкости** эмульсии после каждого цикла приведены на рис. 1. Характер изменения вязкости в зависимости от скорости вращения шпинделя после каждого цикла сохраняется, в каждом случае проявляя поведение неньютоновской жидкости. Значения динамической вязкости после замораживания-оттаивания существенно не отличаются от исходной эмульсии – при 20 rpm значения колеблются в пределах (300 ± 50) мПа·с против 301 мПа·с, при 100 rpm – в пределах (180 ± 30) мПа·с против 166 мПа·с. Таким образом, значимая неизменность динамической вязкости парафиновой эмульсии после замораживания-оттаивания обеспечивает сохранение её эксплуатационных свойств при операциях перекачивания, распыления и т.д.

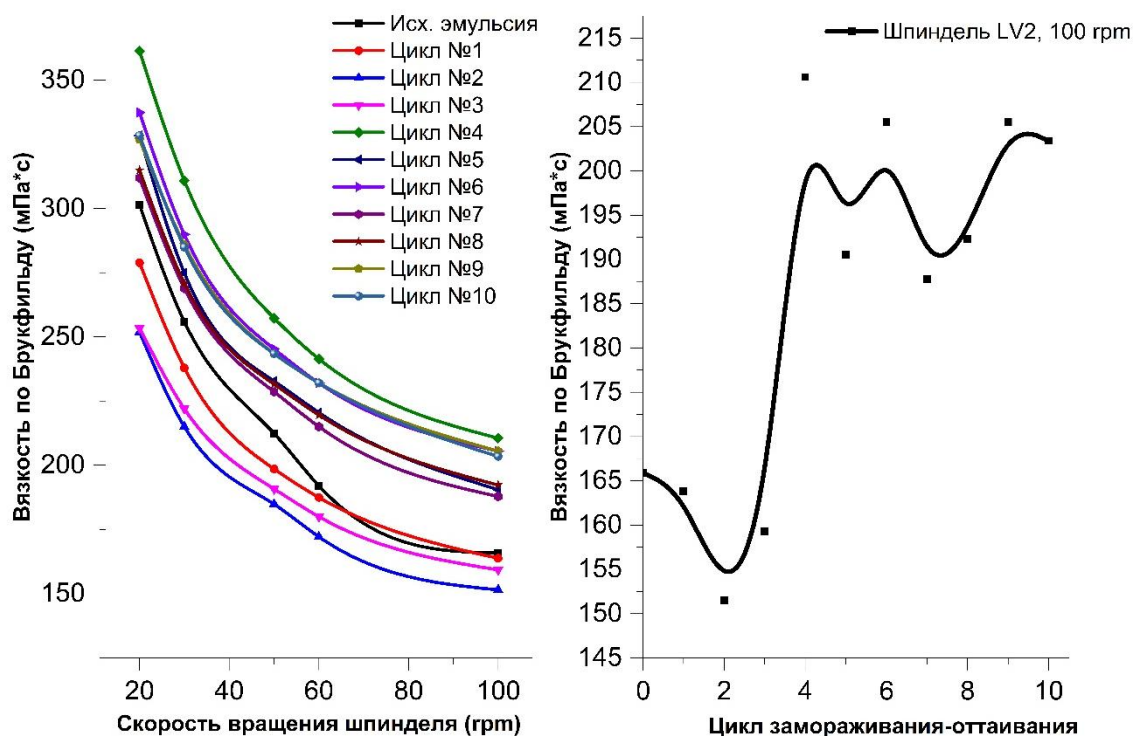


Рис. 1. Зависимость вязкости эмульсии от количества циклов замораживания-оттаивания. Слева – зависимость от скорости вращения шпинделя, справа – изменение вязкости эмульсии, измеренной при 100 rpm.

Средний размер частиц эмульсии также не претерпевает существенных изменений (рис. 2). Исходная эмульсия имеет средний размер частиц – 620 нм (D_{50}).

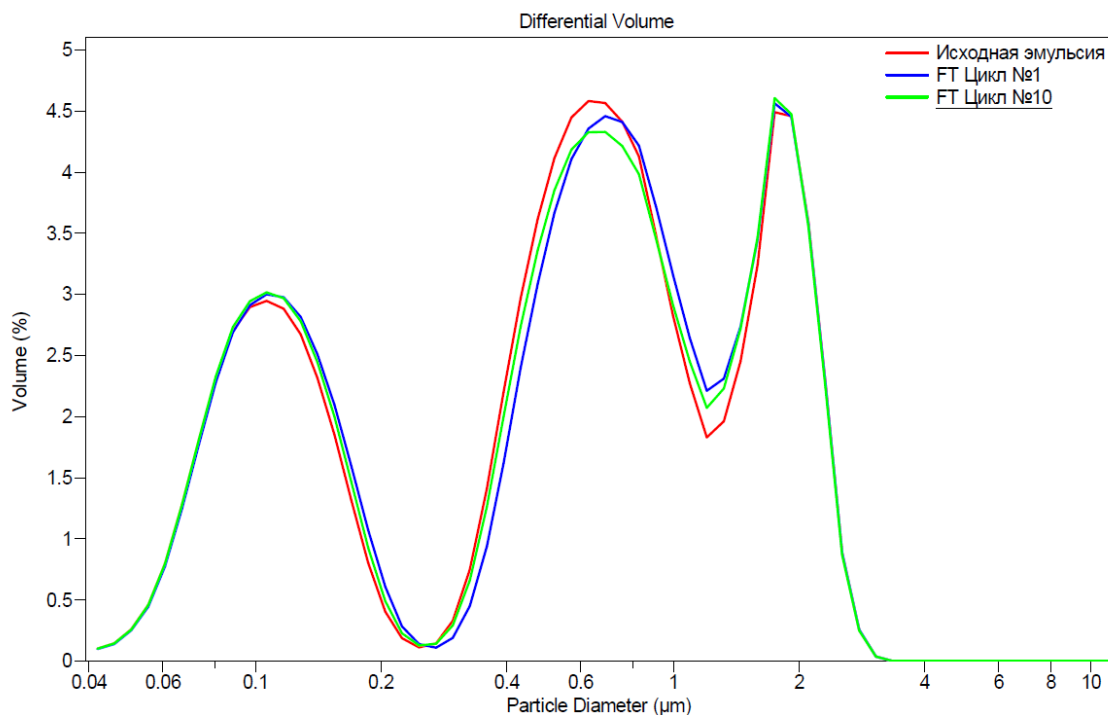


Рис. 2. Зависимость размера частиц эмульсии от количества циклов замораживания-оттаивания. Для наглядности приведены значения для цикла № 1 и № 10.

Значение среднего размера частиц, а также распределение по размерам имеют важное значение для парафиновой эмульсии, так как данный параметр непосредственно влияет на эффективность распределения парафиновых частиц по поверхности древесных волокон, что в свою очередь влияет на величину разбухания древесностружечной плиты. Сохранение распределения по размерам частиц для АКВАВОСК 1972 в ходе многократных циклов замораживания-оттаивания говорит об отсутствии коагуляции парафиновых частиц при отрицательных температурах, что можно объяснить, как образованием защитной оболочки из гидратированных молекул неионогенных эмульгаторов и криопротектора, так и изменением реологических свойств и фазовых превращений самой дисперсионной среды (воды).

В ходе исследования поведения парафиновой эмульсии Аквавоск 1972 при многократных циклах замораживания-оттаивания было установлено:

- динамическая вязкость эмульсии изменяется в незначительных пределах относительной исходной эмульсии;
- коллоидная стабильность не превышает 5 об. %;
- средний размер частиц и распределение по размерам остаются неизменными.

Вышеуказанное даёт основание полагать, что данная эмульсия обладает хорошей стабильностью к замораживанию-оттаиванию (как минимум, до – 18 °С). В свою очередь это говорит о возможности хранения и транспортировки эмульсии при отрицательных температурах.

Литература:

1. Aoki T., Decker E.A., McClements D.J. 2005. Influence of environmental stresses on stability of O/W emulsions containing droplets stabilized by multilayered membranes produced by a layer-by-layer electrostatic deposition technique. *Food Hydrocolloids* 19:209-20.
2. Degner B.M., Chung C., Schlegel V., Hutkins R., McClements D.J. Factors Influencing the Freeze-Thaw Stability of Emulsion-Based Foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2014 Mar;13(2): 98-113.
3. Leal-Calderon F., Schmitt V., Bibette J. *Emulsion Science Basic Principles*, 2nd ed. New York: Springer, 2007. – 227 p.
4. Mújika-Garai R., Aguilar-García C., Juárez-Arroyo F., Covián-Sánchez I., Nolla J., Esquena J., Solans C., Rodríguez-Valverde M.A., Tejera-García R., Cabrerizo-Vílchez M.A., Hidalgo-Álvarez R. (2007). Stabilization of Paraffin Emulsions Used in the Manufacture of Chipboard Panels by Liquid Crystalline Phases. *Journal of Dispersion Science and Technology*,28:6,829 — 836.

Сокращение скорости сушки древесного композита за счёт модификации наполнителя

К.В. Саерова, Л.В. Лямина, Р.Р. Сафин, Ш.Р. Мухаметзянов

*Казанский национальный исследовательский
технологический университет*

Приведён сравнительный анализ обычного и термомодифицированного древесного наполнителя с целью выявления наиболее выгодной скорости сушки древесностружечных плит.

Ключевые слова: анализ, наполнитель, древесностружечная плита.

На сегодняшний день производство древесностружечных плит является актуальным для деревообрабатывающей промышленности. Развитию данной области способствует несколько важных показателей, например, для их получения применяется недорогие, низкие по качеству породы древесины, а именно отходы от их производства. Также такие панели широко применяются в строительной и мебельной промышленности.

Применение в производстве древесностружечных плит фенолформальдегидных олигомеров и обычного наполнителя позволяют изготавливать продукцию с высокими физико-механическими свойствами [4], однако выпускаемые плиты не имеют такого значимого свойства, как водостойкость, что не позволяет применять материал в условиях переменных температур.

Исходя из вышесказанного, нами предлагается технология использования термомодифицированного древесного наполнителя для улучшения физико-химических показателей продукции из древесностружечных плит.

На первом этапе работы был подобран оптимальный температурный режим обработки древесного наполнителя в виде стружки. Температура тепловой обработки составила 220 °С. Процесс термомодификации проходил в условиях плотного слоя в контейнере, помещенном в камерную печь. Внешний вид камеры и контейнера показаны на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка для термического модифицирования измельчённой древесины в плотном слое

В специальные секции загружался материал размером от 2 до 5 мм, который в последующем помещался в камерную печь. После чего печь герметично

закрывалась, и устанавливалась температура обработки равная 220 °С. После достижения внутри слоя материала заданной температуры, определяемой с помощью заранее заложенной в слой термопары, происходила выдержка древесного материала в данных условиях в течении 3 часов. Далее установка отключалась, и происходило естественное охлаждение термомодифицированного древесного материала в закрытой печи до достижения температуры внутри слоя ниже температуры самовоспламенения.

Далее осуществлялась подготовка образцов древесностружечных стеновых панелей путём смешения термомодифицированных древесных частиц и водного раствора поливинилового спирта в соотношениях компонентов, предоставленных в табл. 1.

Таблица 1 – Состав образцов композита

Компонент	Получаемая влажность		
	40 %	55 %	70 %
Опилки в абс. сух. состоянии, г	150	150	150
ПВС в абсолютно сухом состоянии, г	100	100	100
Вода, г	166	305	583

Количество воды для производства композитов целесообразно было рассмотреть в интервале влажности от 40 до 70 %, так как при количестве воды менее 166 г наблюдается слишком тугая масса, при которой невозможно добиться однородного равномерного перемешивания компонентов.

Тем самым в интервале влажности от 70 до 30 % скорость сушки композитов протекает равномерно по всей плите, что нельзя наблюдать при интервале от 30 до 10 %. На данном интервале происходит равномерное высушивание плиты. По достижении влажности 30 % образец высушивается по следующему принципу – верхний и нижний слои высушены, а внутренний необходимо досушить до абсолютно сухого состояния.

Сравнительный анализ для построения кривых скорости сушки основывается на кривых сушки, находящихся в интервале от 70 до 30 %.

Полученные образцы были подвергнуты исследованию на скорость сушки по разработанной вакуумной технологии [1]. Уровни варьирования различных факторов сушки указаны в табл. 2.

Аналогично работе [1] для повышения точности математического описания скорости сушки древесных композитов, технология рассматривалась в двух влажностных интервалах: 70...40 % и 30...10 %.

В связи с тем, что при термомодифицировании снижается гигроскопичность и водопоглощение древесины, то при формировании образцов не наблюдалось значительного увлажнения древесных частиц. Это объясняет более высокую скорость протекания процесса сушки композитов с термомодифицированным наполнителем по сравнению с образцами на основе необработанных древесных частиц [3].

Таблица 2 – Переменные факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Обозначение		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	Натуральное	Нормализованное		Нижний (-1)	Основной (0)	Верхний (+1)
Плотность древесностружечного композита, кг/м ³	ρ	X_1	100	600	700	800
Толщина плиты, мм	S	X_2	15	16	32	48
Температура материала, °С	T	X_4	10	90	100	110
Остаточное давление на стадии вакуумирования, кПа	$P_{ост}$	X_5	15	20	35	50
Удаление равномерной по сечению плиты влаги						
Средняя влажность древесной плиты, %	W	X_3	15	40	55	70
Удаление неравномерной по сечению плиты влаги						
Средняя влажность древесной плиты, %	W	X_3	10	10	20	30

На базе выполненных опытов был проведён сравнительный анализ двух видов древесных наполнителей, а именно термомодифицированного и обычного. Полученные кривые скорости сушки образцов плит на основе термически обработанного и обычного древесных наполнителей представлены на рис. 2.

Композиты с термомодифицированным наполнителем [2] при вакуумно-кондуктивном способе сушки имеют более устойчивые к воздействию внешних факторов свойства, а также процесс сушки протекает с наиболее выгодной и быстрой скоростью.

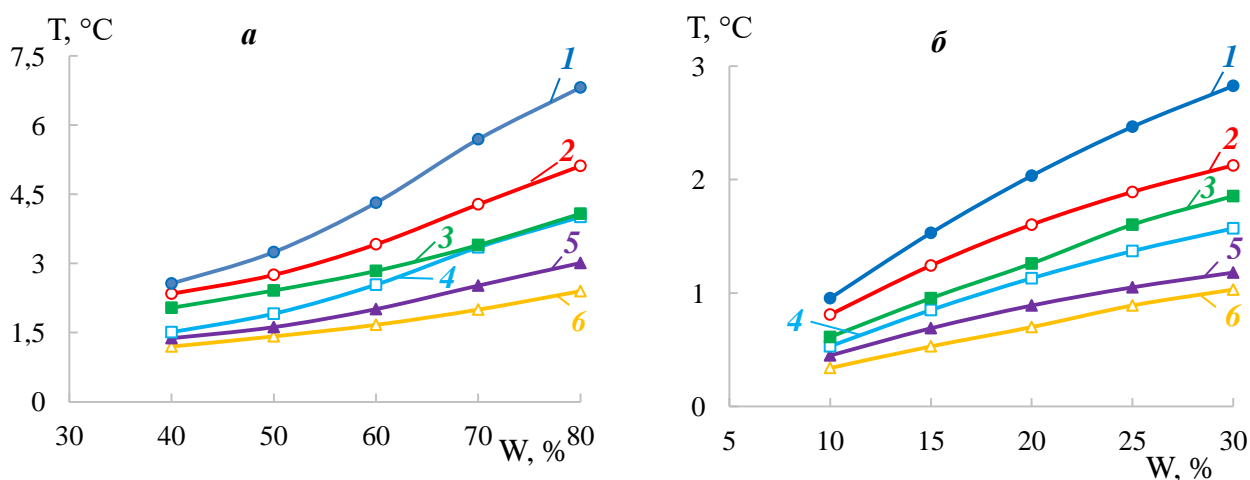


Рис. 2. Кривые скорости сушки древесностружечных плит при различных температурах нагревательной плиты для интервала равномерной (а) и неравномерной (б) по сечению плиты влаги: 1 – $T_r = 110$ °С; 2 – $T_r = 100$ °С; 3 – $T_r = 90$ °С; 4 – $T = 110$ °С; 5 – $T = 100$ °С; 6 – $T = 90$ °С

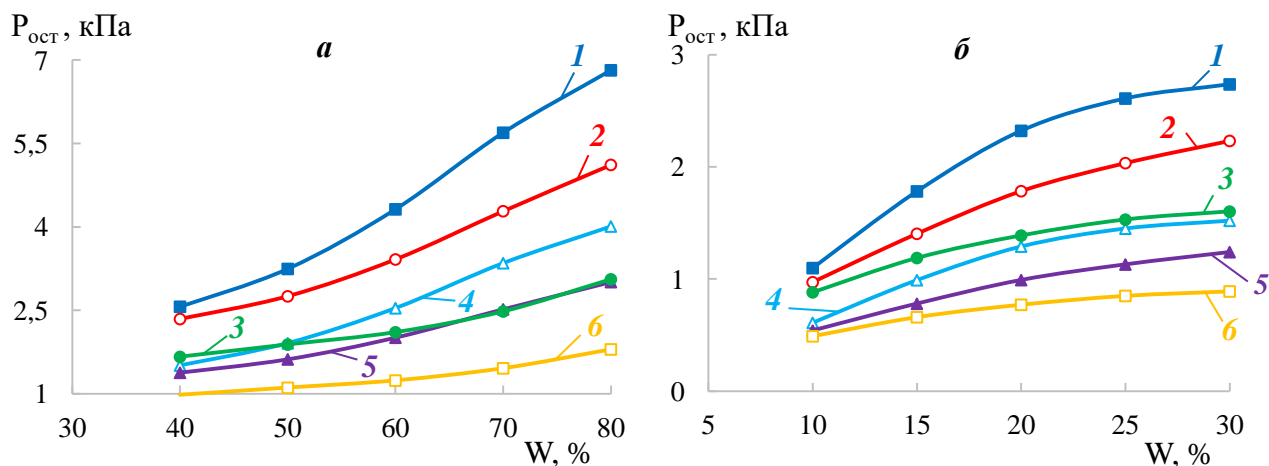


Рис. 3. Кривые скорости сушки древесностружечных плит при различных давлениях в камере для интервала равномерной (а) и неравномерной (б) по сечению плиты влаги: 1 – $P_{ост(r)} = 20$ кПа; 2 – $P_{ост(r)} = 35$ кПа; 3 – $P_{ост(r)} = 50$ кПа; 4 – $P_{ост} = 20$ кПа; 5 – $P_{ост} = 35$ кПа; 6 – $P_{ост} = 50$ кПа;

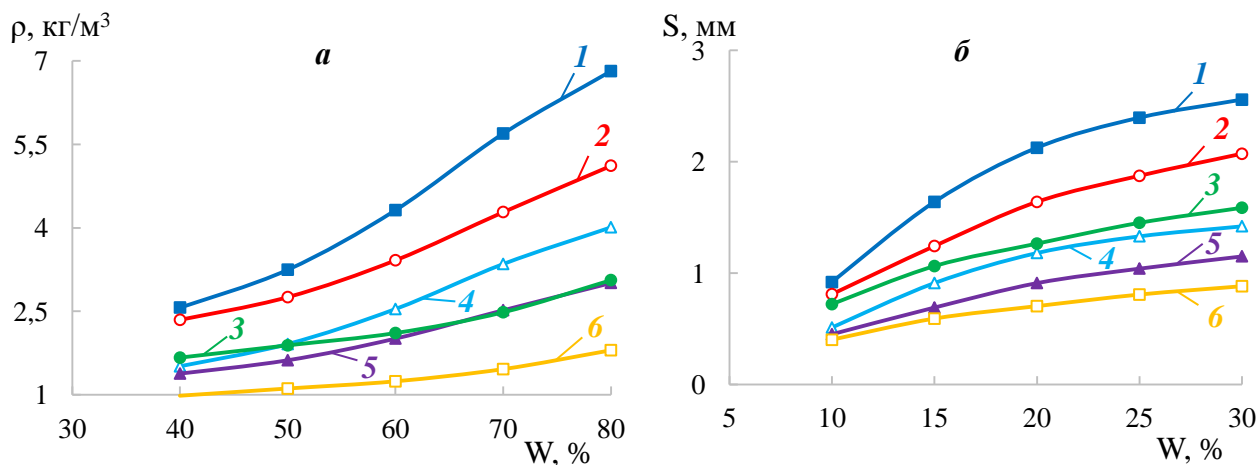


Рис. 4. Кривые скорости сушки древесностружечных плит при различной плотности плиты для интервала равномерной (а) и неравномерной (б) по сечению плиты влаги: 1 – $\rho_{сосны(r)} = 600$ кг/м³; 2 – $\rho_{берёзы(r)} = 700$ кг/м³; 3 – $\rho_{дуба(r)} = 800$ кг/м³; 4 – $\rho_{сосны} = 600$ кг/м³; 5 – $\rho_{берёзы} = 700$ кг/м³; 6 – $\rho_{дуба} = 800$ кг/м³

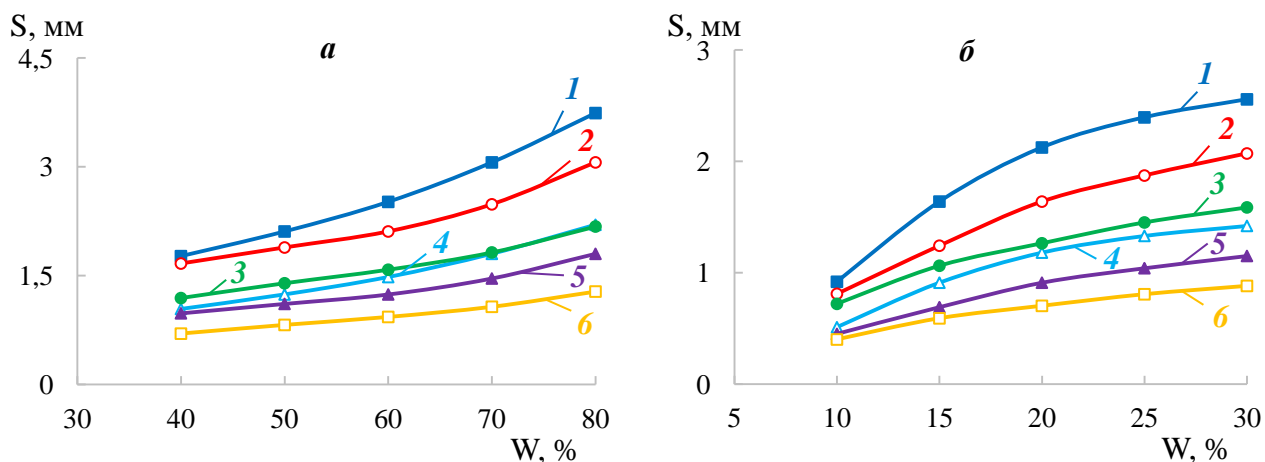


Рис. 5. Кривые скорости сушки древесностружечных плит при различной толщине плиты для интервала равномерной (а) и неравномерной (б) по сечению плиты влаги: 1 – $S_r = 16$ мм; 2 – $S_r = 32$ мм; 3 – $S_r = 48$ мм; 4 – $S = 16$ мм; 5 – $S = 32$ мм; 6 – $S = 48$ мм

Из полученных графиков (рис. 2, 3, 4 и 5) была построена матрица, на её основании получены уравнения, определяющие скорость сушки нагретой плиты при её вакуумировании:

– для равномерной по сечению плиты влаги:

$$N' = 0,032976 \cdot S \cdot T - 0,0003245 \cdot \rho \cdot S + 7,518333 \cdot \rho \cdot W + 0,001217938 \cdot \rho \cdot T + 0,01185438 \cdot \rho \cdot P_{\text{ост}} - 0,00460417 \cdot S \cdot W + 0,0052237 \cdot S \cdot P_{\text{ост}} + 0,00855292 \cdot W \cdot T + 0,00993417 \cdot T \cdot P_{\text{ост}} + 0,0051241687 \cdot W \cdot P_{\text{ост}} + 0,033109908 \cdot \rho - 0,242219295 \cdot S - 7,5982038 \cdot T - 0,980525387 \cdot P_{\text{ост}} - 1,6500233 \cdot W + 280,99131573$$

– для неравномерной по сечению плиты влаги:

$$N'' = 0,0000046302002041 \cdot \rho_2 + 0,0010892578125 \cdot S_2 - 9,503111 \cdot P_{\text{ост}2} - 0,082120293 \cdot \rho + 0,0465385 \cdot W - 1,63181943 \cdot T - 0,373798174707 \cdot P_{\text{ост}} + 0,00034089875 \cdot \rho \cdot S + 0,0005265 \cdot \rho \cdot W + 0,000525813 \cdot \rho \cdot T + 3,681667 \cdot \rho \cdot P_{\text{ост}} + 0,0032834 \cdot S \cdot W + 0,00341113125 \cdot S \cdot T + 0,00214727 \cdot S \cdot P_{\text{ост}} + 0,00583594 \cdot W \cdot T + 0,0032206267 \cdot T \cdot P_{\text{ост}} + 0,00370354 \cdot W \cdot P_{\text{ост}} + 122,081722713$$

На основе планирования эксперимента и полученных экспериментальных данных, представленных на рис. 2, 3, 4 и 5, созданы уравнения регрессии для скорости сушки образцов стеновых древесностружечных плит на основе термомодифицированного древесного наполнителя и поливинилового спирта:

– для равномерной по сечению плиты влаги:

$$N' = 4,014482 + (-0,5192) \cdot ((\rho - 700)/100) - 0,53297 \cdot ((S - 32)/16) + 0,873418 \cdot ((W - 55)/15) + 0,329745 \cdot ((T - 100)/10) - 0,12711 \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) + 1,411863 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((S - 32)/16) + 1,12775 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((W - 55)/15) + 1,217938 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((T - 100)/10) + 1,185438 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) + 1,105 \cdot ((S - 32)/16) \cdot ((W - 55)/15) + 1,253688 \cdot ((S - 32)/16) \cdot ((T - 100)/10) + 1,091188 \cdot ((S - 32)/16) \cdot ((P_{\text{ост}} - 5)/15) + 1,282938 \cdot ((W - 55)/15) \cdot ((T - 100)/10) + 1,490125 \cdot ((T - 100)/10) \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) + 1,152938 \cdot ((W - 55)/15) \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) - 0,54241 \cdot ((\rho - 700)/100)^2 + (-0,54241) \cdot ((S - 32)/16)^2 - 0,54241 \cdot ((W - 55)/15)^2 - 0,54241 \cdot ((S - 32)/16)^2 + 0,354588 \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15)^2$$

– для неравномерной по сечению плиты влаги:

$$N'' = 1,496325 + 0,513087 \cdot ((\rho - 700)/100) + 0,523058 \cdot ((S - 32)/16) + 0,636638 \cdot ((W - 20)/10) + 0,572407 \cdot ((T - 100)/10) + 0,406829 \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) + 0,580125 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((S - 32)/16) + 0,524438 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((W - 20)/10) + 0,5285 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((T - 100)/10) + 0,550063 \cdot ((\rho - 700)/100) \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) + 0,492844 \cdot ((S - 32)/16) \cdot ((W - 20)/10) + 0,519656 \cdot ((S - 32)/16) \cdot ((T - 100)/10) + 0,556594 \cdot ((S - 32)/16) \cdot ((P_{\text{ост}} - 5)/15) + 0,598844 \cdot ((W - 20)/10) \cdot ((T - 100)/10) + 0,483094 \cdot ((T - 100)/10) \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) + 0,566781 \cdot ((W - 20)/10) \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15) - 0,21538 \cdot ((\rho - 700)/100)^2 + (-0,21538) \cdot ((S - 32)/16)^2 - 0,21538 \cdot ((W - 20)/10)^2 + (-0,21538) \cdot ((S - 32)/16)^2 + 0,317619 \cdot ((P_{\text{ост}} - 35)/15)^2$$

По результатам проведённого сравнительного эксперимента по вакуумно-кондуктивной сушке образцов древесностружечных плит на основе термомодифицированного и высушенного обычным способом наполнителей с добавлением поливинилового спирта разработана математическая модель скорости сушки в процессе формования и прессования плит в зависимости от температу-

ры нагрева пресса, давления в камере, а также толщины и плотности формуемых изделий.

Работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-2246.2020.8).

Литература:

1. Лямина Л.В., Галяветдинов Н.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Мосина В.А. Методика расчета скорости вакуумно-кондуктивной сушки экологических древесно-стружечных панелей на основе ПВС // Деревообр. пром-сть. – М.: 2020. – С. 21-26.
2. Сабирова Г.А., Сафин Р.Р., Хайруллин Р.З. Исследование температуры размягчения по Вика композитов на основе биоразлагаемых компонентов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск, 2020. № 57. – С. 50-54.
3. Талипова Г.А., Галяветдинов Н.Р., Сафин Р.Р. Отличительные свойства влагостойкой фанеры, полученной путем склеивания термомодифицированного шпона // Актуальные проблемы лесного комплекса. – Брянск. 2014. № 38. – С. 29-31.
4. Safin R.R., Talipova G.A., Galyavetdinov N.R., Nazipova F.V., Salimgaraeva R.V. The Study of the destructive Properties of wood-filled Composites for the Production of biodegradable packaging Materials // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2020. № 19. – С. 541.

УДК 674.815-41

Карбамид – отвердитель карбамидоформальдегидных смол

С.Н. Вьюнков

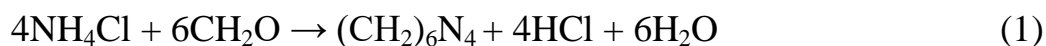
*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Изучено влияние карбамида на физико-механические показатели отверждённых карбамидоформальдегидных смол. Установлено, что введение карбамида в смолу с мольным соотношением карбамид : формальдегид равным 1 : 2, приводит к снижению времени отверждения и улучшению прочностных характеристик отверждённого материала.

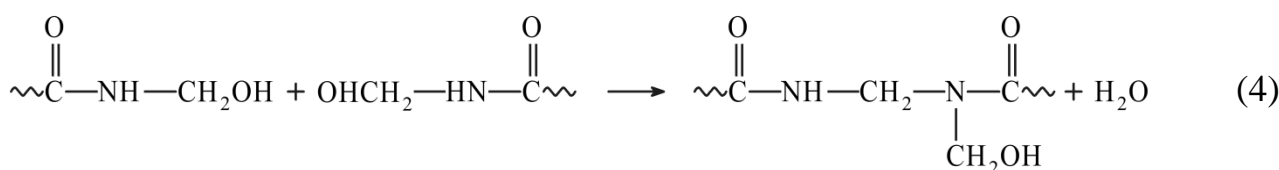
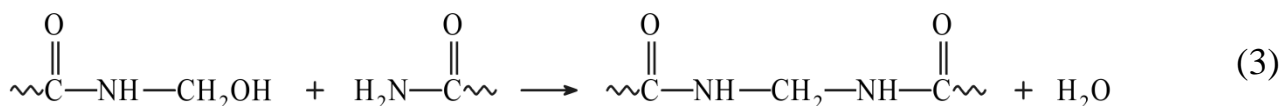
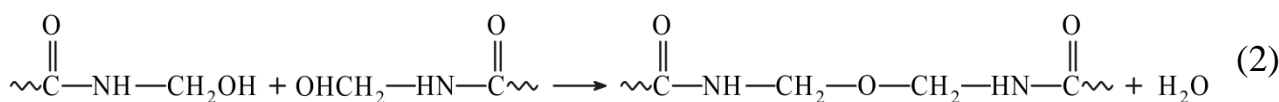
Ключевые слова: отвердитель, карбамидоформальдегидная смола, карбамид, формальдегид, отверждение карбамидоформальдегидных смол.

Известно, что основными отвердителями для аминформальдегидных смол являются хлорид аммония, сульфат аммония, персульфат аммония и др. К их основным преимуществам относят дешевизну, нетоксичность, отсутствие запаха, хорошую растворимость в воде, а также способность обеспечивать высокую скорость отверждения [3]. Все они взаимодействуют по традиционной схеме со

свободным формальдегидом, присутствующим в смоле, с образованием кислоты (реакция 1).



Кислота, в свою очередь, оказывает каталитическое действие на гидроксиметильные группы [1], порождая процесс отверждения (реакции 2, 3, 4):



Однако, помимо установленной ранее роли карбамида [2], обнаружена способность последнего, также быть причисленным к отвердителям и изменять в лучшую сторону характеристики карбаминоформальдегидных смол (КФС).

Для эксперимента синтезировали лабораторную КФС (ЛКФС) при мольном соотношении карбамид : формальдегид (К : Ф) – 1 : 2 по следующей схеме. В колбу загружали строго определенное количество формалина, рН которого, при постоянном перемешивании, довели раствором гидроксида натрия до значения 7...8, после чего вводили карбамид. Смесь нагревали до 90 ± 2 °С и выдерживали при этой температуре 20 мин, постоянно контролируя рН. Затем рН смеси снижали раствором хлорида аммония до значения 4,2...4,5 и продолжали синтез при 90 ± 2 °С в течение 25 мин. Готовый продукт нейтрализовали раствором гидроксида натрия до значения рН 7,5...8,5 и охлаждали.

Исследование влияния свободного карбамида на отверждение КФС проводили по следующей схеме. В ЛКФС с мольным соотношением К : Ф = 1 : 2, вводили строго определенное количество карбамида до необходимого соотношения компонентов. Далее композицию перемешивали до растворения карбамида и отверждали раствором хлорида аммония. Массовая доля абс. сух. хлорида аммония составила 1 % от массы абс. сух. смолы.

Прочность при сжатии определяли на образцах диаметром 25 мм, высотой 30 мм, отверждённых при 100 °С в течение 20 мин. Прочность при растяжении, определяли путём испытания полосок бумаги шириной 20 мм, пропитанных смолой и отверждённых при 105 °С в течение 20 мин.

Установлено, что прочность при сжатии образцов по мере увеличения содержания карбамида увеличивается и достигает максимальной при соотношении К : Ф = 1 : 1,4, что может соответствовать максимальной степени отверждения, с чем коррелирует время желатинизации образца. Причём, если при мольном соотношении К : Ф = 1 : 2 продолжительность желатинизации 23,7 с,

то при введении карбамида до соотношения К : Ф = 1 : 1,8 уже 18,3 с. При этом прочность при растяжении по мере увеличения доли карбамида возрастает.

Таблица – Физико-механические свойства образцов смол

Показатель	Мольное соотношение К : Ф						
	1 : 1,22 КФ-МТ 15	1 : 2,0	1 : 1,8	1 : 1,6	1 : 1,4	1 : 1,2	1 : 1,0
Прочность при сжатии, усл. ед.	830	1130	1550	1710	1740	1500	250
Прочность при растяжении, усл. ед.	18,0	12,4	14,0	17,6	17,0	17,5	18,8
Продолжительность желатинизации, с	46	23,7*	18,3	18,8	18,0	20,9	26,0

* – гелеобразный отверждённый образец.

Таким образом, установлено, что введение карбамида в КФС с мольным отношением формальдегида к карбамиду более 1,4 позволяет сократить продолжительность желатинизации смолы и повысить физико-механические свойства карбамидоформальдегидных полимеров.

Литература:

1. Вирпша З., Бжезинский Я. Аминопласты: Пер. с польского И.В. Холодовой. – М.: Химия, 1973. – 344 с.
2. Вьюнков С.Н. Роль карбамида при отверждении карбамидоформальдегидных смол // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. А.А. Леоновича: 22-я Междунар. науч.-прак. конф., 20-21 марта 2019 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С 105-110.
3. Эльберт А.А. Химическая технология древесностружечных плит. – М: Лесн. пром-сть, 1984. – 224 с.

УДК 674.817.41

Влияние циклических температурно-влажностных воздействий на свойства плит без связующих

В.А. Острякова, В.Н. Ермолин, М.А. Баяндин, А.В. Намятов
*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева*

Изучено влияние циклических температурно-влажностных воздействий на прочность древесных плит разной плотности, изготовленных без использования связующих веществ. Установлено, что плиты получаемые из механоактивированных гидродинамическим способом опилок сохраняют до 95 % исходной прочности при статическом изгибе. Результаты исследований свидетель-

ствуют, о том, что плиты средней плотности могут использоваться в качестве заменителя плит ОСП-4.

Ключевые слова: отходы, пьезотермопластики, механоактивированная древесина, температурно-влажностные воздействия, адгезив, обезвоживание, древесные композиционные материалы без синтетических смол.

В современных условиях развития строительной отрасли наблюдается активный рост потребления листовых материалов на основе древесины. Это оказывает существенное влияние на создание новых производственных мощностей в РФ, особенно таких материалов как плиты из ориентированной крупноразмерной стружки (ОСП) и волокнистые плиты сухого способа изготовления. Для производства таких плит необходимо использование кондиционных видов сырья: круглых лесоматериалов и технологической щепы. Ввиду снижения доступности лесосырьевой базы, стоимость древесного сырья постоянно растёт, что предопределяет поиск новых сырьевых ресурсов. Многотоннажным отходом лесопильно-деревообрабатывающих производств являются опилки, количество которых ежегодно увеличивается с введением новых предприятий. Основным вектором переработки неликвидных отходов является биотопливо, что зачастую является только путём утилизации, а не изготовления продукции с высокой добавленной стоимостью и повышению их экономической эффективности.

Как показывает практика, использование опилок в технологиях плит возможно в ограниченных количествах. Увеличение в составе материала объёма опилок более чем 30 % снижает физико-механические свойства плит, так как их размеры во всех направлениях одинаковы [2]. Известные технологии листовых материалов из опилок без связующих веществ: пьезотермопластики (ПТП) и лигноуглеводные древесные пластики (ЛУДП) из древесных отходов не получили широкого распространения в строительстве ввиду низкой технологичности производства и низких показателей их физико-механических свойств [4]. Обеспечить высокие эксплуатационные показатели плит возможно только за счёт использования специальных видов связующих, на основе синтетических терморезактивных смол

В Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева разработана технология подготовки опилок путём их механоактивации гидродинамическим способом для получения древесных плит средней и малой плотности без использования связующих веществ. В основе данной технологии положена подготовка (механоактивация) древесных частиц путём гидродинамической обработки, которая позволяет получить мелкодисперсную фракцию в составе пресс массы, с высокой удельной поверхностью. Проведённые нами ранее исследования указывают на высокий потенциал использования плитных материалов из активированных опилок в качестве как конструкционных, так и изоляционных материалов. Одним из основных критериев строительных материалов является изменение прочности после циклических температурно-влажностных воздействий. При использовании синтетиче-

ских адгезивов, стойкость плит к переменным температурным влажностным воздействиям определяется свойствами связующего. В тоже время при получении плит без использования связующих прочность во многом обусловлена их структурой и плотностью. Поэтому целью настоящей работы является определение остаточной прочности после циклических физических воздействий, имитирующих жёсткие условия эксплуатации.

Для получения плит различной плотности использовались опилки древесины хвойных пород влажностью от 80 до 90 %, которые подвергались гидродинамической обработке по методике, подробно описанной в работах [1, 5]. Обработанная масса осаждалась на сетке с размером ячеек 0,1 мм. Затем древесная масса разделялась на два варианта технологических цепочек. Для плит малой плотности дополнительное обезвоживание и уплотнение ковра осуществляется механическим отжимом древесной массы в холодном одноэтажном прессе. Давление отжима составило 0,5 МПа. После чего осуществлялась сушка материала при температуре 105 °С [1]. Операция формования ковра для плит средней плотности осуществлялась на сетчатые поддоны, с размером ячеек 0,25 и давлением отжима 2 МПа. Полученные пакеты подвергались горячему прессованию при температуре плит пресса 190 °С с удельной продолжительностью прессования 2 мин/мм. В качестве критерия, оценивающего тепло и влагостойкость плит, принят предел прочности при статическом изгибе до и после физических воздействий. Циклические испытания проводились в соответствии с методикой по ГОСТ 32567–2013, который регламентирует параметры ориентировано-стружечных плит [3]. Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке в виде зависимостей прочности плит от их плотности до и после циклических воздействий.

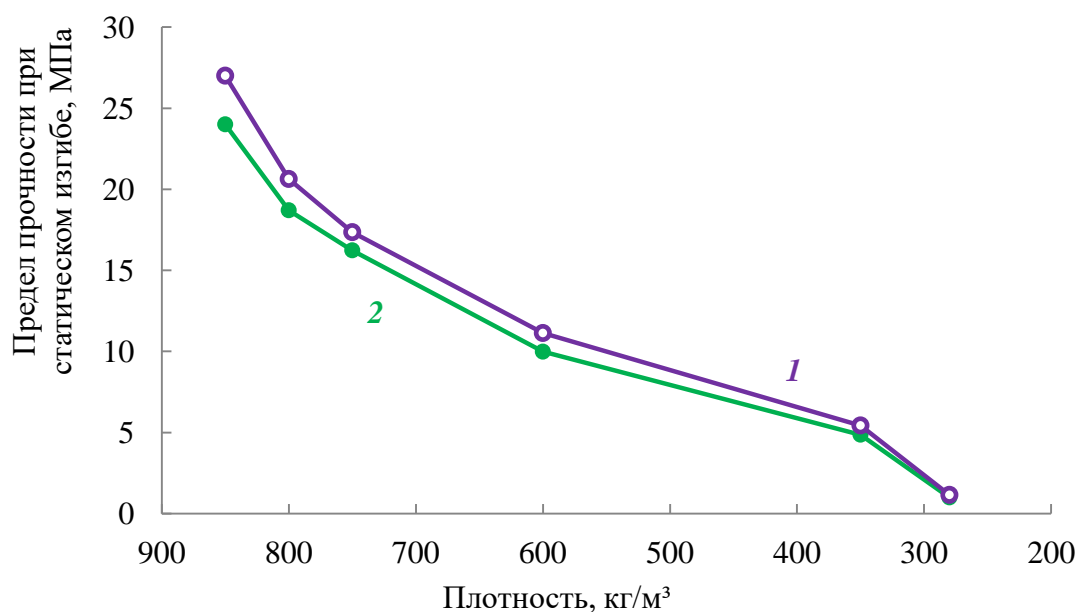


Рисунок. Предел прочности при статическом изгибе для плит до (1) и после (2) циклических испытаний

По полученным зависимостям выведены уравнения регрессии. Для плит до циклических испытаний:

$$y = -5,1734x + 31,899 (R^2 = 0,9951).$$

Для плит после циклических испытаний:

$$y = -4,6516x + 28,741 (R^2 = 0,9919).$$

Результаты исследований показывают общеизвестную закономерность, о том, что пропорционально плотности изменяется прочность; не смотря на принципиально различные способы получения (плиты плотностью более 700 кг/м³ получены горячим прессованием). При этом после циклических испытаний изменение прочности составило для плит от 700 до 850 кг/м³ не более 13 %. В тоже время плиты, полученные методом высушивания сохранили прочность более чем на 95 %. Данные результаты указывают на то, что температурно-влажностные воздействия обуславливают высокие линейные деформации, что, несомненно, приводит к частичному разрушению структуры материала. Но при этом следует отметить, что меньшая потеря прочности у плит малой плотности вероятно обусловлена высокой пористостью материала, которая позволяет структурным элементам легко деформироваться без существенного разрушения связей между ними [5].

В целом, сравнивая полученные результаты с требованиями стандарта для плит ОСП, можно отметить, что плитные материалы на основе механоактивированной древесины средней плотности могут использоваться в качестве заменителя плит ОСП-4, который могут эксплуатировать в жёстких переменновлажностных (атмосферных) условиях. Материалы малой плотности могут использоваться в качестве тепло или звукоизоляции и при этом обеспечивать жёсткость ограждающих конструкций.

Литература:

1. Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Казицин С.Н., Елисеев С.Г. Влиянии мелкодисперсных фракций на формирование свойств древесных плит без связующего // Хвойные бореальные зоны. – 2015.– XXXIII, №3. – С.182-185.
2. Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Чернышев О.Н. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины (монография). – Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. – 148 с.
3. ГОСТ 32567–2013 Плиты древесные с ориентированной стружкой. Технические условия. – Введен впервые, введ. 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
4. Модлин Б.Д., Отлев И.А. Производство древесностружечных плит. – М.: Высшая школа, 1977. – 216 с.
5. Прокопенко В.А., Казицин С.Н. Исследование свойств древесных плит, получаемых без связующих веществ // Интеграция науки и практики в современных условиях. Материалы IX Международной научно-практической конференции. Сборник научных трудов. Научный редактор Рудакова И.А. 2017. – С. 110-116.

Аспекты изготовления древесноволокнистых плит без использования синтетических смол

Д.В. Иванов, А.А. Рябинков, Е.В. Орехов

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Затрагивается тема использования химических превращений компонентов древесины для связывания частиц древесного наполнителя в композиционных материалах. Сообщается о возможности изготовления древесноволокнистых плит сухого способа без использования формальдегидсодержащих смол.

Ключевые слова: древесноволокнистые плиты, межволоконное взаимодействие, снижение токсичности древесных плит, древесные композиционные материалы без синтетических смол.

В основе современных технологий древесных композиционных материалов лежит использование в качестве основного компонента связующих синтетических формальдегидсодержащих смол, таких как карбамидо-, меламинокарбамидо- и фенолформальдегидные смолы (соответственно КФС, МКФС и ФФС). Трёхмерная поликонденсация, лежащая в основе процесса отверждения смол при горячем прессовании, обеспечивает нужную форму, механическую прочность и водостойкость готовых плит.

Связующие из формальдегидсодержащих смол (особенно из аминосмол) отвечают практически всем требованиям технологий [12], имеют невысокую стоимость и прекрасно освоены в производстве. Однако практически неустрашимым недостатком, заложенным в их природе, является токсичность, обусловленная наличием в рецептуре формальдегида. Из-за формальдегида опасными являются синтез смол, процесс изготовления древесных плит (формальдегид, являясь побочным продуктом поликонденсации, выделяется в цеховую зону в процессе горячего прессования), а также эксплуатация готовых изделий. Хотя на сегодняшний день разработано множество способов снижения токсичности древесных плит, периодически возникают призывы к поиску новых связующих с целью полного решения проблемы экологической (химической) безопасности.

В качестве альтернативных смол сегодня известны полиметилендифенилдиизоцианаты и минеральные связующие на основе жидкого стекла [2]. Большой интерес представляют многочисленные продукты переработки растительного сырья [17]. Выделяют смолы из танинов [18], препаратов лигнина, продуктов взаимодействия сахарозы и лимонной кислоты [20], белковых продуктов [21]. Близкими по свойствам к формальдегидсодержащим смолам (главным образом из-за терморреактивности) обладают смолы гемицеллюлозные фурфурольные (СГФ), полученные в ходе гидролиза растительного сырья с последующей дегидратацией моносахаридов [11].

Опыт использования смол из растительного сырья (особенно СГФ) интересен тем, что показывает способность природных соединений обеспечивать связывание частиц древесного наполнителя. Привлекательна идея отказа от синтетических связующих с целью использования химического потенциала древесины. В пособии [16] раскрывается технология изготовления древесных пластиков из берёзовых опилок; известны исследования [5, 6], показывающие возможность увеличить химическую активность компонентов клеточной стенки в сосновой древесине. Тем не менее, из-за жёстких режимов прессования опыт изготовления древесных пластиков на сегодняшний день представляет интерес только для исследователей и не может иметь практической ценности для производителей древесных плит. Очевидна низкая пригодность крупных древесных частиц (опилок и стружки) к химическому связыванию. Однако *техническое древесное волокно* – наполнитель, используемый для формирования древесноволокнистых плит сухого и мокрого способов производства (ДВП(с) и ДВП(м) соответственно) *обладает рядом особенностей*, позволяющих использовать потенциал его химического состава.

1. При получении волокна (в ходе гидротермической обработки щепы при 170...190 °С и последующего размола) увеличивается химическая активности компонентов древесины. Образуются низкомолекулярные фрагменты лигнина с новыми функциональными группами и активными центрами (главным образом, α -положение пропановой цепи и 5 атом ароматического кольца), снижается значение рН волокна за счёт образования из сложных эфиров уксусной и муравьиной кислот, идёт частичный гидролиз гемицеллюлоз.

2. Техническое древесное волокно обладает сравнительно развитой удельной поверхностью; 1 г волокна имеет поверхность 0,075...0,200 м², в то время как 1 г стружки толщиной 0,16 мм имеет поверхность 0,035 м² [13].

3. Волокно обладает повышенной пластичностью, что увеличивает контактную поверхность между частицами наполнителя.

В совокупности все перечисленные достоинства обеспечивают развитую внешнюю поверхность волокон, их способность к тесному контакту между собой в ходе горячего прессования и химическому взаимодействию между компонентами клеточных стенок. Известно, что изготавливать ДВП(м) можно без применения синтетических смол [13], а используемая в некоторых случаях ФФС служит не столько как связующее, сколько как упрочняющая добавка.

Согласно современным представлениям о межволоконном взаимодействии [7, 8, 14], в ходе горячего прессования и последующей термообработки ДВП идут конкурирующие реакции деструкции и конденсации лигнина с образованием сшитой сетчатой структуры, связывающей частицы древесного наполнителя (появляются новые связи α -O-4 и α -5). Также лигнин, являясь химически активным и доступным компонентом способен взаимодействовать с экстрактивными веществами и продуктами деструкции моносахаридов, которые, в таком случае, выступают как сшивающие агенты.

По сравнению с остальными видами древесных плит ДВП(м) являются уникальным материалом где древесина выполняет функции как наполнителя,

так и связующего; при этом целлюлоза играет роль армирующего компонента, а лигнин, сшитый экстрактивными веществами и продуктами разложения гемицеллюлоз, выполняет функции матрицы. Основным недостатком мокрого способа является низкая технологичность производства, проявляющаяся в малой производительности линий, образовании большого количества сточных вод, жёстких режимах горячего прессования, необходимости сложной послепрессовой обработки (термообработка, увлажнение) и т.д.

При производстве ДВП(с) решены почти все технологические проблемы мокрого способа, что делает его более привлекательным в современных реалиях. Для сухого способа характерна низкая влажность древесноволокнистого ковра и малая продолжительность горячего прессования; кроме того отсутствует стадия термообработки готовых плит.

В целях предварительной оценки превращений, протекающих при горячем прессовании ДВП(с) исследовали образцы, изготовленные при моделировании условий внутреннего и наружных слоёв. Для модели внутреннего слоя изготавливали плиты расчётной плотностью 600 кг/м^3 при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$; для модели наружных слоёв расчётная плотность образцов составляла 850 кг/м^3 , температура $220 \text{ }^\circ\text{C}$. Горячее прессование проводили в течение 3,2 мин, что составляет 0,2 мин/мм для плиты толщиной 16 мм. Толщина моделей составляла 3,2 мм. Связующее и гидрофобные добавки не использовали.

Проводили общий химический анализ исходного технического волокна и измельчённых моделей. Определяли основные группы компонентов древесины по известным методикам [10]. В табл. 1 приведены результаты анализа в сравнении с аналогичными результатами по ДВП(м), полученными в работе [14].

Таблица 1 – Результаты общего химического анализа исходного волокна и готовых древесноволокнистых плит

Определяемая группа компонентов	Масс. доля группы, %	
	в волокне	в плите
ДВП(м) изготовленные при температуре прессования $200 \text{ }^\circ\text{C}$, в течение 7 мин [14]		
Легкогидролизуемые полисахариды	21,8	17,7
Трудногидролизуемые полисахариды	45,7	42,5
Сернокислотный Лигнин	20,0	22,8
Вещества экстрагируемые горячей водой	6,0	4,8
Вещества экстрагируемые органическими растворителями	5,0	3,4
ДВП(с) изготовленные при температуре прессования $100 \text{ }^\circ\text{C}$, в течение 3,2 мин		
Легкогидролизуемые полисахариды	22,8	22,2
Трудногидролизуемые полисахариды	43,0	42,8
Сернокислотный Лигнин	20,7	20,7
Вещества экстрагируемые горячей водой	5,3	5,3
Вещества экстрагируемые органическими растворителями	5,8	5,7
ДВП(с) изготовленные при температуре прессования $220 \text{ }^\circ\text{C}$, в течение 3,2 мин		
Легкогидролизуемые полисахариды	22,8	21,8
Трудногидролизуемые полисахариды	43,0	41,1
Сернокислотный Лигнин	20,7	21,4
Вещества экстрагируемые горячей водой	5,3	4,7
Вещества экстрагируемые органическими растворителями	5,8	5,0

Хотя общий химический анализ не раскрывает роль какого-либо компонента в образовании плиты и даёт только самое общее представление об изменениях химического состава, даже он показывает, что глубина превращения при прессовании ДВП(с) значительно меньше, чем при прессовании ДВП(м). С одной стороны видны одни и те же зависимости: уменьшение содержания полисахаридов и экстрактивных веществ, увеличение содержания лигнина. С другой стороны, изменения массовых долей компонентов при прессовании ДВП(с) не значительны. В условиях внутреннего слоя превращения почти не заметны; можно сказать, что по механизму образования ДВП(с) ближе к древесностружечным плитам, чем к ДВП(м)

Для оценки влияния зафиксированных превращений на физико-механические свойства изготовленных моделей определяли предел прочности при изгибе согласно ГОСТ 10635–88, а также плотность, разбухание и водопоглощение по ГОСТ 10634–88. Результаты испытаний сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства древесноволокнистых плит сухого способа, изготовленные без использования синтетических смол

Наименование показателя	Значение показателя при температуре прессования	
	100 °С	220 °С
Плотность, кг/м ³	545	890
Прочность при изгибе, МПа	0,3	10,5
Разбухание по толщине за 24 ч, %	разрушение	91
Водопоглощение за 24 ч, %	разрушение	192

Согласно данным табл. 2 образцы, изготовленные при температуре внутреннего слоя, способны только держать форму и не могут сопротивляться никаким внешним воздействиям. Модели наружных слоёв, хоть и не соответствуют требованиям ни одного стандарта, выдерживают испытания в воде, что говорит об образовании новых водостойких связей. Тем не менее, очевидно, что имеющиеся превращения требуется усилить.

В работе [4] изготавливали древесноволокнистые плиты высокой плотности (HDF от англ. *high density fiberboard*) без синтетического связующего; полученные образцы обладали требуемыми физико-механическими свойствами благодаря предварительному увлажнению ковра до абсолютной влажности 110...250 % и увеличению продолжительности прессования до 2...4 мин/мм. Перспективным представляется способ использования би- и полифункциональных соединений для усиления межволоконного взаимодействия (по отношению к волокну такие соединения выступают как модификаторы). В авторском свидетельстве [1] показана способность уреидов дикарбоновых кислот заменить в рецептуре ДВП синтетические смолы. В пособии [9] сообщается о способности антипиренов со сложным составом, таких как КМ и ФКМ вступать во взаимодействие с компонентами клеточных стенок. Известны работы, где вместо синтетических смол волокно обрабатывали препаратами лигнина [19]. Высоких показателей ДВП(с) удалось добиться при пропитке плит модифицированными ВЖК талового масла [15].

Практически во всех перечисленных случаях исследовали ДВП мокрого или полусухого способа производства, горячее прессование проводили при жёстких режимах, а также использовали термообработку готовых плит. В ходе работы с би- и полифункциональными соединениями мы исходили из необходимости изготовления ДВП с минимальными изменениями существующей технологии. На техническое древесное волокно путём пневматического диспергирования наносили водные растворы модификаторов концентрацией 50 %. Обработанное волокно перед прессованием высушивали до влажности 7...10 %; термообработку готовых плит не проводили.

Подобранные нами модификаторы (табл. 3) хорошо растворяются в воде, не требуют предварительного химического или физико-химического модифицирования и совместимы с организмом человека.

Таблица 3 – Физико-химические свойства растворов подобранных би- и полифункциональных соединений

Наименование показателя	Значение показателя для раствора			
	РА-1	РС-1	ЛКС-0,7	ЛКС-1
Внешний вид	прозрачная жидкость от белого до тёмно-жёлтого цвета без механических примесей			
Масс. доля сухого остатка, %	50	60	60	60
pH (водородный показатель)	7,4	4,5	1,1	1,0
Активная функц. группа	аминогруппа	гидроксильная	карбоксильная	карбоксильная
Условная вязкость, с	12	18	15	12

Изготавливали HDF толщиной 3,2 мм при температуре греющих плит пресса 220 °С в течение 1 мин/мм толщины. Гидрофобные добавки не использовали. Результаты физико-механических испытаний представлены в табл.4.

Таблица 4 – Физико-механические показатели древесноволокнистых плит, изготовленных с использованием би- и полифункциональных соединений

Наименование показателя	Значение показателя плит с добавками, содержащими			
	РА-1	РС-1	ЛКС-0,7	ЛКС-1
Плотность, кг/м ³	983	980	866	980
Прочность при изгибе, МПа	50,0	39,0	39,2	38,5
Разбухание по толщине за 24 ч, %	30	50,2	12	10
Водопоглощение за 24 ч, %	73	110	67	49

О превращениях модификаторов свидетельствует изменение содержания водорастворимых веществ в обработанном волокне и готовых плитах (табл. 5).

Таблица 5 – Массовые доли веществ экстрагируемых горячей водой в волокне, обработанном би- и полифункциональными соединениями

Образец	Массовая доля веществ, экстрагируемых горячей водой, %			
	РА-1	РС-1	ЛКС-0,7	ЛКС-1
Волокно до обработки	5,3	5,3	5,3	5,3
Волокно после обработки	19,5	19,7	19,4	15,4
Древесноволокнистая плита	9,0	16,4	8,8	4,6

Данные табл. 4 и 5 показывают, что с использованием би- и полифункциональных соединений можно изготавливать HDF, соответствующие требованиям современных стандартов, не используя термообработку готовых плит. Плиты, изготовленные с использованием растворов ЛКС-1,0 и ЛКС-0,7 по физико-механическим показателям не уступают даже твёрдым ДВП(м) группы Б (согласно ГОСТ 4598–2018). Отдельное внимание следует обратить на высокую водостойкость HDF; принимая во внимание отсутствие в рецептуре плит парафина, можно сделать вывод о придании плитам гидрофобности за счёт превращений компонентов древесины, которые были значительно усилены вводимыми добавками. Кроме того, все изготовленные образцы имели содержание формальдегида не более 0,5 мг/100 г абс. сух. плиты, что соответствует даже самым жёстким современным требованиям.

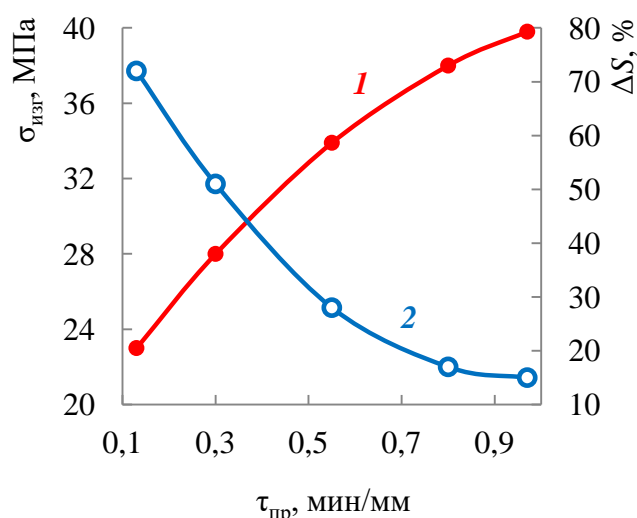


Рисунок. Зависимость прочности при изгибе (1) и разбухания по толщине (2) от продолжительности горячего прессования ДВП(с), изготовленных с использованием раствора ЛКС-0,7

Хотя нам удалось значительно приблизиться к технологическим режимам, адаптированным под отверждение аминс-мол, оптимальный результат (удельная продолжительность прессования 0,1...0,2 мин/мм) по-прежнему остаётся недостижимым.

Таким образом, используя би- и полифункциональные соединения вместо синтетических смол можно изготавливать древесноволокнистые плиты сухого способа с минимальными отклонениями от существующей технологии. Для получения продукции соответствующей требованиям существующих стандартов требуется увеличить продолжительность горячего прессования до 0,55 мин/мм толщины. При этом готовые материалы не имеют токсичности (содержание формальдегида не более 0,5 мг/100 г абс. сух. плиты) и обладают высокой водостойкостью.

Литература:

1. А.с. № 220486, В27N 3/04. Способ получения твердых древесноволокнистых плит / Солечник Н.Я., Гамова И.А. № 1121441/29-33; Заявл. 24.12.1966; Оpubл. 28.06.1968.

2. Вьюнков С.Н. Технология древесных плит с использованием связующего на основе жидкого стекла: автореф. ... дис. канд. техн. наук. – СПб.: 1999. – 16 с.
3. Древесноволокнистая плита сухого способа производства ТСН-30, ТСН-40. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.best-mdf.ru/dvpr-tsn-30-40.htm>, свободный. [Дата обращения – 20.02.2021].
4. Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Казицин С.Н., Намятов А.В., Острякова В.А. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ // Известия вузов. Лесной журнал. 2020. № 3. – С. 151-158.
5. Катраков И.Б., Маркин В.И., Базарнова Н.Г. Получение пресс-масс и плитных материалов на основе кавитированного растительного сырья // Известия алтайского государственного университета. 2014. № 3-1 (83). – С. 204-208.
6. Катраков И.Б., Маркин В.И., Колосов П.В. Бифункциональные синтетические связующие как альтернатива бесформальдегидного производства древесных плитных материалов // Химия растительного сырья. 2018. № 3 – С. 251-260.
7. Леонович А.А. Превращения компонентов при изготовлении древесных плит: учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 92 с.
8. Леонович А.А. Твердофазные превращения при прессовании древесноволокнистых плит средней плотности // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы третьей международной научно-технической конференции / Под редакцией В.М. Гедьо. – СПбГЛТУ, 2018. – С. 103-106.
9. Леонович А.А. Физико-химические основы образования древесных плит. – СПб.: Химиздат, 2003. – 192 с.
10. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учебное пособие для вузов. – М.: Экология, 1991. – 320 с.
11. Патент № 2723875 РФ, МПК С09J 197/00, С13К 13/00, С07D 307/50. Способ получения фурфурольной смолы на основе гемицеллюлоз растительного сырья для склеивания древесных материалов / Васильев В.В., Сизов А.И. № 2019133722; Заявл. 22.10.2019; Опубл. 17.06.2020. Бюл. № 17.
12. Романов Н.М. Современные связующие для производства древесных плит. Состояние и тенденции // Состояние и перспективы развития производства древесных плит / Под редакцией В.П. Стрелкова: Сборник докладов 17-ой международной научно-практической конференции 19-20 марта 2014 г. – Балабаново, 2014. – С. 183-213.
13. Солечник Н.Я. Производство древесно-волоконных плит. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 338 с.
14. Соловьёва Т.В. Превращения компонентов лигноуглеводной матрицы в технологии древесноволокнистых плит: автореф. ... дис. д-ра. техн. наук. – Минск: 1998. – 36 с.

15. Царев Г.И., Леонович А.А. Закономерности образования ДВП с использованием таловых продуктов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 1995. № 161. – С. 169-180
16. Щербаков А.С., Гамова И.А., Мельникова Л.В. Технология композиционных древесных материалов: учебное пособие для вузов. – М.: Экология, 1992. – 192 с.
17. Antonio Pizzi, Antonios N. Papadopoulos, Franco Policardi. Wood Composites and Their Polymer Binders // Polymers. 2020. – 26 p.
18. J. Valenzuela, E. von Leyser, A. Pizzi, C. Westermeyer, B. Gorrini. Industrial production of pine tannin-bonded particleboard and MDF // European Journal of Wood and Wood Products volume. 2012. Vol. 70. – P. 735-740.
19. Petar Antov, L'uboš Krišták, Roman Réh, Viktor Savov, Antonios N. Papadopoulos. Eco-Friendly Fiberboard Panels from Recycled Fibers Bonded with Calcium Lignosulfonate // Polymers. 2020. – 14 p.
20. Shijing Sun, Zhongyuan Zhao, Kenji Umemura. Furner Exploration of Socrose-Citric Acid Adhesive: Synthesis and Application on Plywood // Polymers. 2019. Vol. 11. – 13 p.
21. Xuedong Xi, Antonio Pizzi, Christine Gerardin, Jingjing Liao, Siham Amirou. Soliman Abdalla Glutaradehyde-wheat protein-based adhesives for plywood // The Journal of Adhesion. 2019. – P. 88-100.

УДК 674.81

Влияние гидролизного лигнина на экспозиционные свойства пластиков без связующего

А.В. Артёмов, В.Г. Бурындин, А.В. Савиновских

Уральский государственный лесотехнический университет

В процессе эксплуатации и во время хранения древесные пластики подвергаются комплексному физическому и химическому воздействию. Таким образом, свойства пластиков изменяются со временем, и эти изменения в значительной степени зависят как от первоначального состояния, так и от величины и сочетания действующих факторов. Знание закономерностей изменения физико-химических свойств материала во времени позволяет определить срок его службы в конструкциях.

Ключевые слова: гидролизный лигнин, древесные пластики, древесные опилки, древесные композиционные материалы без синтетических смол.

Из различных направлений использования гидролизного лигнина наиболее масштабным является топливное, где лигнин используется в виде брикетов. Но данное направление имеет ряд существенных недостатков, среди которых можно выделить следующие:

– чрезвычайно высокая коррозия оборудования при сжигании гидролизного лигнина, что обусловлено воздействием сульфидов и хлоридов щелочных металлов на узлы газогенераторных установок [5];

– затраты энергии на получение брикетов из гидролизного лигнина превышают количество энергии, получаемое при дальнейшем сжигании этих брикетов;

– склонность брикетов к намоканию предъявляет строгие требования к хранению и защите их от капельной влаги [8].

Таким образом, гидролизный лигнин более целесообразно считать важнейшим сырьевым источником для производства пластика без добавления связующих веществ (ПБС) [3].

При изготовлении ПБС из комбинированного сырья (состоящего из древесных частиц и гидролизного лигнина), смешанного в различных соотношениях, можно получать пластики высокой прочности и водоупорности [6].

В работе [6], показано влияние содержания гидролизного лигнина в пресс-материале на прочность ПБС. Анализируя данную зависимость, можно сделать вывод о том, что прочность пластика с увеличением содержания гидролизного лигнина в пресс-материале уменьшается. На рисунке [6] показано влияние содержания гидролизного лигнина в пресс-материале на водопоглощение и разбухание ПБС. Из данных, представленных на рисунке, видно, что с увеличением содержания гидролизного лигнина в пресс-материале значительно уменьшается водопоглощение и разбухание ПБС.

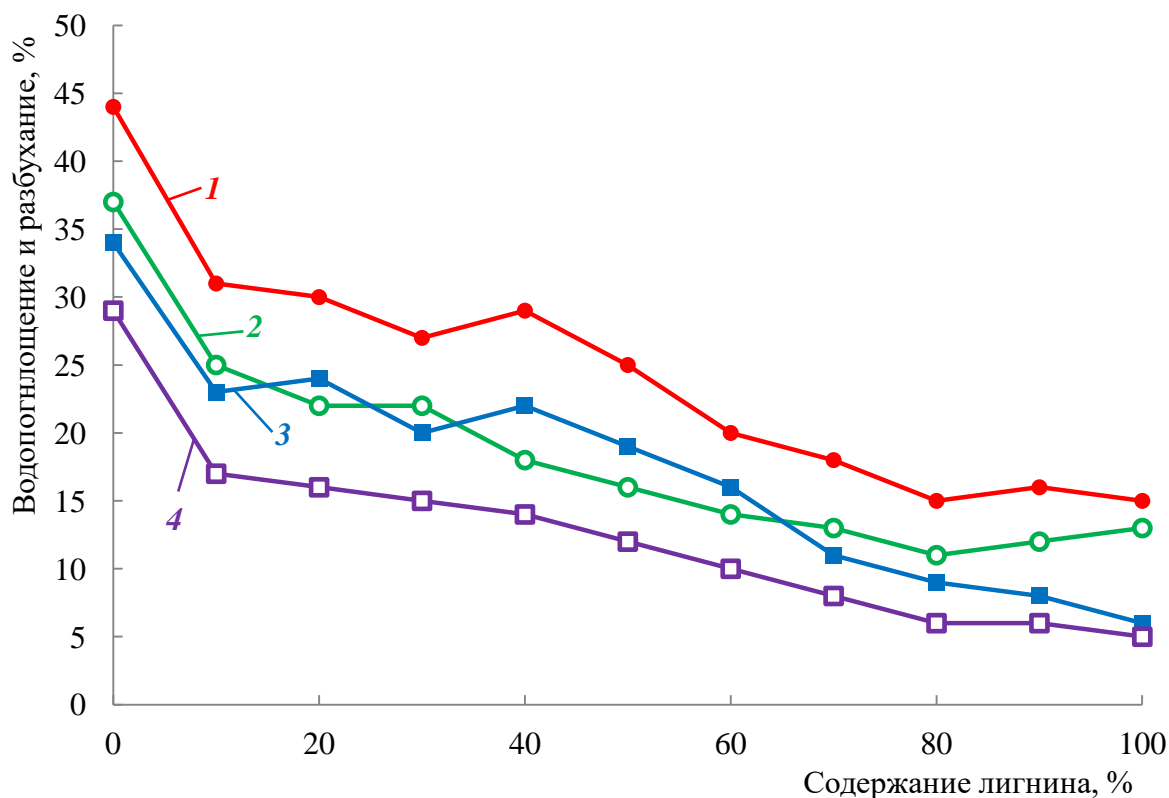


Рисунок. Влияние содержания гидролизного лигнина в пресс-материале на водопоглощение и разбухание ПБС: 1 – разбухание ПБС по толщине за 24 ч; 2 – водопоглощение ПБС за 24 ч; 3 – разбухание ПБС по толщине за 20 сут; 4 – водопоглощение ПБС за 20 сут

Водопоглощение за 24 часа пластиков, изготовленных из 100 % берёзовых опилок, составило 38 %, а пластиков, изготовленных из 100 % гидролизного лигнина – 13 %. Разбухание по толщине у пластиков из 100 % берёзовых опилок составило 28 %, а у пластиков из 100 % гидролизного лигнина – 6 %.

Водопоглощение за 20 суток пластиков, изготовленных из 100 % берёзовых опилок, составило 44 %, а пластиков, изготовленных из 100 % гидролизного лигнина – 15 %. Разбухание по толщине у пластиков из 100 % берёзовых опилок – 34 %, из 100 % гидролизного лигнина – 7 %.

Данные можно представить в виде табл.1.

Таблица 1– Влияние содержания гидролизного лигнина на свойства ПБС

Содержание гидролизного лигнина в пресс-материале, %	Показатели за 24 ч		Показатели за 20 сут	
	Водопоглощение, %	Разбухание, %	Водопоглощение, %	Разбухание, %
0	38	28	44	34
50	16	12	26	20
100	13	6	15	7

Из приведённых данных следует, что гидролизный лигнин, добавленный в пресс-материал, с одной стороны, снижает прочность пластиков, с другой стороны, значительно уменьшает водопоглощение и разбухание ПБС.

В табл. 2 представлен компонентный состав технического гидролизного лигнина и сосновых опилок [7].

Таблица 2 – Компонентный состав технического гидролизного лигнина и сосновых опилок

Исходное сырьё	Вещества, экстрагируемые, %		Полисахариды, %		Лигнин, %
	горячей водой	спирто-бензолом	легкогидролизуемые	трудногидролизуемые	
Технический гидролизный лигнин	1,10	10,10	0,68	40,70	49,55
Сосновые опилки	5,46	5,58	15,27	49,40	26,09

Увеличение содержания веществ, экстрагируемых спиртобензольной смесью в исходном гидролизном лигнине, приводит к повышению плотности и предела прочности при изгибе древесных пластиков без связующих. Такая закономерность характерна для гидролизного лигнина любой исходной кислотности: водопоглощение ПБС при этом уменьшается [1].

Увеличение содержания в гидролизном лигнине коллоидного лигнина изменяет физико-механические свойства равнозначно, независимо от химического состава лигнина: с увеличением коллоидного лигнина в гидролизном лигнине увеличиваются плотность, предел прочности при изгибе ПБС и более суще-

ственно уменьшается водопоглощение в сравнении с водорастворимыми и экстрагируемыми веществами [1].

Для пластиков, изготавливаемых из гидролизного лигнина режимы прессования мягче, чем для пластиков из берёзовых опилок [6]. Так, температура прессования для берёзовых опилок составила 190 °С, а для гидролизного лигнина – 125 °С.

Для того, чтобы можно было более достоверно судить об изменении свойств пластиков при эксплуатации и хранении в условиях жилых зданий, были исследованы свойства ПБС, находившихся в естественных условиях. При этом проводились повседневные наблюдения за температурой и влажностью воздуха в помещении лаборатории.

Оценка изменения свойств в период экспозиции ПБС в комнатных условиях осуществлялось по изменению модуля упругости. Определение модуля упругости при изгибе проводится периодически (1 раз в сутки) не разрушающим методом анализа, путём определения прогиба дисков при определенной нагрузке. По результатам замеров рассчитывается модуль упругости при изгибе [3].

За время наблюдений температура в помещении, где проводились опыты, колебалась от 18 до 22 °С, а относительная влажность воздуха – от 30 до 50 %.

Для исследования влияния гидролизного лигнина на экспозиционные свойства ПБС, были изготовлены образцы диаметром 90 мм и толщиной 2 мм. Исследования проводились с использованием гидролизного лигнина, фракционный состав которого представлен в табл.3.

Таблица 3 – Гранулометрический состав гидролизного лигнина

Размер фракции, мм	Состав, %	
	лигнин	опилки
1,3...0,7	29,3	39,3
0,7...0,4	27,6	37,3
0,4...0,0	43,1	23,4
Итого:	100	100

Оптимальная влажность сосновых опилок и гидролизного лигнина находилась в пределах 4...10 %.

Изготовление образцов осуществлялось методом плоского горячего прессования в герметичной пресс-форме при постоянных значениях параметров прессования: давлении – 35 МПа, температуре – 180 °С.

Характеристики полученных образцов отображены в табл. 4.

Таблица 4 – Характеристика образцов ПБС до и после экспозиции

№ образца	Содержание лигнина, % по абс. сух. массы	Продолжительность экспозиции, сут	Модуль упругости при изгибе, МПа	
			до экспозиции	после экспозиции
1	0	84	5400	6020
2	50	96	3850	3700
3	30	89	3522	3915
4	70	88	3495	3385

По полученным экспериментальным данным (табл. 4), можно сделать следующие выводы:

1. Длительное хранение образцов (более 3-х месяцев) показало, что прочность пластиков практически не изменяется. Добавление гидролизного лигнина в количестве 50 % привело к снижению прочности на 28 %, а добавление лигнина в количестве 30 % и 70 %, дало практически одинаковое снижение прочности примерно на 25...30 % по сравнению с данными по исходному образцу (без добавок лигнина).

2. Полученные экспериментальные данные указывают на то, что гидролизный лигнин можно использовать в качестве добавки к древесным опилкам для получения ПБС, так как основным показателем для данных материалов является водостойкость, а снижение прочности находится в пределах допустимых значений [4].

Организация производства ПБС из отходов деревообработки и гидролизного лигнина экологически целесообразна, так как при этом решается ряд задач, таких как:

- утилизация образующихся древесных отходов и гидролизного лигнина;
- технологии получения пресс-материалов и изделий из них экологически чистые, так как не используются смолы, и нет значительных выделений формальдегида и других вредных веществ;
- после уничтожения отвалов древесных отходов и гидролизного лигнина улучшается экологическая обстановка, так как не будут загрязняться сточные и подземные воды;
- не будет загрязнений воздуха, так как не будет горения отвалов древесных отходов и лигнина;
- освободятся территории для посадок, которые сейчас заняты свалками отходов.

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

Литература:

1. Арбузов В.В. Композиционные материалы из лигнинных веществ. – М.: Экология. 1991. – 208 с.
2. Дедюхин В.Г., Бурындин В.Г., Мухин Н.М., Артёмов А.В. Получение изделий прессованием в закрытых пресс-формах из фенопластов без добавления связующих // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2005. №3. – С. 90-94.
3. Дедюхин В.Г., Мухин Н.М., Ставров В.П. Методы контроля процесса отверждения реактопластов // Пластмассы. 1976. №10. – С. 66-67.
4. Ершова А.С., Артёмов А.В., Савиновских А.В., Бурындин В.Г. Влияние вида сырья на свойства древесных пластиков без добавления связующих // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 3 (47). – С. 74-80.
5. Зацепин О.И., Павлюкович П.А., Керко, П.Ф., Фалюшин П.Л., Ковалева, И.С., Копец З.В., Рывинская Э.В. Исследование коррозионной

стойкости конструкционных материалов газогенераторных установок при сжигании лигнина // Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов: Материалы 4-й Международной научно-технической конференции, 11-13 октября 2000 г.: В 2 ч. – Гродно, 2001. Ч. 1. – С.78-81

6. Минин А.Н. Технология пьезотермопластиков. – М.: Лесн. Пром-сть, 1965. – 296 с.

7. Плитные материалы и изделия из древесины и одревесневших растительных остатков без добавления связующих. Под ред. В.Н. Петри. – М.: Лесн. Пром-сть. 1976. – 360 с.

8. Терентьев А.А., Федотов А.И., Короленко Г.Т., Васильев В.Т., Шамара Н.С., Лис А.В. Использование гидролизного лигнина в производстве топливных брикетов // Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов: Материалы 4-й Международной научно-технической конференции, 11-13 октября 2000 г.: В 2 ч. – Гродно. 2001. Ч. 1. – С. 68-72

УДК 674.038.3; 678.6

Фанера на модифицированной фенолоформальдегидной смоле

В.В. Васильев, А.И. Сизов, Е.Д. Строителева

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Для модифицирования фенолоформальдегидной смолы (ФФС) использована инновационная гемицеллюлозная фурфурольная смола (СГФ). Смолу получают из гемицеллюлоз растительного сырья методом газофазного гидролиза с использованием хлористого водорода. При введении в состав клея на основе ФФС смолы СГФ в количестве 5 % прочность фанеры при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 часа повышается на 19,9 %.

Ключевые слова: древесные плиты, модифицирование, смолы, фанера, шпон.

В последние годы в производстве древесных плит и фанеры постоянно апробируются новые смолы или модифицирующие добавки на основе растительного сырья [1, 2, 4]. Их применение обеспечивает расширение сырьевой базы для производства клеев, снижение себестоимости и улучшение свойств готовой продукции, например, снижение содержания формальдегида, повышение прочности и т.д.

В Санкт-Петербургском лесотехническом университете разработана технология получения инновационной смолы гемицеллюлозной фурфурольной (СГФ) [3]. Технология обеспечивает прямое получение фурановых смол из древесины, минуя стадию получения фурфурола.

По новой технологии измельчённое древесное сырьё (щепы, опилки, стружка, волокно и др.) натуральной влажности насыщают в течение 10...15 минут хлористым водородом из газовой смеси, затем сушат полученную гидролизат-массу для рекуперации кислоты и экстрагируют фурфурольную смолу из сухой гидролизат-массы водой или органическими растворителями.

В процессе насыщения древесины хлористым водородом в сырье образуется соляная кислота высокой концентрации и происходит гидролиз гемицеллюлоз с образованием пентозных сахаров. При десорбции хлористого водорода (сушке) гидролизат-массы за счёт нагрева массы происходит полная дегидратация пентоз до фурфуrolа с одновременной его олигомеризацией и образованием растворимой фурфурольной смолы. Массовая доля соляной кислоты после сушки находится на уровне 0,5 % от массы абс. сух. древесины.

В зависимости от породы применяемой древесины выход смолы СГФ составляет 15...19 % от массы абс. сух. сырья. Наиболее высокий выход СГФ наблюдается из растительного сырья с высоким содержанием пентозанов.

Поскольку фурфурольные смолы по своим свойствам близки к фенолформальдегидным (ФФС) [5], исследовали возможность замены части ФФС на смолу СГФ. Предварительно проводили нейтрализацию остаточной соляной кислоты в СГФ гидроксидом натрия. В табл. 1 представлена характеристика применяемых смол.

Таблица 1 – Характеристика смол

Показатели	СФЖ-3014	СГФ-Н
Внешний вид	Однородная жидкость вишнёвого цвета	Однородная жидкость тёмно-коричневого цвета
Массовая доля сухого остатка, %:		
– по ГОСТ 20907–2016	51,1	52,8
– при сушке до постоянной массы	47,2	50,6
Водородный показатель, рН	–	7,0
Массовая доля щелочи, %	6,9	–
Условная вязкость по ВЗ–4, с	55,6	55,0
Время желатинизации, с	48,1	163

Как видно из данных табл. 1, при равной концентрации и вязкости смола СГФ–Н имеет более высокое время желатинизации по сравнению с фенольной смолой.

Изготовили образцы трёхслойной фанеры. Для производства фанеры использовали берёзовый шпон. Размеры листа шпона 400 × 400 × 1,5 мм, влажность 6 %. Клей готовили путём смешивания смол товарной концентрации с пшеничной мукой. Содержание муки 5 % от массы смолы. Минеральный наполнитель мел (Ca_2CO_3) в клей не вводили. Клей наносили на внутренний лист шпона вручную и равномерно распределяли по поверхности шпона резиновым валиком. Расход клея 150 г/м².

Листы шпона трёхслойного пакета укладывали в перпендикулярном направлении волокон древесины. Готовый пакет помещали между двумя металлическими поддонами толщиной 3 мм. Горячее прессование фанеры проводили

в гидравлическом прессе. Режим прессования: температура 150 °С, давление 2,0 МПа, время прессования 5 мин. Снижение давления прессования – ступенчатое.

Изготовление фанеры не вызвало каких-либо затруднений. Фанера с клеем на основе смолы СГФ–Н имела на поверхности выступившие пятна клея, фанера на основе ФФС таких пятен не имела.

После горячего прессования фанеру выдерживали при комнатных условиях в течение 3 суток и раскраивали на образцы. Определение физико-механических свойств проводили по ГОСТ 3916.1–2018 «Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона листовных пород. Технические условия». Показатели фанеры приведены в табл. 2.

Результаты испытаний показывают, что при одинаковом режиме горячего прессования фанера, изготовленная на смоле СГФ–Н в количестве 100 %, имеет меньшую толщину и соответственно большую плотность. Повышенную пластичность древесины и глубокую пропитку шпона с выходом смолы на другую сторону при использовании смолы СГФ–Н можно объяснить её низкой вязкостью в течение более длительного времени желатинизации.

Таблица 2 – Физико-механические показатели фанеры с различным содержанием смолы СГФ–Н в клее

Наименование показателя	Содержание смолы СГФ–Н в клее, %				
	0	5	10	50	100
Толщина, мм	4,5	4,4	4,4	4,5	4,1
Плотность, кг/м ³	667	678	714	704	713
Влажность, %	6,2	5,0	4,4	4,8	4,4
Предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч, МПа	1,46	1,75	1,35	0,26	0,30

Испытания изготовленных образцов показывают, что фанера на смоле СГФ–Н выдерживает кипячение, однако прочность клеевого слоя у неё значительно меньше, чем у контрольной фанеры. Таким образом, использование смолы СГФ–Н в качестве самостоятельного клеевого материала не обеспечивает достижения требуемых показателей качества фанеры.

Вместе с тем, при введении в состав клея на основе ФФС смолы СГФ–Н в количестве 5 % прочность при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч повышается с 1,46 до 1,75 МПа или на 19,9 %. Полученные данные говорят, что смола СГФ–Н может использоваться в качестве эффективной модифицирующей добавки.

Литература:

1. Баулина Н.С., Трошин Д.П., Шишлов О.Ф., Глухих В.В. Исследование свойств бакелитового лака, изготовленного с использованием карданола, для производства бакелизированной фанеры // Древесные плиты: теория и практика. 16-я Междунар. науч.-практ. конф., 20-21 марта 2013 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2013. – С. 64-68.

2. Васильев В.В. Актуальные технологические проблемы производства синтетических смол и древесных плит // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. – С. 173-186.

3. Пат. 2723875 РФ. МПК С09J 197/00, С13К 13/00, С07D 307/50. Способ получения фурфурольной смолы на основе гемицеллюлоз растительного сырья для склеивания древесных материалов / Васильев В.В., Сизов А.И. № 2019133722; Заявл. 22.10.2019; Опубл. 17.06.2020. Бюл. № 17.

4. Угрюмов С.А. Структура и свойства фенолформальдегидных смол, модифицированных фурфурол-ацетоновым мономером, применительно к производству плитных древесных материалов // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. Леоновича А.А.: 20-я Междунар. науч.-прак. конф., 15-16 марта 2017 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 48-52.

5. Угрюмов С.А. Фурановые смолы в производстве клееных древесных материалов: монография. – Кострома: КГТУ, 2012. – 142 с.

УДК 674-419; 676.266.4; 665.939.56

Модифицирование клея для фанеры измельчёнными отходами бумажно-смоляных плёнок

А.В. Пермяков, И.А. Гамова, Д.В. Иванов

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Показана возможность использования измельчённых бумажно-смоляных плёнок как компонентов фанерных клеев из фенолформальдегидной смолы. Бумажно-смоляные плёнки способны заменить в композиции клея такие наполнители как мел или пшеничная мука, при этом обеспечивая ускорение отверждения клея на 22...26 % и увеличение прочности при скалывании по клеевому шву фанеры на 24 %.

Ключевые слова: фанера, бумажно-смоляные плёнки, наполнитель, фенолформальдегидная смола.

Отходы бумажно-смоляных плёнок (БСП) образуются в больших количествах при производстве декоративных бумажно-слоистых пластиков (ДБСП) и отделки древесных плит (ДП) методом ламинирования. Декоративные БСП представляют собой специальную бумагу, изготовленную из белой сульфитной целлюлозы (СФИ) и пропитанную определёнными марками терморезактивных смол. БСП состоят из 50...60 % смолы; 25...30 % целлюлозы и 15...20 % минерального наполнителя (считая на сухие вещества).

Благодаря особенностям пропиточной смолы и мягкому режиму сушки плёнок, 60...70 % смолы в них составляет растворимая в воде фракция, которая сохраняет свойства исходного олигомера и способна к дальнейшим превращениям [1]. Сохранение реакционной способности смолы, содержащейся в деко-

ративных БСП, необходимо для того, чтобы они обладали высокой адгезией и прочно удерживались на поверхности ДП при ламинировании или при изготовлении ДБСП могли образовать прочную связь с внутренними слоями [2].

Фанера представляет собой слоистый материал, полученный путём склеивания в горячих прессах листов древесного шпона с клеем на основе термореактивных смол [5]. Для её производства используются многокомпонентные клеи; наряду с синтетической смолой в них могут присутствовать такие добавки, как наполнитель, отвердитель, пластификатор и другие компоненты. Одним из вариантов наполнителя, используемого в клее, является комбинация мела и пшеничной муки, каждый выполняет определенную функцию. Мука активно адсорбирует влагу, мел закрывает поры древесины, тем самым предотвращая впитывание клея в шпон, что в свою очередь способствует образованию прочного клеевого шва между двумя листами шпона.

Ранее было показано, что декоративные БСП, измельченные до порошкообразного состояния, проявляют высокую адгезию к древесине и могут эффективно использоваться в качестве связующего вещества при производстве ДП [3]. Применение порошков декоративных БСП в производстве фанеры может наравне с решением проблемы утилизации отходов производств ДБСП улучшить физико-механические свойства готового материала, то есть модифицировать фенолоформальдегидную смолу (ФФС), применяемую в производстве фанеры повышенной водостойкости.

Для изучения клеящей способности клея, содержащего порошки из БСП, определяли прочность сдвига клеевого шва по методике [4]. В качестве контроля служил клей, изготовленный по традиционной рецептуре, содержащий мел и муку в качестве наполнителя. Использовали фенолформальдегидную смолу марки СФЖ-3014 и БСП, полученную нами от ООО «Завод слоистых пластиков».

За основу взяли рецептуру клея для водостойкой фанеры Усть-Ижорского комбината «Невский ламинат». Состав такого традиционного клея следующий, вес. части: ФФС (конц. 50 %) – 75; мел – 8; мука – 6; вода – 11. Расход клея от массы древесины – 15 %.

Исследовали следующие рецептуры клея, сохраняя во всех вариантах одинаковую концентрацию:

		Содержание, масс. ч			
ФФС	75	75	75	75	
БСП	12	14	16	18	
Вода.....	9,4	11	16	18	

В табл. 1 показано влияние порошков из БСП на прочности сдвига и время отверждения различных образцов клея. Как показывают полученные результаты, присутствие БСП ускоряет переход ФФС в отверждённое состояние. Клеящая способность клея также зависит от количества введённого в композицию БСП и растёт с увеличением содержания наполнителя.

Таблица 1 – Прочность сдвига и время отверждения в зависимости от состава клея

Содержание БСП, %	$\sigma_{сдв.}$, МПа	$\tau_{отв.}$, с
Контроль	0,71	215
12	0,81	170
14	0,81	165
16	0,91	159
18	0,96	159

Обозначения: $\sigma_{сдв.}$ – предел прочности при сдвиге, $\tau_{отв.}$ – время отверждения

Испытание образцов фанеры, где в составе клея заменили мел, затем муку и, наконец, оба эти компонента на порошок из БСП, показало, что образцы фанеры при одинаковой плотности с контрольными образцами имеют более высокую прочность. У контрольного образца этот показатель 134 МПа, у образца, содержащего 14 % БСП – 177 МПа, то есть больше чем на 24 %. При замене мела на такое же количество исследуемого наполнителя образцы также имели более высокую прочность, равную 140 МПа, а при замене муки – 153 МПа. Данные испытаний образцов представлены в табл. 2.

Следует отметить, что мы определяли набухание за 24 ч, чтобы установить, как влияет новый компонент на изменение гидрофобности фанеры при её вымачивании (хотя этот показатель не входит в требования существующего ГОСТ 3916.1–2018). Во всех экспериментах разбухание образцов увеличивается незначительно (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Влияние вида и количества наполнителя клея на свойства фанеры

Содержание наполнителей, %			Показатели			
Мука	Мел	БСП	ρ , кг/м ³	$\sigma_{изг.}$, МПа	ΔW , %	ΔS , %
6	8	–	730	134	53	12
–	–	14	740	177	50	15
6	–	8	730	140	50	15
–	8	6	750	153	55	17

Обозначения: ρ – плотность; $\sigma_{изг.}$ – предел прочности при статическом изгибе, ΔW – водопоглощение за 24 ч; ΔS – разбухание по толщине за 24 ч

В дальнейших экспериментах в образцах фанеры использовали различное количество наполнителя: 12, 14, 16 и 18 масс. ч. Использовали порошок различной степени помола: после размолта измельчённые БСП просеивали и использовали частицы, прошедшие через сито с размером ячеек 0,5 и 0,2 мм.

В табл. 3 и 4 представлены результаты физико-механических испытаний этих образцов. Они показывают, что тонкость помола БСП оказывает большое влияние на прочность фанеры. С уменьшением размера частиц увеличивается площадь контакта между компонентами клея и его адгезионное взаимодействие с древесиной, что способствует увеличению прочности фанеры.

Обязательным показателем, который входит в требования ГОСТ, является предел прочности при скалывании по клеевому шву. По этому показателю наи-

лучшие значения имеют образцы, содержащие 16 % порошка из БСП, причём с увеличением расхода БСП синхронно повышается прочность при изгибе и прочность при скальвании.

Таблица 3 – Физико-механические свойства фанеры с наполнителем разных фракций

Содержание БСП, %	Показатели			
	ρ , кг/м ³	$\sigma_{изг.}$, МПа	$\sigma_{ск.}$, МПа	ΔS , %
Порошок из БСП фракции 0,5/–				
12	750	139	не определяли	18
14	790	140		21
16	800	154		24
18	800	147		25
Порошок из БСП фракции 0,2/–				
12	720	140	1,4	11
14	750	153	1,7	17
16	760	159	2,0	17
18	770	164	1,9	19

Таким образом, замена инертных компонентов, какими являются мука и мел, на измельченные БСП, содержащие значительное количество реакционно-способной смолы, оказывает положительное влияние на свойства фанеры. Разработана рецептура клея для водостойкой фанеры марки ФСФ с использованием в его составе измельчённых отходов БСП. Установлено, что их применение в клею для фанеры в количестве 16...18 % приводит к увеличению прочности клеевого соединения в сравнении с традиционной рецептурой.

Можно отметить экологический аспект данной работы: предприятие, производящее фанеру, получает экономический эффект, вовлекая в изготовление фанеры отходы БСП, а предприятие, производящее декоративные пластики, не несёт убытки из-за затрат на утилизацию образующихся химических отходов.

Литература:

1. Бараш Л. И. Современное производство декоративных слоистых пластиков. – СПб.: Химиздат, 2007. – 256 с.
2. Гамова И.А. Химия синтетических полимеров. Синтетические полимеры в производстве и отделке древесных композиционных материалов: учебное пособие для студентов направления 18.03.01 «Химическая технология». – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 51 с.
3. Гамова И.А., Абрамов Н.А., Чернышева Э.С. Использование отходов декоративных бумажно-смоляных плёнок // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. А.А. Леоновича: 22-я Междунар. науч.-прак. конф., 20-21 марта 2019 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – С 48-52.

4. Гамова И.А., Каменков С.Д. Химия и технология древесных композиционных материалов: методические указания к лабораторным работам – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – 28 с.

5. Справочник фанерщика / Центральный научно-исследовательский ин-т фанеры / Под ред. А. В. Волкова, А. Т. Орлова. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. – 485 с.

УДК 674.049

Исследование свойств фанеры на основе модифицированных клеевых составов и шпона

А.И. Криворотова, А.А. Орлов, А.А. Заева, В.О. Манжула, В.Д. Эскин
Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева

Приведены результаты исследования свойств клеёной древесной продукции на основе термомодифицированного шпона и модифицированных экстрактами карбамидоформальдегидных смол. Установлено, что полученная фанера приобретает более высокие показатели прочности и водостойкости с одновременным снижением выделения формальдегида.

Ключевые слова: фанера, шпон, термообработка, прочность, водопоглощение, разбухание, токсичность, карбамидоформальдегидная смола.

В современном мире древесина и древесные клеёные материалы продолжают оставаться наиболее востребованными строительными, отделочными и декоративными материалами. Постоянное совершенствование технологий производства и уникальные свойства древесных материалов расширяют область их применения и делают их незаменимыми во многих отраслях жизни человека.

Одними из общепризнанных недостатков клеёных материалов является их низкая влаго- и водостойкость, а также токсичность используемых для склеивания составов.

Перспективным направлением изменения свойств древесины и древесных материалов является термомодифицирование, основанное на высокотемпературной обработке древесины в интервале температур от 150 до 230 °С с использованием в качестве агента обработки водяного пара.

Анализ ряда работ по проведённым исследованиям показывает, что термомодифицирование позволяет придать древесине особенный внешний вид за счёт изменения цвета, значительно снизить показатели усушки и разбухания, повысить формостабильность и биостойкость. Поверхность древесины становится более прочной и твёрдой, изделия в процессе эксплуатации лучше сохраняют геометрические размеры и форму [1, 4, 5, 6, 9]. Установлено, что материалы на основе клеёной термомодифицированной древесины также будут обладать особенными свойствами [7]. В первую очередь это фанера, обладающая

высокой прочностью в продольном и поперечном направлении, износостойкостью и упругостью. К основным недостаткам, помимо токсичности, относят низкую водо- и влагостойкость, горючесть.

Экспериментальная установка для термической модификации древесины смонтированная на кафедре технологии деревообработки СибГУ им. М.Ф. Решетнева позволяет варьировать диапазон температур при термообработке древесных материалов от 150 до 280 °С. Для проведения эксперимента по термомодификацию берёзового шпона толщиной 2,0 мм был выбран диапазон температур от 160 до 200 °С. Процесс термомодификации включал этапы нагревания и высокотемпературной сушки, термообработки, охлаждения и кондиционирования. Необходимая точность обеспечивалась пятикратным дублированием измерений.

Прессование образцов фанеры на основе термомодифицированного берёзового шпона производилось по режиму прессования фанеры общего назначения марки ФК: удельное давление $P_{уд} = 1,6$ МПа; температура $T_{пр} = 120$ °С; удельная продолжительность прессования $\tau_{уд} = 0,7$ мин/мм. Величина упрессовки для всех образцов фанеры соответствовала принятой для берёзовой фанеры и составила от 9,7 до 10,4 %. Испытание физико-механических характеристик образцов производилось на современной испытательной машине УТС-30 после выдержки образцов не менее 48 ч.

Сводный отчёт результатов испытания на прочность при статическом изгибе и прочность при скалывании по клеевому слою представлен в табл. 1. Все образцы фанеры, изготовленной на основе термомодифицированного шпона, удовлетворяют требованиям стандарта. Наибольшие показатели прочности при статическом изгибе имеют образцы фанеры изготовленной из шпона модифицированного при следующих параметрах термообработки: температура 160 °С, продолжительность 4 ч и температура 200 °С, продолжительность 2 ч.

Таблица 1 – Результаты испытаний прочностных показателей

Температура обработки, °С/ продолжительность обработки, ч	Номера образца				
	1	2	3	4	5
Предел прочности на статический изгиб, МПа					
160/2	74,22	72,75	69,8	73,9	72,96
160/4	75,77	78,058	76,42	77,03	76,12
200/2	75,86	78,6	81,36	77,62	79,33
200/4	57,12	53,609	65,83	56,7	59,36
Предел прочности при скалывании, МПа					
160/2	1,761	1,972	1,821	1,798	1,902
160/4	2,309	2,401	2,362	2,296	2,106
200/2	1,994	2,257	2,012	1,990	2,106
200/4	1,584	1,163	1,265	1,369	1,401

Результаты испытаний образцов фанеры на водопоглощение и разбухание представлены в табл. 2. Водопоглощение термомодифицированных образцов по сравнению с фанерой общего назначения снизилось от 5,4 до 26,6 %. Разбухание от 8,8 до 43,4 %.

Таблица 2 – Результаты испытаний на водопоглощение и разбухание

Температура обработки, °С/ продолжительность обработки, ч	Водопоглощение за 24 ч, %	Разбухание за 24 ч, %
160/2	62,06	16,6
160/4	52,22	12,1
200/2	51,32	10,77
200/4	48,09	10,3

Ещё одним серьезным недостатком фанеры на основе карбамидоформальдегидных клеев является их токсичность. Основным направлением снижения токсичности смол является их модификация. Перспективной с точки зрения снижения себестоимости клеевых составов является модификация смол экстрактами, выделенных из коры и содержащих фенольные компоненты [2, 3, 8].

В табл. 3 приведены результаты изменения физико-химических свойств карбамидоформальдегидной смолы марки КФ-МТ-15 при введении в клеевую композицию 25 % экстракта.

Таблица 3 – Физико-химические свойства модифицированных клеев на основе карбамидоформальдегидной смолы

Используемый экстракт	рН среды	Содержание свободного формальдегида, %	Время желатинизации при 100 °С, с	Вязкость по ВЗ-4, с
Экстракт коры пихты	2,6	0,34	63	128
Экстракт коры лиственницы	2,3	0,28	81	164
Исходная смола	6,4	0,10	73	122

Прессование образцов фанеры на основе модифицированного клеевого состава проводилось по режиму указанному выше с использованием термомодифицированного лущеного шпона. Наибольшая прочность наблюдалась у образцов, изготовленные с применением клея содержащего от 20 до 30 масс. ч. экстрактивных веществ. Однако, прочность фанеры без использования модифицированного клея больше, чем прочность фанеры на основе модифицированного клея. Тем не менее, следует отметить, что разница значений незначительная и составляет около 0,045 МПа для предела прочности при скалывании по клеевому слою и 2,8 МПа для предела прочности при статическом изгибе.

Показатели прочности фанеры на скалывание и статический изгиб при 25 % содержании экстрактов соответствуют стандарту, при этом количество выделенного формальдегида (газоаналитический метод) из испытанных образцов составляет от 1,5 до 3,6 мг/(м³·ч), что соответствует классу эмиссии E1.

Таким образом, фанера на основе термомодифицированного шпона и модифицированного клеевого состава приобретает более высокие показатели прочности и водостойкости, обладает меньшей токсичностью, что позволяет значительно расширить область применения клеевых материалов на основе карбамидоформальдегидных смол.

Литература:

1. Владимирова Е.Г. Технология производства заготовок из термически модифицированной древесины: дис. ... канд. техн. наук. – М.: 2012. – 178 с.
2. Использование экстрактов коры ели в клеях для фанеры // Плиты и фанера: Экспресс информация, заруб. опыт. – ВНИПИЭИлеспром. 1986. № 5. – С. 2-10.
3. Патент № 2440890 РФ, МПК В27D 1/04 (20006/01). Фанера: ФГБОУ ВПО Сибирский государственный технологический университет / Ушанова В.В., Криворотова А.И. – № 2010127766/13. Заявл. 05.07.2010; Опубл. 27.01.2012. Бюл. №3.
4. Разумов Е.Ю. Белякова Е.А., Сафин Р.Р. Математическая модель процесса термомодифицирования древесины труднопропитываемых пород в жидкости // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. – С. 227-241.
5. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Разумов Е.Ю. Разработка новой технологии получения термодревесины // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 1. – С. 148-157.
6. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Р.Р. Исследование термомодифицирования древесины сосны в условиях вакуумно-кондуктивных аппаратов // Дизайн и производство мебели. 2008. № 2 – С. 29-31.
7. Сафин, Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиатдинов Р.Р. Разработка технологии создания влагостойкой фанеры // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15. № 20. – С. 64-65.
8. Свойства экстрактивных веществ коры сосны вида *Pinus halepensis* // Плиты и фанера: Экспресс информация, заруб.опыт. – ВНИПИЭИлеспром. 1986. № 5 – С.10-14
9. Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Валиев Ф.Г., Данилова Р.В. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов, созданных на основе термически модифицированной древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 7. – С. 57-61.

УДК 665.939.56

Применение порошкообразных фенолформальдегидных смол в технологии фанеры

Г.С. Варанкина, Д.С. Русаков, С.Г. Башкиров, К.Г. Каунов

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Разработанные составы клеевой композиции на основе порошкообразных фенолформальдегидных смол, модифицированных (наполненных) техническим аэросилом позволяют: сократить расход клеевых материалов; повысить прочность и качество склеиваемой продукции; ускорить процесс отверждения клея; сократить продолжительность склеивания; снизить энергозатраты

путём уменьшения времени склеивания; уменьшить себестоимость клея за счёт замещения основных компонентов наполнителем.

Положение на рынке фанеры складывается в целом под влиянием деловой активности в потребляющих отраслях промышленности большинства стран: в сфере ремонта и модернизации жилья, в промышленности и гражданском строительстве, мебельном, тароупаковочном производстве и машиностроении. Перед отечественными производителями фанеры и древесных композиционных материалов стоят задачи по увеличению объёмов производства, повышению качества и конкурентоспособности, снижению токсичности выпускаемой продукции [1-11]. Принципиально необходима разработка новых и совершенствование имеющихся технологий современного производства клеёв и композиционных материалов на их основе [4-11]. В связи с этим, перспективным направлением является применение клеевых композиций на основе порошкообразных фенолоформальдегидных смол, которые позволяют улучшить технологические характеристики клея и эксплуатационные свойства продукции, снизить содержание свободного формальдегида в готовой продукции и повысить эффективность производства [1-8].

Цель исследования – повышение эффективности производства фанеры за счёт использования клеёв на основе порошкообразных термореактивных полимеров поликонденсационного типа. Для достижения поставленной цели требовалось исследовать влияние наполнителя на свойства клеевой композиции и готовой продукции.

Исходными компонентами для экспериментов являлись порошковая фенолоформальдегидная смола и аэросил технический (диоксид кремния, ГОСТ 14922–77 «Аэросил. Технические условия»). Аэросил технический имеет комплексное действие, выступая как модификатор (наполнитель) синтетических смол [3, 6].

Аэросил (диоксид кремния) имеет хорошие сорбционные свойства, поглощает от 15 до 60 % веществ в зависимости от их природы. Часть веществ адсорбируется аэросилом за счёт создания водородных мостиков (химическая адсорбция), другая часть за счёт физической адсорбции. Для проведения экспериментов в лабораторных условиях и на производстве использовали для склеивания фанеры берёзовый шпон толщиной 1,5 и 1,2 мм, изготавливали фанеру толщиной 4 мм марки ФСФ, размеры образцов при проведении лабораторных экспериментов составили 400 × 400 мм.

Физико-химические свойства клеевых композиций исследовали в соответствии с ГОСТ 20501–2015 «Клеи для древесины. Метод определения технологических характеристик». Физико-механические свойства готовой продукции определяли согласно ГОСТ 9624–2009 «Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании». Содержание свободного формальдегида в готовой продукции определяли йодометрическим методом (отгонки с водяным паром) по ГОСТ 20907–2016 «Смолы фенолоформальдегидные жидкие. Технические условия». Свободный фенол определяли в отгонке дистиллята поликонденсационных смол путём титрования бромид – броматных

растворов в кислой среде. Эмиссию формальдегида в готовой продукции определяли с помощью газового анализа на ООО «Балтика Леспром СПб».

На первоначальном этапе исследований был проведен эксперимент по склеиванию фанеры марки ФФС по ГОСТ 3916.1–2018 «Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород» на порошковой, модифицированной аэросилом, фенолоформальдегидной смоле (таблица).

Таблица – Параметры порошковых фенолоформальдегидных клеев и результаты склеивания лущеного шпона

Вид клея	Содержание свободного формальдегида, %	Концентрация, %	Условная вязкость, с	Прочность клеевого соединения, МПа	Расход клея, г/м ²
Порошковая ФФС	0,076	55	89	2,20	135
Модифицированная порошковая ФФС	0,035	55	109	2,23	135

Исследуемая клеевая композиция удовлетворяет требованиям по прочности клеевого соединения – 2,2 МПа, что соответствует прочности склеенного материала при влажности 8 %. Важным фактором, влияющим на прочность клеевых соединений, является зона древесины, пропитанная клеем; её площадь, природа самого клея, механизм перехода из жидкого состояния в твёрдое, адгезионная и когезионная прочность. Аэросил технический повышает вязкость, поэтому его количество должно быть не более 20 % от массы смолы. Условная вязкость модифицированного клея не должна превышать 110 с., а угол смачивания не более 80°.

Проведённые исследования служат основанием для целенаправленного регулирования свойств клеящих композиций на основе порошкообразных фенолоформальдегидных смол марки СФЖ-3013. Прочностные показатели модифицированных (наполненных) клеев на основе смолы СФЖ-3013 и эмиссии формальдегида при склеивании шпона представлены на рис. 1 и 2.

Содержание свободных фенола и формальдегида в готовой продукции на основе фенолоформальдегидной смолы марки СФЖ-3013 без добавок не должно превышать 0,18 % по ГОСТ 20907–2016. Результаты анализа показали (рис. 2), что содержание свободных продуктов в готовой продукции уменьшается с увеличением количества наполнителя в составе клея.

Введение аэросила технического в клеящие составы на основе порошковой фенолоформальдегидной смолы СФЖ-3013 увеличивает прочность фанеры. Кроме того с увеличением количества наполнителя уменьшается содержание свободных продуктов в смоле: содержание свободных фенола и формальдегида уменьшается до 0,05...0,06 % и 0,02...0,03 % соответственно.

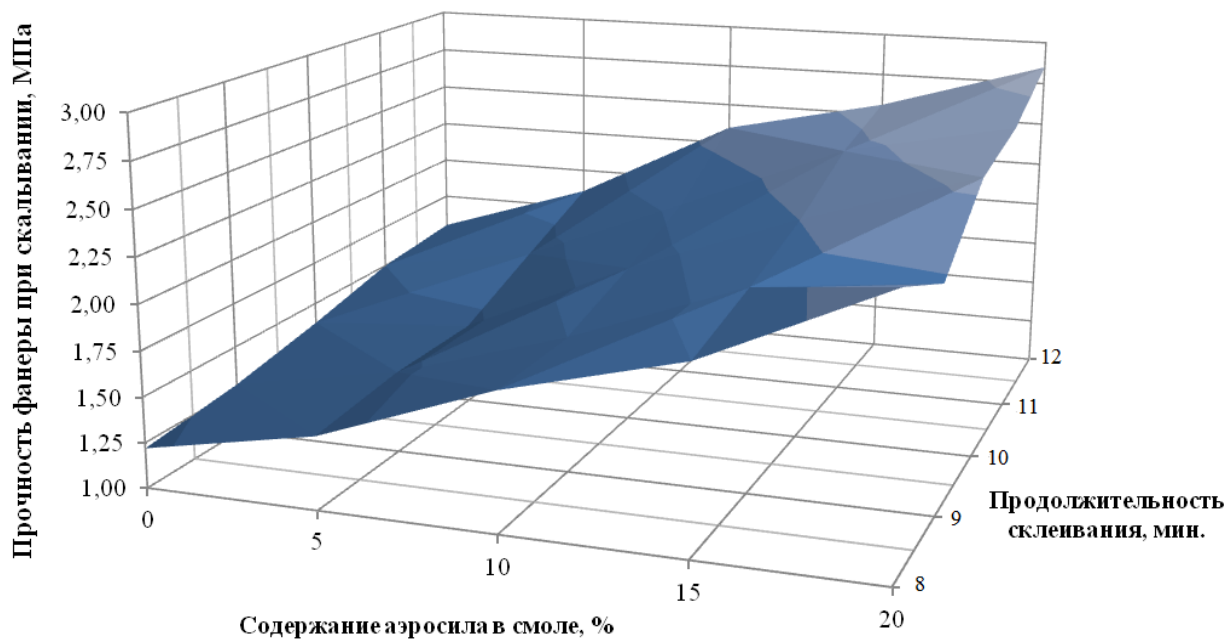


Рис. 1. Зависимость прочности при скалывании по клеевому слою от содержания аэросила технического и продолжительности склеивания

По результатам экспериментов (рис. 1) видно, что с добавлением в клей аэросила технического (до 20 %) прочность образцов берёзовой фанеры при скалывании после кипячения значительно выше стандартной (для берёзовой фанеры не 1,0 МПа по ГОСТ 3616.1–2018 и не менее 1,47 МПа для фенолоформальдегидной смолы по ГОСТ 20907–2016).

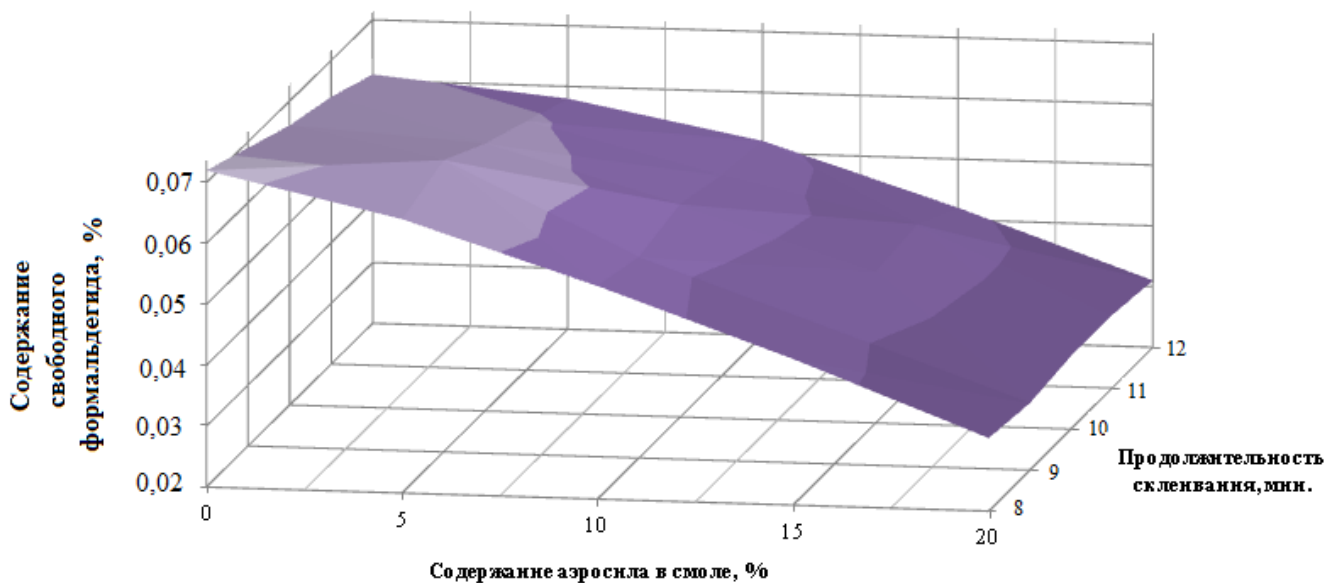


Рис. 2. Зависимость содержания свободного формальдегида от содержания аэросила технического и продолжительности склеивания

Полученные результаты могут быть использованы в работе специалистов деревообрабатывающих производств при управлении технологическими процессами склеивания. Разработанные составы клеевой композиции на основе

фенолоформальдегидных смол, модифицированных (наполненных) техническим аэросилом, позволяют: сократить расход клеевых материалов; повысить прочность и качество склеиваемой продукции; ускорить процесс отверждения связующего; сократить продолжительность склеивания; снизить энергозатраты путём уменьшения времени склеивания; уменьшить себестоимость клея за счёт замещения основных компонентов наполнителем.

Литература:

1. Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2013. № 204. – С. 130-137.

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

3. Кондратьев В.П., Александрова Н.Д., Чубов А.Б, Залипаев А.А. Совершенствование феноло- и карбаминоформальдегидных клеев для производства берёзовой фанеры. Деревообрабатывающая промышленность, 2003. – С. 2-6.

4. Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Модификация феноло- и карбаминоформальдегидных смол побочными продуктами производства целлюлозы // Клеи. Герметики, Технологии. 2017. №8. – С. 16-21.

5. Русаков Д.С., Чубинский А.Н., Русакова Л.Н., Варанкина Г.С. Исследование свойств модифицированных фенолоформальдегидных клеев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 222. – С. 155-174.

6. Соколова Е.Г. Обоснование режимов склеивания шпона при производстве фанеры, изготовленной с применением меламинакарбаминоформальдегидных смол // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 222. – С. 175–187.

7. Угрюмов С.А. Способы модификации фенолоформальдегидных смол, применяемых в производстве клеевых древесных материалов. Обзор. // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 5. – С. 14–19.

8. Cheng Xing, S. Y. Zhang, James Deng, Siqun Wang. Urea-Formaldehyde-Resin Gel Time As Affected by the pH Value, Solid Content, and Catalyst., Journal of Applied Polymer Science. DOI 10.1002/app.25343. – 2014. – pp. 35–41.

9. Chubinsky A, Rusakov D, Varankina G, Brutian K, Fedyaev A Modification of urea- and phenol-formaldehyde adhesives by natural fillers for the production of plywood // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 316, IV Scientific-Technical Conference "Forests of Russia: Policy, Industry, Science And Education" 22–24 May 2019, St. Petersburg, Russia, 012023

10. Gogotov A.F., Varfolomeev A.A., Kanitskaya L.V., Sinegibskaya A.D., Rokhin A.V. On the synthesis and structure of resol phenol-formaldehyde resins // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. Т. 82. № 6. – pp. 1102-1105.

11. Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products // Polymer Science, Series D, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 33–38.

УДК 674.093.26

Влияние отвердителей на физико-химические свойства карбаминоформальдегидных смол

Е.В. Кантиева, Л.В. Пономаренко

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова*

Проводится сравнительная оценка отвердителей карбаминоформальдегидных смол с позиции их влияния на физико-химические свойства рабочих растворов (времени желатинизации при 100 °С, рН жидкого и отверждённого клея). В качестве отвердителя малотоксичных карбаминоформальдегидных смол возможно использовать кремнефтористый аммоний. Получаемые материалы обладают более низким значением эмиссии формальдегида, улучшенной биостойкостью и требуемыми физико-механическими показателями.

Ключевые слова: карбаминоформальдегидная смола, отвердитель, кремнефторид аммония, формальдегид.

Экологическая безопасность – одно из требований к современным материалам и изделиям из них. Основным видом связующего, используемого деревообрабатывающей промышленностью, являются карбаминоформальдегидные смолы (КФС), содержащие формальдегид. Данное вещество является токсичным и опасным для человека [7]. Поэтому с каждым годом ужесточаются нормы стандартов на содержание формальдегида. В настоящее время содержание свободного формальдегида должно быть не более 4 мг/100 г абс. сухой плиты, что соответствует классу эмиссии E0,5.

Эмиссии формальдегида древесными плитами и древесными материалами связана с наличием свободного формальдегида, остающегося после поликонденсации синтетических смол. Интенсивность выделения формальдегида зависит от множества факторов: содержания свободного формальдегида в смоле, количества добавляемого связующего, условий прессования плит и условий эксплуатации изделий из них [2].

В производстве синтетических смол снижение токсичности КФС и материалов на их основе достигают путём введения в состав смол акцепторов. Более кардинальным и экономичным является использование КФС синтезированных с пониженным мольным отношением карбамида к формальдегиду (К : Ф). Процесс отверждения смол с различным мольным соотношением идёт по разным направлениям [3, 6].

Чем больше свободного формальдегида содержится в исходной смоле, тем больше образуется муравьиной кислоты [1] и соответственно тем быстрее происходит реакция поликонденсации с образованием метиленовых и метиленэфирных связей. Для современных КФС, содержащих 0,01...0,05 % свободного формальдегида [5], приведенная схема реакций работает плохо, поэтому они хуже отверждаются классическим отвердителем – хлоридом аммония (ХА). Использование хлорида аммония в составе КФС приводит к трещинам и надломам в отверждённом клеевом слое [9, 10]. Существует достаточное количество работ по поиску эффективных отвердителей, в том числе и комбинированных [8, 9], с целью повышения скорости отверждения малотоксичных смол, однако, авторы не изучали механизм образования кислой среды и её влияние на продолжительность прессования плит.

Цель проводимых исследований – сравнительная оценка отвердителей КФС с точки зрения их влияния на физико-химические свойства, как рабочих растворов клеев, так и отверждённого клея.

В работе использовались две марки карбамидоформальдегидных смол: КФ-Ж и КФ-МТ-15. Содержание свободного формальдегида в смоле КФ-Ж – 0,9 %, КФ-МТ-15 – 0,15 %. В качестве отвердителей КФС были выбраны: хлорид аммония (ХА), химическая формула NH_4Cl и кремнефторид аммония (КФА), химическая формула $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$.

Известно, что ХА является основным отвердителем смол на отечественных предприятиях. Исследование КФА как отвердителя интересно из-за его положительного влияния на токсичность материалов из КФС. Ранее нами установлено, что эмиссия формальдегида изделиями с применением КФА ниже (на 5...15 %) по сравнению с хлоридом аммония [9]. Следовательно, с использованием КФА возможно получение материалов с более низкой эмиссией формальдегида. Также КФА является антисептиком, и продукция с его применением обладает улучшенной биостойкостью.

Количество вводимого отвердителя варьировали от 0,25 до 4,00 % от массы смолы.

Эффективность действия отвердителей КФС устанавливали на основе контроля следующих параметров: времени желатинизации при 100 °С, рН жидкого и отверждённого клея. Определение времени желатинизации при 100 °С производили по стандартной методике. Определение рН смол и клеевых растворов производили потенциометрическим методом (рН-метром марки рН 150 М) по стандартной методике. Для определения рН отверждённого клея последний выдерживали в дистиллированной воде при соотношении клея к воде 1 : 10 в течение суток.

Анализируя влияние КФА и ХА, мы видим, что с увеличением количества отвердителя время желатинизации уменьшается. Смола КФЖ имеет меньшее время желатинизации при использовании КФА и ХА, чем КФ-МТ-15. Однако, для обеспечения времени желатинизации 60 с в клей необходимо добавлять большее количество КФА (3 %), а ХА достаточно 1,5 %. Таким образом, для

смола с различным содержанием формальдегида в качестве отвердителя можно использовать КФА, но его количество должно быть больше.

Начальное значение рН для смолы КФ-Ж составляло 7,61, КФ-МТ-15 – 7,75. Результаты исследований приведены в таблице.

Таблица – Влияние массовой доли отвердителей на показатели жидких и отверждённых карбамидоформальдегидных клеев

Рецепт	Массовая доля отвердителя, %	Наименование параметра		
		Время желатинизации при 100 °С, с	рН жидкого клея	рН отвержденного клея
КФ-Ж + ХА	0,25	117	5,43	3,70
	0,50	89	5,32	2,52
	1,00	61	5,29	2,10
	1,50	55	5,28	1,99
	2,00	55	5,30	1,87
	2,50	55	5,33	1,78
	3,00	54	5,37	1,69
	4,00	54	5,39	1,61
КФ-Ж + КФА	0,25	105	5,57	3,80
	0,50	80	5,56	3,30
	1,00	69	5,56	3,12
	1,50	62	5,55	2,94
	2,00	58	5,55	2,73
	2,50	54	5,55	2,60
	3,00	51	5,55	2,41
	4,00	51	5,55	2,39
КФ-МТ + ХА	0,25	98	6,30	3,90
	0,50	67	6,32	3,40
	1,00	62	6,38	3,26
	1,50	61	6,42	3,23
	2,00	61	6,50	3,11
	2,50	61	6,52	3,04
	3,00	62	6,58	2,97
	4,00	63	6,58	2,95
КФ-МТ + КФА	0,25	110	5,90	3,50
	0,50	90	5,95	2,96
	1,00	68	5,98	2,72
	1,50	66	5,97	2,59
	2,00	64	6,00	2,51
	2,50	63	6,05	2,42
	3,00	62	6,10	2,38
	4,00	62	6,10	2,37

Результаты показали, что при введении отвердителя в смолу КФ-Ж, рН жидкого клея сначала снижается, а в дальнейшем с увеличением количества отвердителя практически не изменяется. Для смолы КФ-МТ-15 наибольшее падение рН жидкого клея наблюдается при введении отвердителя при массовой доле 0,25 %, а затем происходит плавное увеличение этого показателя. Для малотоксичных смол введение отвердителя даёт меньшее снижение рН в сравнении

с КФ-Ж. Так, при содержании отвердителя в количестве 1,5 % от массы смолы КФ-Ж, для связующего с КФА показатель рН составляет 5,55, а с ХА – 5,3. Для малотоксичных смол меньшее значение рН жидких клеёв наблюдается при использовании в качестве отвердителя КФА. При содержании отвердителя 3 % от массы смолы КФ-МТ-15, для связующего с КФА показатель рН составляет 6,1, а с ХА – 6,6. Показатель рН отверждённого клея снижается во всех случаях с увеличением количества введённого отвердителя. Так, при содержании отвердителя в количестве 1,5 % от массы смолы КФ-Ж, для связующего с КФА показатель рН составляет 2,9, а с ХА – 2,0. Для малотоксичных смол меньшее значение рН отверждённых клеёв наблюдается при использовании в качестве отвердителя ХА. Так, при содержании отвердителя в количестве 3 % от массы смолы КФ-МТ-15, для связующего с КФА показатель рН составляет 3,0, а с ХА – 2,4.

Выводы:

1. Увеличение массовой доли хлорида и кремнефторида аммония в карбамидоформальдегидной смоле позволяет увеличить скорость её желатинизации, а также снизить рН жидкого и отверждённого клеёв. Однако для обеспечения времени желатинизации 60 с в клей необходимо добавлять большее количество кремнефторида аммония (3 %), а хлорида аммония достаточно 1,5 %.

2. Для малотоксичных смол введение отвердителя даёт меньшее снижение рН в сравнении со смолами с более высоким содержанием формальдегида.

3. Значение рН отверждённого клея снижается во всех случаях с увеличением количества введённого отвердителя различных видов. Для малотоксичных смол меньшее значение рН отверждённых клеёв наблюдается при использовании в качестве отвердителя хлорида аммония.

Литература:

1. Вирпша З., Бжезиньский Я. Аминопласты: Пер. с польского И.В. Холодовой. – М.: Химия, 1973. – 344 с.

2. Вольнский В. Н. Технология стружечных и волокнистых древесных плит: доп. УМО по образованию в области лесн. дела в качестве учеб. пособия для вузов по специальности 2602 «Технология деревообработки». – Таллин: Desiderata. 2004. – 192 с.

3. Вьюнков С.Н. Роль карбамида при отверждении карбамидоформальдегидных смол // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. А.А. Леоновича: 22-я Междунар. науч.-прак. конф., 20-21 марта 2019 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2019. – С 105-110.

4. Разиньков, Е.М., Пономаренко Л.В. Использование кремнефтористого аммония в качестве отвердителя карбамидоформальдегидных смол. // Известия вузов. Лесной журнал. № 5-6. 2001. – С. 76-80.

5. Шишаков Е.П., Шпак С.И., Чубис П.А., Шевчук М.О. Влияние наполнителей и катализаторов на физико-химические свойства карбамидоформальдегидных смол // Труды БГТУ. №4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2015. – С. 102-108.

6. Cheng Xing, S. Y. Zhang, James Deng, Siqun Wang. Urea-formaldehyde-resin gel time as affected by the pH value, solid content, and catalyst // Journal of Applied Polymer Science. Vol. 203. 2006. – P. 1566-1569

7. Maderthaner W. A., J. B. Verbestel. Formaldehyd arme Spanplatten durch Gasbehandlung. Ein Verfahren zur Verringerung der Formaldehyd abgabe fertige presster Holzwerkstoffplatten // Holz-Zentralblatt. №107. 1980. – pp. 1917-1918.

8. Patent № WO9948991 DK, Int. Cl C09J 161/24, 161/28. A hardener for use in urea-formaldehyde and urea-melamine-formaldehyde based adhesives, an adhesive composition comprising said hardener and its use / Bjørn Andersen, Bo Gao Brehmer. – № PTC/DK99/00159; Filed 24.03.1999; Published 30.09.1999.

9. Pavlo Bekhta. Ján Sedliačik, Roman Saldan, Igor Novák. Effect of different hardeners for ureaformaldehyde resin on properties of birch plywood // Acta Facultatis Xylogiae Zvolen. №58(2). 2016. – pp. 65–72.

10. Robert O. Ebewele, George E. Myers, Bryan H. River, James A. Koutsky. Polyamine-modified urea-formaldehyde resins. I. Synthesis, structure, and properties // Journal of Applied Polymer Science. Vol. 47. 1991. – pp. 2997-3012.

УДК 665.939.56; 674-419

Использование модификаторов-отвердителей серии МО-4 как компонентов клеев из карбамидоформальдегидной смолы

*Д.В. Иванов¹, М.А. Екатеринчева¹, А.А. Калашиников¹, Д.А. Печковская¹,
П.К. Никифорова¹, Д.М. Елисеев²*

¹*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

²*ООО «Химсинтез»*

Сообщается о модификаторах-отвердителях аминокформальдегидных смол серии МО-4, способных заменить соли аммония в рецептуре клеев из карбамидоформальдегидной смолы. Использование разработанных модификаторов-отвердителей позволяет ускорить отверждение клея более чем на 20 % и сократить продолжительность горячего прессования фанеры на 25...30 %.

Ключевые слова: модификаторы-отвердители, отвердители, фанера, карбамидоформальдегидная смола, горячее прессование фанеры.

Важнейшей технологической операцией в производстве фанеры является горячее прессование. Режимы прессования, такие как давление, продолжительность и температура греющих плит пресса, во многом, определяют как качество готовой продукции, так и производительность линии. Основным процессом, протекающим в ходе горячего прессования, является отверждение синтетической терморепактивной смолы, являющейся основным компонентом фанерного клея. Ускорив отверждение клея можно сократить продолжительность прессования и, тем самым, повысить производительность предприятия.

Для карбамидоформальдегидной смолы (КФС) ускорение отверждения затруднено спецификой используемых латентных катализаторов (солей аммония), которые имеют чёткий предел эффективности, не преодолимый простым увеличением расхода отвердителя [6]. Известным способом ускорения отверждения КФС является включение в рецептуру клея прямых катализаторов, таких как кислоты [7], кислые соли [4]. Недостатками таких решений является усложнение рецептуры клея, трудности в дозировании кислот, необходимость установки дополнительного оборудования для хранения и подачи новых компонентов. Перспективным представляется использование отвердителей, способных не дополнить, а заменить соли аммония в клее из КФС, при этом обеспечив менее продолжительное отверждение по сравнению с хлоридом или сульфатом аммония.

На кафедре технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ имени С. М. Кирова разработаны модификаторы-отвердители марок «МО», совмещающие функции отвердителей и модификаторов аминокформальдегидных смол, снижающих токсичность готовых древесных плит и фанеры [1, 3]. Наибольших успехов удалось добиться при работе с модификатором-отвердителем марки МО-2СБ, испытанном на одном из отечественных фанерных комбинатов. В ходе опытно-промышленной выработки удалось сократить продолжительность прессования девятислойной фанеры с 6 до 4 мин (акт выработки имеется на кафедре). Однако промышленные испытания выявили и ряд недостатков МО-2СБ, таких как: значительное снижение вязкости клея при замене хлорида аммония на МО-2СБ, большой расход модификаторов-отвердителей и увеличение токсичности фанеры при снижении продолжительности прессования. Для устранения этих недостатков были разработаны новые продукты серии МО-4 (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели модификаторов-отвердителей МО

Наименование показателя	Значение показателя для марки:			
	МО-2СБ	МО-4Б	МО-4СБ	МО-4Т
Внешний вид	прозрачная жидкость без механических примесей			
Массовая доля сухого остатка, %	30	50	60	60
pH (водородный показатель)	2,6	3,9	2,4	5,1
Содержание азота, %	6,9	13,4	15,6	18,9
Содержание аминокгрупп, %	5,6	9,1	11,0	15,6
Условная вязкость, с	11	12	14	14

Модификаторы-отвердители марок МО-4Б и МО-4СБ предназначены для быстрого и сверхбыстрого отверждения аминокформальдегидных смол соответственно. МО-4Т, содержащий наибольшее число аминокгрупп, предназначен, в основном, для снижения токсичности продукции из КФС.

Для проверки эффективности МО-4 готовили клеевые композиции, основным компонентом которых были КФС, синтезированные специально для изготовления фанерных клеёв (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические показатели карбамидоформальдегидных смол

Наименование показателя	Варианты КФС	
	1	2
Внешний вид	Однородная суспензия белого цвета без посторонних включений	
Массовая доля сухого остатка, %	64,4	65,2
pH (водородный показатель)	8,1	7,9
Условная вязкость, с	66	60
Продолжительность желатинизации при 100 °С, с	70	65

Смолу под номером 1 изготавливают на одном из фанерных комбинатов; КФС под номером 2 производит один из крупнейших отечественных производителей аминоформальдегидных смол. Варианты отличаются разной продолжительностью желатинизации, что делает интересным их сравнение.

В качестве наполнителей клея использовали каолин марки КР-1 и пшеничную, неотбеленную муку. При изготовлении контрольных образцов использовали хлорид аммония (ГОСТ 3773–72) в виде порошка. Результаты, полученные при испытании клея с модификаторами-отвердителями МО-4, сравнивали с результатами, полученными при испытании клея с МО-2СБ и с хлоридом аммония. Рецепт клея был следующей:

	Содержание, масс. ч
КФС.....	100
каолин.....	8,75
мука.....	1,5
отвердитель.....	варьировали

Сравнивали продолжительность желатинизации и жизнеспособность изготовленных клеев. Массовую долю отвердителей варьировали в диапазоне от 1 до 5 % от массы абс. сух. смолы. Отход от традиционного для технологии фанеры расчёта по товарным материалам вызван использованием отвердителей в разных видах. Так модификаторы-отвердители «МО» изготавливают в виде водных растворов концентрацией от 30 до 60 %; хлорид аммония же используют в виде сухого порошка. В случае, когда сравниваемые товарные материалы имеют разную массовую долю абс. сух. веществ, использование расчёта по массовым числам не имеет смысла, так как неизбежно ведёт к ошибке.

Согласно данным табл. 3 целесообразно увеличивать массовую долю хлорида аммония до 3 % от массы абс. сух. смолы, дальнейшее увеличение его содержания не эффективно. Модификаторы-отвердители МО обладают разным пределом эффективности. Наименее эффективен МО-4Т, не ускоряющий отверждения клея; МО-4Б целесообразно использовать при массовой доле по абс. сух. веществам 4 %; в таком случае он снижает продолжительность желатинизации относительно 3 % хлорида аммония на 9 %. МО-2СБ и МО-4СБ обладают сопоставимой эффективностью; при массовой доле 4 % они снижают продолжительность желатинизации на 25 % и 30 % соответственно. При этом использовать МО-4СБ рациональнее; при сопоставимой массовой доле по абс.

сух. веществам его требуется в два раза меньше по масс. числам, т.к он имеет в два раза большую концентрацию, чем МО-2СБ.

Таблица 3 – Продолжительность желатинизации и жизнеспособность клея из смолы варианта 1, при разном содержании отвердителей

Вид отвердителя	Масс. доля по абс. сух. веществам, %	Содержание по масс. ч.	Продолжительность желатинизации, с	Жизнеспособность, ч
Хлорид аммония	1	0,64	75 ± 3	более 8,0
	2	1,29	68 ± 3	
	3	1,93	64 ± 2	
	4	2,58	64 ± 2	
	5	3,22	64 ± 1	
МО-2СБ	1	2,14	104 ± 1	4,0
	2	4,29	68 ± 2	3,0
	3	6,44	56 ± 2	2,5
	4	8,59	50 ± 2	2,0
	5	10,73	48 ± 1	1,5
МО-4Б	1	1,29	104 ± 2	более 8,0
	2	2,58	78 ± 2	6,0
	3	3,86	61 ± 1	3,5
	4	5,15	58 ± 2	2,5
	5	6,44	55 ± 2	2,0
МО-4Т	1	1,07	106 ± 1	более 8,0
	2	2,15	87 ± 2	более 8,0
	3	3,22	73 ± 2	7,0
	4	4,29	71 ± 1	6,5
	5	5,37	63 ± 1	5,5
МО-4СБ	1	1,07	100 ± 2	4,0
	2	2,15	64 ± 2	3,0
	3	3,22	54 ± 2	2,0
	4	4,29	49 ± 2	1,5
	5	5,37	45 ± 1	1,0

При испытании КФС варианта 2 (табл. 4) от работы с МО-2СБ отказались, т.к. закономерности его использования уже были установлены. Модификаторы-отвердители серии МО-4 сравнивали только с хлоридом аммония.

При отверждении КФС варианта 2 хлорид аммония показал тот же предел эффективности, что и в случае с КФС варианта 1 (3 % по абс. сух. веществам); отличаются только абсолютные значения продолжительности желатинизации. МО-4Б и МО-4СБ показали такой же предел эффективности, что и с КФС варианта 1 (4 % по абс. сух. веществам), при этом относительно клея с 3 % хлорида аммония продолжительность желатинизации сокращается лишь на 18 и 25 % соответственно. Также отличаются результаты, полученные с МО-4Т; при массовой доле 4 % он позволяет сократить продолжительность желатинизации клея на 14 %. Сравнение данных, полученные при испытании КФС обеих вариантов интересны тем, что показывают зависимость получаемых результатов от

марки смолы, причём меняются как абсолютные, так и относительные величины.

Таблица 4 – Продолжительность желатинизации и жизнеспособность клея из смолы 2, при разном содержании отвердителей

Вид отвердителя	Масс. доля по абс. сух. веществам, %	Содержание по масс. ч.	Продолжительность желатинизации, с	Жизнеспособность, ч
Хлорид аммония	1	0,65	69 ± 2	более 8,0
	2	1,30	56 ± 2	
	3	1,96	52 ± 2	
	4	2,61	52 ± 1	
	5	3,26	51 ± 1	
МО-4Б	1	1,30	77 ± 2	более 8,0
	2	2,61	52 ± 2	6,0
	3	3,91	45 ± 2	4,0
	4	5,22	41 ± 2	2,5
	5	6,25	40 ± 2	1,5
МО-4Т	1	1,09	79 ± 1	более 8,0
	2	2,17	60 ± 2	более 8,0
	3	3,26	52 ± 1	7,5
	4	4,35	45 ± 2	6,5
	5	5,43	44 ± 1	5,5
МО-4СБ	1	1,09	65 ± 2	более 8,0
	2	2,17	46 ± 1	4,5
	3	3,26	42 ± 2	3,0
	4	4,35	38 ± 1	2,0
	5	5,43	36 ± 1	1,0

Для проверки способности модификаторов-отвердителей МО-4 сокращать продолжительность горячего прессования изготавливали трёхслойную фанеру из берёзового шпона толщиной 1,5 мм. Испытывали только модификатор-отвердитель марки МО-4СБ, как показавший наибольшую эффективность при проверке продолжительности желатинизации. Для приготовления клея использовали только КФС варианта 2; рецептура клея менялась в зависимости от применяемого отвердителя:

	Содержание, масс. ч	
	хлорид аммония	МО-4СБ
КФС.....	100	100
каолин.....	8,75	8,75
мука.....	1,5	1,5
отвердитель.....	1,93	4,29

Результаты сравнивали с фанерой, где в качестве отвердителя использовали хлорид аммония (табл. 5). Расчётная намазка составила 115 г/м², температура прессования 110 °С, давление прессования 1,8 МПа, продолжительность прессования меняли в пределах 2...3 мин. Перед горячим прессованием проводили холодную подпрессовку пакета, выдерживая его под давлением 0,8 МПа в

течение 30 мин. В горячий пресс пакеты загружали в виде стопки из двух пакетов, расположенных один над другим (6 листов шпона в каждой стопке).

Таблица 5 – Физико-механические показатели трёхслойной фанеры из клея со смолой 2

Наименование показателя	Значение показателя для фанеры с разными отвердителями	
	хлорид аммония	МО-4СБ
Продолжительность прессования – 3 мин		
ρ , кг/м ³	679 ± 24	652 ± 25
ω , %	5,9 ± 1,0	6,2 ± 0,3
h , мм	4,3 ± 0,1	4,3 ± 0,1
$\sigma_{ск}$, МПа	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,2
$E_{ф}$, мг/100 г абс. сух. фанеры	1,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1
Продолжительность прессования – 2 мин		
ρ , кг/м ³	расклей	641 ± 1,5
ω , %		6,0 ± 1,0
h , мм		4,5 ± 0,1
$\sigma_{ск}$, МПа		1,6 ± 0,2
$E_{ф}$, мг/100 г абс. сух. фанеры		0,8 ± 0,1

Обозначения: ρ – плотность; ω – относительная влажность; h – толщина; $\sigma_{ск}$ – прочность при скалывании по клеевому слою; $E_{ф}$ – содержание формальдегида по WKI.

Результаты испытаний трёхслойной фанеры показывают возможность сокращения продолжительности горячего прессования при замене хлорида аммония на МО-4СБ. При этом физико-механические показатели фанеры остаются на уровне контроля и соответствуют требованиям стандарта.

Полученный результат пытались повторить на девятислойной фанере. Образцы изготавливали в тех же условиях, однако продолжительность прессования приняли на уровне 3 мин. Все образцы, изготовленные с клеем, содержащим хлорид аммония, расклеились после снятия давления. Образцы с МО-4СБ сохраняли форму только при увеличении массовой доли отвердителя до 5 % по абс. сух. веществам (5,43 масс. ч.) и изменения намазки (табл. 6).

Таблица 6 – Физико-механические показатели девятислойной фанеры из клея со смолой 2

Наименование показателя	Значение показателя для фанеры при расчётной намазке, г/м ²		
	115	125	135
ρ , кг/м ³	расклей по внутреннему слою	684 ± 18	расклей по внутреннему слою
ω , %		7,6 ± 0,5	
h , мм		13,0 ± 0,1	
$\sigma_{ск}$, МПа		2,7 ± 0,3	
$E_{ф}$, мг/100 г абс. сух. фанеры		2,0 ± 0,2	

Данные табл. 6 показывают, что для сокращения продолжительности горячего прессования фанеры требуется корректировка рецептуры клея и расчётной намазки шпона. Сложности в достижении результата, по всей видимости, вызваны большим количеством физико-химических процессов, протекающих при горячем прессовании фанеры. Так, у образцов с намазкой 115 г/м² мы наблюда-

дали желатинизацию клея во внутренних слоях шпона, однако глубины поликонденсации, по всей видимости, было недостаточно для преодоления релаксационных напряжений шпона. По всей видимости, КФС переходит в стадию Б [2], когда образуется достаточно диметиленэфирных связей для желатинизации, однако этих связей недостаточно для сохранения целостности фанеры.

Клей во внутреннем слое образцов с намазкой 135 г/м^2 не успевал желатинизироваться. По всей видимости, намазка была чрезмерна и из-за большого количества воды в клее, пакет не успевал прогреться. Успеха удалось добиться только при намазке 125 г/м^2 ; возможно, в таком случае, недостаточная глубина химических превращений компенсировалась большим количеством клея. При этом в ходе выдержки фанеры и усадки клеевого шва превращения продолжались и прочность испытанных образцов оказалась в пределах требований стандартов.

Выводы:

1. Модификаторы-отвердители марок МО-4Б и МО-4СБ можно использовать в составе клея из карбамидоформальдегидной смолы вместо хлорида аммония, причём отверждение клея с 4 % модификаторов-отвердителей от массы абс. сух. смолы будет проходить быстрее, чем с клеем с 3 % хлорида аммония на 18...25 % для МО-4Б и на 25...30 % для МО-4СБ.

2. Использование модификатора-отвердителя марки МО-4СБ при массовой доле 4...5 % от массы абс. сух. смолы позволяет сократить продолжительность горячего прессования фанеры на 25...30 % без ухудшения физико-механических показателей готового материала.

Литература:

1. Иванов Д.В., Шевченко С.В, Екатеринчева М.А., Елисеев Д.М. Новые отвердители аминокформальдегидных смол // Состояние и перспективы развития производства древесных плит / Под редакцией Гнутовой Е.П.: сборник докладов 23-й международной научно-практической конференции 18-19 марта 2020 г. – Балабаново, 2020. – С. 75-83.

2. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. – Л.: Изд-во «Химия», 1966. – 768 с.

3. Патент № 2739985 РФ, МПК C08L 75/02, C08K 5/09, B27N 3/02. Модификатор-отвердитель и его применение для изготовления древесных плит на основе аминокформальдегидных смол пониженной токсичности / Иванов Д.В., Елисеев Д.М. – № 2020120597. Заявл. 22.06.2020; Оpubл. 30.12.2020. Бюл. № 1

4. Перминова Д.А., Мальков В.С., Денисова Д.В., Князев А.С. Влияние модификатора МД-219 на процесс отверждения карбамидоформальдегидной смолы // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. Леоновича А.А.: 20-я Междунар. науч.-прак. конф., 15-16 марта 2017 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 37-41.

5. Романов Н.М. Химия карбамидо- и меламинаформальдегидных смол. – М.: ООО Адвансед Солюшнз, 2016. – 528 с.

6. Эльберт А.А. Химическая технология древесностружечных плит. М: Лесн. пром.-сть, 1984. – 224 с.

7. Nuno José Alves da Costa. Adhesive system for low formaldehyde emission wood-based panels: dissertation presents for the degree of doctor of philosophy in chemical and Biological Engineering; University of Porto. – Porto, 2013. – 168 p.

УДК 674.812

Повышение прочности склеивания шпона в технологии фанеры

В.А. Шамаев, Е.М. Разиньков, Т.Л. Ищенко

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф.Морозова*

Использованы различные методы повышения прочности склеивания шпона в технологии фанеры. Такими методами являлись: введение в клей активированной ультразвуком нанокристаллической целлюлозы (НКЦ); использование гидрогеля нанофибриллярной целлюлозы, ионизированной в сильном магнитном поле; замена некоторых слоёв шпона на базальтовую ткань. Использование на практике этих методов позволяет повысить прочность фанеры при скалывании по клеевому слою на 16...220 %.

Ключевые слова: нанокристаллическая целлюлоза, шпон, смолы, импульсное магнитное поле, фанера.

Наноцеллюлоза может быть эффективно использована в деревопереработке [2]. Использование нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) в качестве добавки к карбамидоформальдегидным и фенолоформальдегидным смолам в технологии модифицированной древесины позволяет увеличить прочность клеевого слоя на 50...100 % [3]. Однако НКЦ эффективна только после её химической или физической активации [5, 4]. При этом наибольший положительный эффект проявляется при воздействии ультразвука, импульсного магнитного поля, сильного постоянного магнитного поля.

Мы исходили из того, что в условиях получения фанеры добавка НКЦ в карбамидо- и меламиноформальдегидную смолы может повысить качество клеевого слоя. Поскольку в этом случае прочность клеевого слоя может оказаться выше прочности шпона, то поверхность шпона усиливали базальтовой тканью. Таким образом, цель работы состояла в повышении прочности склеивания шпона в технологии фанеры за счёт использования НКЦ, спецвидов её обработки и применения базальтовой ткани в качестве материала, укрепляющего лущёный шпон.

В работе использовали берёзовый шпон толщиной 1,5 мм, который склеивали в горячем прессе карбамидомеламиноформальдегидной смолой марки Prefere следующей характеристики:

Плотность при 20 °С, г/см ³	1,29
Массовая доля сухого остатка, %	67 %
Вязкость по ВЗ–4 при 20 °С, с	43 с
Значение рН	8,9
Содержание свободного формальдегида, %	0,2 %
Срок хранения при 20 °С, недель	5

Для отверждения смолы использовали отвердитель Prefere 24F782 плотностью 0,55 г/см³.

НКЦ использовали в виде 2 % водного геля следующей характеристики: исходное сырьё – целлюлоза, выделенная из водной дисперсии WHISHERS методом сублимационной сушки; концентрация гидрогеля 2 %; длина волокон 200...400 нм; ширина волокон 10 нм; вязкость гидрогеля 29 с.

Дополнительную обработку проводили с использованием ультразвука и импульсного магнитного поля (ИМП). Параметры ультразвука были следующие: частота колебаний 21 кГц; интенсивность колебаний 13 Вт/см²; продолжительность обработки 30 с.

Способ приготовления клея с добавкой НКЦ состоял в следующем. В смолу добавляли соответствующее количество 2 % гидрогеля НКЦ, смесь перемешивали и обрабатывали её ультразвуком. Концентрация НКЦ составляла 0,4 и 0,8 % к массе абс. сух. древесины. Для повышения концентрации НКЦ шпон, с нанесённым на него с двух сторон клеем, подсушивали до влажности 6...8 %.

Обработку ИМП производили по следующему режиму: длительность импульсов 10 мкс; амплитуда колебаний В 0,3 Тл; частота следования 10 мс; частота колебаний 50 Гц; напряжённость поля 18·10 А/м; продолжительность обработки 60 с.

Базальтовую ткань использовали следующей характеристики: толщина слоя ткани 0,4 мм; количество слоёв в пакете будущего листа фанеры 9.

Для склеивания листов шпона использовали фенолоформальдегидную смолу марки СФЖ 3013, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 20907–75.

Режим горячего прессования фанеры без базальтовой ткани был следующий: слойность пакета фанеры 7; размеры (длина × ширина) 300 × 300 мм; расход клея 160 г/м²; температура прессования 125 ± 3 °С; давление прессования 2,0 ± 0,05 МПа; продолжительность выдержки в прессе 7 мин.

Режим прессования фанеры с базальтовой тканью был следующий:

- расположение слоёв ткани относительно шпона – под верхним и над нижним слоями шпона;
- смола для склеивания базальтовой ткани – эпоксидная (препрег);
- смола для склеивания шпона – СФЖ-3013;
- расход клея – 180 г/м²;
- температура 125 ± 3 °С;
- давление 2,0 ± 0,05 МПа;
- продолжительность выдержки в прессе – 10 мин.

Было изготовлено 18 листов фанеры толщиной 9,4 мм, из которой изготавливали образцы для испытания предела прочности при скалывании по клеевому слою по ГОСТ 9624–2009 [1].

Условия проведения и результаты испытаний приведены в табл.1.

Таблица 1 – Условия проведения и результаты испытаний

№ листа фанеры	Состав клея: смола/отвердитель/вода	Обработка ИМП	Содержание НКЦ, %	Предел прочности при скалывании по клеевому слою, МПа
1	63/16/21	–	–	2,24
2	63/16/21	–	0,4	2,60
3	63/16/21	ИМП	0,4	2,75
4	126/32/42	–	0,8	3,00
5	126/32/42	ИМП	0,8	3,29
6	63/16/42	–	2,0	3,32
7	63/16/42	ИМП	2,0	3,20
8	63/16/42	–	2,0	2,71
9	63/16/42	ИМП	2,0	3,09
10	63/16/42	–	2,0	3,25
11	63/16/42	ИМП	2,0	3,79
12	63/16/42	–	2,0	3,00
13	63/16/42	ИМП	2,0	3,32
14	63/16/42	–	0,4	2,66
15	63/16/42	ИМП	0,4	3,29
16	СФЖ 3013	ИМП	–	4,95
17	СФЖ 3013	–	–	Расслоение листа
18	СФЖ 3013	ИМП	–	3,43

Примечание: в опытах 2 – 15 вода при изготовлении клея заменена 2 % водным гелем НКЦ; для опытов 6 – 13 на внутренние слои шпона наносили 2 % водный гель НКЦ, после чего высушивали при 40 °С в течение 20 мин в поле сверхвысокой частоты (СВЧ); все образцы, за исключением образцов из листа фанеры №1, обрабатывали ультразвуком.

Выводы:

1. Активация ультразвуком НКЦ и обработка фанеры ИМП повышает прочность склеивания шпона в технологии фанеры. При активации НКЦ ультразвуком предел прочности при скалывании по клеевому слою в сухом состоянии увеличивается на 16 %, а при обработке фанеры ИМП на 23 %. Повышение предела прочности при скалывании по клеевому слою при содержании НКЦ до 2 % с последующей обработкой ультразвуком и ИМП в среднем составило 50 %.

2. Использование базальтовой ткани для замены двух слоев шпона увеличивает предел прочности при скалывании по клеевому слою на 220 %. Также следует ожидать повышение этого показателя при использовании гидрогеля на нанофибриллярной целлюлозы, ионизированной в сильном магнитном поле.

Литература:

1. ГОСТ 9624–2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании.

2. Обливин А.Н., Лопатников М.В. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе: монография. – М.: МГУЛ, 2011. – 221 с.
3. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Константинова С.А., Медведев И.Н. Применение наноцеллюлозы в процессах склеивания и модифицирования древесины // Лесной вестник. – МГУЛ, 2012. №8 (91). – С. 107-110.
4. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины (монография). – М.: «Флинта» «Наука», 2013. – 445 с.
5. Ottner G. Die Fottentwicrlunq der Mahlung fur Kurzfaser und Altpapierstoffe // Wochenblatt fur Papicrfabrication. 2007. №5 – P. 200-204.

УДК 674-419.3

Исследование процессов склеивания шпона меламинокарбамидоформальдегидными смолами

Е.Г. Соколова

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Анализ и обоснование технологических параметров производства фанеры способствует увеличению производительности, сокращению количества брака, материалоемкости и энергоемкости технологических процессов. Применение меламинокарбамидоформальдегидной смолы позволяет получить фанеру повышенной водостойкости с высокими эксплуатационными показателями. Модификация смолы доломитовой мукой и аэросилом техническим приводит к сокращению времени склеивания пакетов шпона.

Ключевые слова: фанера, меламинокарбамидоформальдегидная смола, доломитовая мука, аэросил, древесный шпон.

В настоящее время совершенствование технологических процессов является одной из основных задач деревообрабатывающей отрасли. Обоснование технологических параметров производства фанеры может привести к повышению производительности, уменьшению количества брака, материалоемкости и энергоемкости. При этом необходимо обеспечить высокие эксплуатационные свойства готовой продукции. Благодаря применению меламинокарбамидоформальдегидной смолы возможно получить фанеру повышенной водостойкости [5]. Кроме того, модификация смол позволяет повысить показатели готовой продукции и качество некоторых технологических операций [1-4].

Цель данных исследований – обоснование режимов склеивания фанеры с применением модифицированных клеевых композиций на основе меламинокарбамидоформальдегидной смолы.

Для проведения исследований был использован берёзовый шпон толщиной 1,5 мм. Для обоснования режимов склеивания применяли разработанные клеевые композиции на основе меламинокарбамидоформальдегидной смолы

(МКФС) с содержанием меламина 20 % с введенными в его состав компонентами: хлорид аммония технический; доломитовая мука; аэросил технический марки А.

Составы клеевых композиций и параметры склеивания фанеры приведены в табл.1.

Таблица 1 – Свойства клеевых композиций на основе меламинакарбаминоформальдегидной смолы и параметры склеивания

Состав клея	Условная вязкость клея, с	Жизнеспособность клея, ч	Продолжительность процесса отверждения, с	Температура плит пресса, °С	Давления прессования, МПа	Время склеивания, мин
МКФС – 100 масс. ч. Хлорид аммония – 1,5 масс. ч.	97	6...8	98	120	1,8...2,0	9,0
МКФС – 100 масс. ч. Аэросил технический – 5-10 масс. ч. Хлорид аммония – 1,5 масс. ч.	125	6...8	65	120	1,8...2,0	5,5...9,0
МКФС – 100 масс. ч. Доломитовая мука – 5-10 масс. ч. Хлорид аммония – 1,5 масс. ч.	110	6...8	80	120	1,8...2,0	7,0...9,0

Испытания фанеры на прочность клеевого соединения при скалывании проводили в соответствии с ГОСТ 9624–2009. Сравнительные результаты испытаний 9-ти слойной фанеры на прочность представлены на рис. 1 и 2.

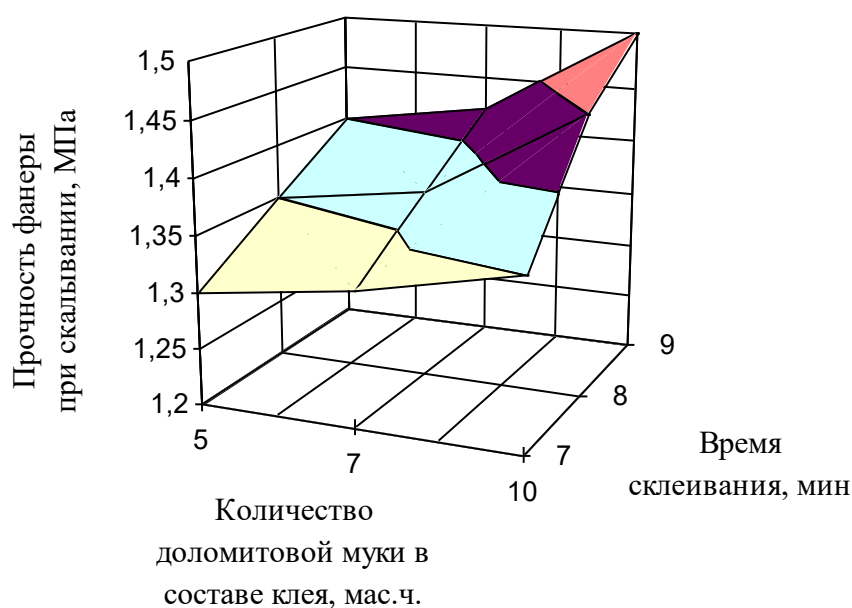


Рис. 1. Зависимость прочности фанеры при скалывании от количества доломитовой муки в составе клея на основе МКФС и времени склеивания

Фанера повышенной водостойкости, полученная с использованием МКФС, и рассмотренных активных наполнителей: аэросила технического и доломитовой муки, не уступает по физико-механическим показателям продукции, выпускаемой по существующим технологиям. С увеличением времени склеивания, содержания аэросила технического и доломитовой муки в составе клеевой композиции наблюдается повышение прочности фанеры.

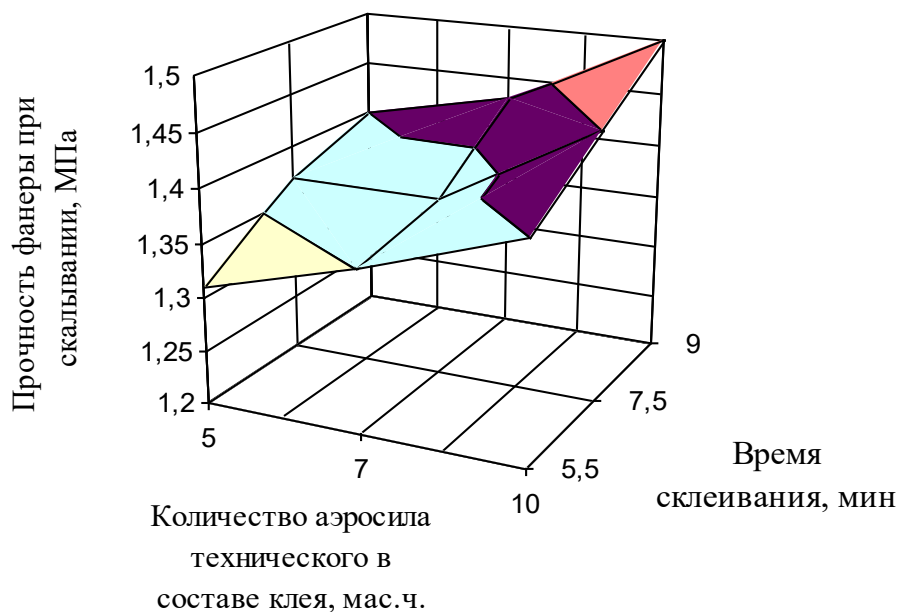


Рис. 2. Зависимость прочности фанеры при скалывании от количества аэросила технического в составе клея на основе МКФС и времени склеивания

С использованием графиков характера изменения температуры в краевой зоне пакета во время нагрева и продолжительности желатинизации клеевых составов под действием различных температур установили время прессования пакетов шпона различных толщин (рис. 3). Время склеивания и физико-механические показатели готовой продукции представлены в табл. 2.

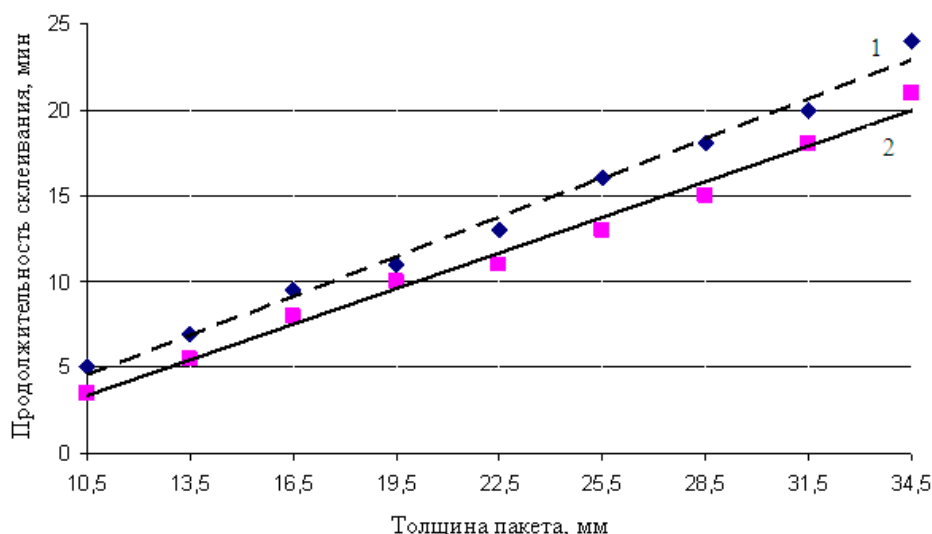


Рис. 3. Зависимость продолжительности склеивания от толщины пакета 1 – клеевая композиция на основе МКФС, модифицированная доломитовой мукой 2 – клеевая композиция на основе МКФС, модифицированная аэросилом техническим

Таблица 2 – Продолжительность склеивания и показатели прочности фанеры

Толщина пакета, мм / слойность	Продолжительность склеивания клеевой композицией, модифицированной доломитовой мукой, мин	Продолжительность склеивания клеевой композицией, модифицированной аэросилом техническим, мин	Прочность фанеры при скалывании после кипячения в течение 1ч, МПа (клеевая композиция с доломитовой мукой)	Прочность фанеры при скалывании после кипячения в течение 1ч, МПа (клеевая композиция с аэросила технического)
13,5/3	5,0	3,5	1,24	1,40
15/5	7,0	5,5	1,35	1,42
10,5/7	5,0	3,5	1,30	1,30
13,5/9	7,0	5,5	1,35	1,40
16,5/11	9,5	8,0	1,32	1,35
19,5/13	11,0	10,0	1,38	1,40
22,5/15	13,0	11,0	1,25	1,34
25,5/17	16,0	13,0	1,34	1,38
28,5/19	18,0	15,0	1,30	1,36
31,5/21	20,0	18,0	1,25	1,30
34,5/23	24,0	21,0	1,20	1,35

Внедрение в производственный процесс новых клеевых систем с использованием меламинакарбаминоформальдегидной смолы, модифицированной доломитовой мукой и аэросилом техническим, позволяет получить фанеру повышенной водостойкости с улучшенными эксплуатационными показателями. Модифицированные клеевые системы на основе меламинакарбаминоформальдегидной смолы позволяют снизить время склеивания фанеры. При этом снижается энергоемкость за счёт уменьшения потребления тепловой энергии и повышается производительность процесса производства. При минимальном изменении процесса, получено значительное улучшение экономических и технологических параметров.

Литература:

1. Варанкина Г.С., Брутян К.Г., Чубинский А.Н. Модифицированные карбаминоформальдегидные и феноло-формальдегидные клеи для древесностружечных плит и фанеры // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 6. – С. 14-19.
2. Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Козик П.С. Исследование процессов склеивания шпона фенолоформальдегидной смолой с использованием промежуточных продуктов сульфатно-целлюлозного производства // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2 (30). – С. 120-127.
3. Кондратьев В.П., Александрова Н.Д., Чубов А.Б., Залипаев А.А. Совершенствование феноло- и карбаминоформальдегидных клеев для производства березовой и лиственничной фанеры // Деревообрабатывающая промышленность. 2003. Вып. 4. – С. 2.

4. Соколова Е.Г. Анализ применения доломитовой муки в производстве фанеры повышенной водостойкости // Системы. Методы. Технологии. 2019. №4 (44). – С. 90-94.

5. Соколова Е.Г. Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости, изготовленной с применением меламинокарбаминоформальдегидных смол // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. – С. 282-293.

УДК 674.816.3

Использование отходов от форматной обрезки фанеры при производстве облепченных панелей

С.А. Узрюмов, А.Р. Бирман

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Предложены способы производства облепченных фанерных панелей с внутренним слоем на основе отходов от форматной обрезки, позволяющие эффективно утилизировать и перерабатывать образующиеся отходы фанерного производства с выпуском облепченного материала, уменьшить расход лущеного шпона и клеевых материалов, снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Ключевые слова: фанера, фанерная панель, лущеный шпон, отходы от форматной обрезки, рейки, склеивание.

В зависимости от технологической последовательности и уровня применяемого оборудования при производстве фанеры суммарная доля отходов составляет 50 % и более [2]. Одним из видов отходов являются рейки от форматной обрезки шириной, как правило, 2,5...3,5 см, составляющие в зависимости от формата производимой фанеры 7...9 % от объёма необрезной фанеры [1]. При наличии сопутствующего производства плитных древесных материалов отходы перерабатываются (измельчаются) и направляются для формирования плит или иных композиционных материалов. В ином случае перед фанерными предприятиями стоит актуальная задача переработки и утилизации отходов, которая эффективно не решена.

Целью данной работы является поиск эффективных путей вторичного использования отходов от форматной обрезки в основном производстве фанеры.

Известны различные способы формирования внутреннего слоя фанеры и иных плитных древесных материалов, при производстве которых используются отходы форматной обрезки [3]. Недостатком большинства методов является высокая материалоемкость производства, большой расход лущеного шпона, низкие показатели физико-механических свойств конечной продукции.

Наиболее эффективным техническим решением возвратного использования отходов от форматной обрезки фанеры является их использование без дополнительной механической обработки при формировании одного или нескольких внутренних слоёв плитных конструкций [4, 6]. Пример подобной конструкции представлен на рис. 1.

Данная фанерная панель включает наружные слои из листов форматного лущеного шпона и внутренние слои из параллельно размещенных реек, полученных из торцованных отходов форматной обрезки. При этом рейки могут располагаться вплотную или с интервалами, образующими внутренние полости.

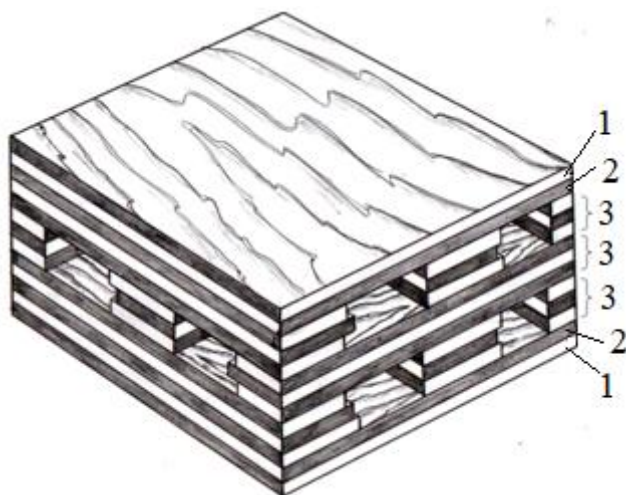


Рис. 1. Конструкция панели с внутренними слоями из реек от форматной обрезки фанеры: 1 – продольный слой лущеного шпона; 2 – поперечный слой лущеного шпона; 3 – слой реек от форматной обрезки

Рейки предварительно должны быть обрезаны в необходимый размер по ширине, с учётом необходимой толщины внутреннего слоя формируемой панели и максимального использования объёма отходов.

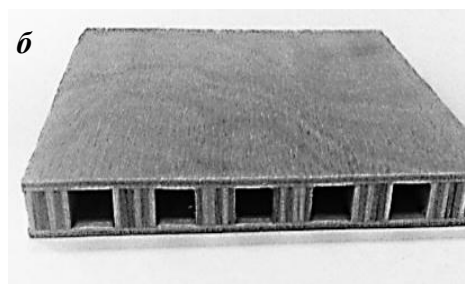
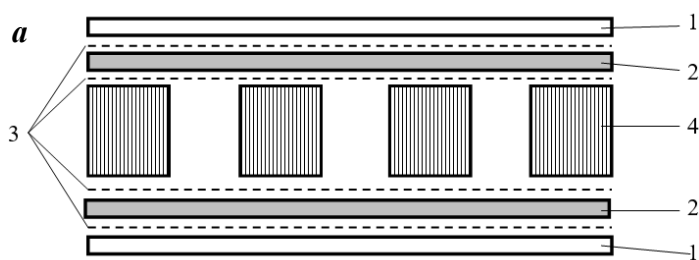


Рис. 2. Конструкция фанерной панели с вертикально установленными рейками во внутреннем слое: а – схема сборки панели; б – внешний вид панели; 1 – продольные слои шпона; 2 – поперечные слои шпона; 3 – клеяющие швы; 4 – пакет реек, поставленных на ребро

В данной конструкции повышается эффективность использования образующихся отходов, уменьшается количество листов лущёного шпона с нанесённым клеем, за счёт чего снижается расход клея на единицу продукции. Регулируя расстояние между рейками, можно варьировать плотность панели.

Недостатком указанной конструкции является низкая прочность при изгибе в направлении, перпендикулярном установке реек во внутреннем слое. Уменьшение анизотропии прочности возможно при использовании во внутреннем слое решётчатой конструкции, когда рейки в решётке внутреннего слоя установлены на ребро и соединены между собой путём установки в смежные пазы [5] (рис. 3).

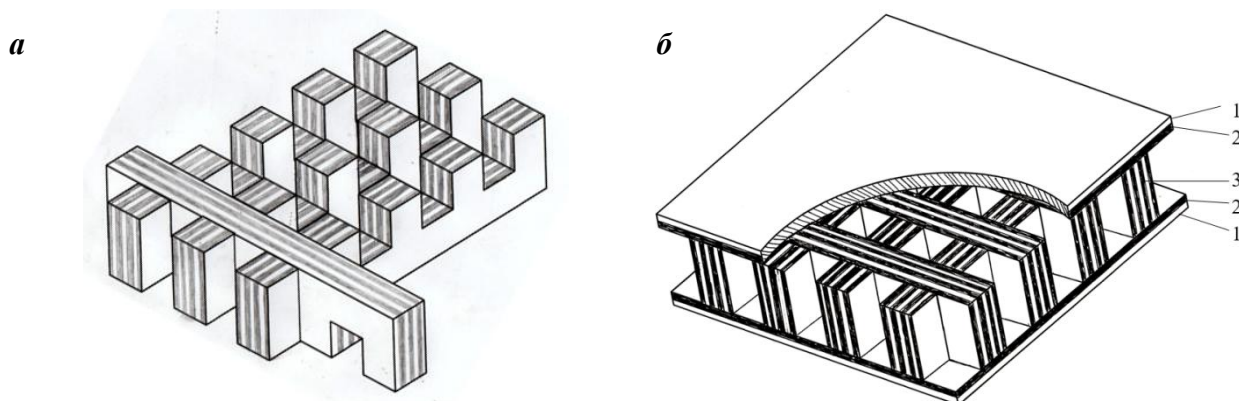


Рис. 3. Конструкция фанерной панели с внутренним слоем в виде решётки: а – схема сборки решетчатой конструкции; б – схема сборки панели; 1 – продольные слои шпона; 2 – поперечные слои шпона; 3 – решётчатая конструкция из реек от форматной обрезки фанеры

За счёт укладки во внутреннем слое реек на ребро в виде решётчатой конструкции повышается прочность фанерной панели при изгибе как в продольном, так и в поперечном направлении. Однако конструкция данной панели отличается большой трудоёмкостью изготовления решётчатого внутреннего слоя.

Снизить трудоёмкость изготовления внутреннего слоя можно, уложив рейки решётчатой конструкции внутреннего слоя по вертикали в два ряда [8], при этом фасонные рейки нижнего ряда имеют открытые сверху пазы глубиной, равной половине их высоты, и шириной, равной удвоенной толщине фанеры основного производства. Прямоугольные рейки верхнего ряда, высота которых равна глубине пазов реек нижнего ряда, попарно установлены на ребро в пазы реек нижнего ряда (рис. 4). Сопряжения верхней плоскости нижних реек с вертикальными плоскостями их пазов могут быть выполнены по дуге окружности.

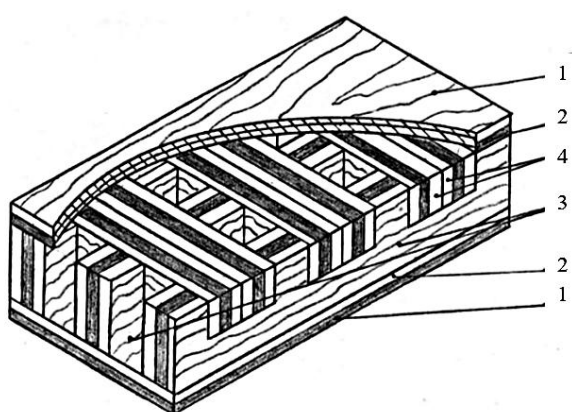


Рис. 4. Конструкция фанерной панели с внутренним слоем в виде двух слоев вертикальных реек: 1 – продольные слои шпона; 2 – поперечные слои шпона; 3 – продольные рейка с пазами; 4 – поперечные рейки без пазов

Изготовление панели данной конструкции позволяет снизить потери материала форматной обрезки фанеры за счёт снижения числа пазов при их формировании в рейках решётчатой конструкции, снизить вес решетчатой конструкции и упростить

её монтаж с одновременным повышением прочности, тепло- и звукоизоляционных свойств.

Предложенные варианты сборки панелей с внутренним заполнением на основе отходов от форматной обрезки позволяют эффективно утилизировать и перерабатывать образующие отходы с выпуском облегчённого материала, уменьшить материалоемкость фанерного производства за счёт сокращения расхода лущеного шпона и расхода клеевых материалов, снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Литература:

1. Волков А.В. Справочник фанерщика. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 486 с.
2. Волинский В.Н. Технология клеёных материалов. – Архангельск: Издательство АГТУ, 2003. – 280 с.
3. Лукаш А.А. Технология новых клееных материалов. – СПб.: Лань, 2014. – 304 с.
4. Патент № 173210 РФ. Фанерная панель / Угрюмов С.А. Заявл. 19.12.2016; Оpubл. 16.08.2017. Бюл. № 23.
5. Патент № 178646 РФ. Фанерная панель / Угрюмов С.А., Митрофанов В.Е. Заявл. 19.12.2017; Оpubл. 16.04.2018. Бюл. № 11.
6. Патент № 179234 РФ. Фанерная панель / Угрюмов С.А., Митрофанов В.Е. Заявл. 18.12.2017; Оpubл. 07.05.2018. Бюл. № 13.
7. Патент № 180251 РФ. Фанерная плита / Угрюмов С.А. Заявл. 31.07.2017; Оpubл. 07.06.2018. Бюл. № 16.
8. Патент № 193354 РФ. Фанерная панель / Бирман А.Р., Угрюмов С.А. Заявл. 25.10.2019; Оpubл. 25.10.2019. Бюл. № 30.

УДК 674.038

Экономическая эффективность использования в технологии фанеры бесшпиндельных лущильных станков

Е.М. Разиньков

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова*

Использование в технологии фанеры бесшпиндельных лущильных станков позволяет уменьшить диаметр карандаша с 75...80 до 40 мм и получить существенный экономический эффект. Так, например, предприятие с годовой мощностью 30000 м³ фанеры марки ФК может произвести дополнительно 2245 м³ фанеры за счёт увеличения производства сырого шпона на 7,5 % и за счёт этого получить экономический эффект в сумме 40 млн. 410 т. руб/год.

Ключевые слова: фанера, бесшпиндельные лущильные станки.

В технологии фанеры используются в основном отечественные лущильные станки моделей ЛУ 17-4, ЛУ 17-10 и финские моделей 2HV-66, 3VККТ-66 и др.

Диаметр карандаша в этих станках составляет обычно 75...80 мм. Связано это, во-первых, с тем, что станки оборудованы шпинделем с зажимными кулачками, препятствующими долущиванию чурака до меньшего диаметра карандаша. Во-вторых, система поддерживающих роликов в станках, которая должна предотвратить или же значительно уменьшить вибрацию долущиваемой части чурака, не совсем совершенна. В настоящее время, особенно в Китае, в технологии фанеры успешно используются бесшпиндельные луцильные станки с получением диаметра карандаша до 40 мм (станки моделей ВХQ(J)1820, ВХQ(J)1827, SL2600/5В и др.

Цель работы состояла в разработке методики расчёта экономической эффективности от внедрения в технологию фанеры бесшпиндельных луцильных станков. Метод исследований основан на разработке аналитических зависимостей, определяющих разницу в объёмах получаемого сырого шпона на бесшпиндельных луцильных станках и станках, оснащенных шпинделем.

Известно, что объем получаемого из одного чурака шпона ($V_{ш}, м^3$) тесно связан с диаметром карандаша формулой [1]:

$$V_{ш} = \frac{D_{ц} (K_1 \cdot D_{ц} - K_2) - 0,78 D_{к}^2 - 11}{10^4} \cdot L_{ч}, \quad (1)$$

где $D_{ч}$ – диаметр чурака, см; $D_{к}$ – диаметр карандаша, см; $L_{ч}$ – длина чурака, м; K_1, K_2 – коэффициенты, значения которых зависят от сортности сырья и породы древесины (для берёзы 1 сорта $K_1 = 0,76, K_2 = 1,6$; 2 сорта $K_1 = 0,75, K_2 = 2,1$).

Проведём анализ этой формулы на предмет влияния на конечный результат диаметра карандаша. Для примера в качестве породы древесины примем бёрезу, как наиболее распространённую в фанерном производстве.

$D_{ч}$ и $L_{ч}$ примем реальными для отечественных фанерных предприятий, равными соответственно 26 см и 1,6 м (для фанеры общего назначения). Определим значения $V_{ш}$ для диаметров карандашей 40 и 75 мм при использовании бесшпиндельных луцильных станков и станков, оснащённых шпинделями.

Для диаметра карандаша 40 мм и сырья 1 сорта:

$$V_{ш} = \frac{26 (0,76 \cdot 26 - 1,6) - 0,78 \cdot 4^2 - 11}{10^4} \cdot 1,6 = 0,0718 \text{ м}^3.$$

Для диаметра 75 мм и сырья 1 сорта:

$$V_{ш} = \frac{26 (0,76 \cdot 26 - 1,6) - 0,78 \cdot 7,5^2 - 11}{10^4} \cdot 1,6 = 0,0668 \text{ м}^3.$$

Для диаметра 40 мм и сырья 2 сорта:

$$V_{ш} = \frac{26 (0,75 \cdot 26 - 2,1) - 0,78 \cdot 4^2 - 11}{10^4} \cdot 1,6 = 0,0687 \text{ м}^3.$$

Для диаметра 75 мм и сырья 2 сорта:

$$V_{\text{ш}} = \frac{26(0,75 \cdot 26 - 2,1) - 0,78 \cdot 7,5^2 - 11}{10^4} \cdot 1,6 = 0,0636 \text{ м}^3.$$

Результаты показывают, что при использовании сырья 1 сорта увеличение объёмного выхода шпона при диаметре карандаша 40 мм будет на 7,5 %, чем при диаметре 75 мм. При использовании сырья 1 сорта увеличение объёмного выхода шпона при диаметре карандаша 40 мм будет на 8,0 %, чем при диаметре 75 мм.

Для расчёта экономической эффективности предприятия за счёт использования бесшпиндельных луцильных станков необходимо вывести соответствующие формулы. Для этого произведём соответствующие расчёты для предприятия с годовым объёмом производства фанеры, например, марки ФК 30000 м³ ($Q_{\text{г}}$) при использовании для лущения чураков диаметром 26 см. Как показывает опыт работы фанерных предприятий расход чураков такого диаметра на 1 м³ фанеры составляет около 2,4 м³/м³ (g). Следовательно, на годовую программу производства фанеры требуется 72000 м³ чураков ($Q_{\text{чур}}$).

$$Q_{\text{чур}} = g \cdot Q_{\text{г}}, \quad (2)$$

Разделим общее количество чураков по сортам для чего в расчётах примем сортовой состав сырья, %: 1 сорт (P_1) – 40 и 2 сорт (P_2) – 60 %. Тогда получим:

$$Q_{\text{чур}1} = (Q_{\text{чур}} \cdot P_1) \cdot 10^{-2} = 72000 \cdot 40 \cdot 10^{-2} = 28800 \text{ м}^3.$$

$$Q_{\text{чур}2} = (Q_{\text{чур}} \cdot P_2) \cdot 10^{-2} = 72000 \cdot 60 \cdot 10^{-2} = 43200 \text{ м}^3.$$

Количество сухого шпона, выходящего из сырья каждого сорта, примем реальными для фанерных предприятий, например: для 1 сорта ($P_{\text{сух.1}}$) – 54 и для 2 сорта ($P_{\text{сух.2}}$) – 51 %. При таком количестве сухого шпона посортный объём сухого шпона определится:

$$Q_{\text{сух.1}} = Q_{\text{чур}1} \cdot P_{\text{сух.1}} = (28800 \cdot 54) \cdot 10^{-2} = 15552 \text{ м}^3.$$

$$Q_{\text{сух.2}} = Q_{\text{чур}2} \cdot P_{\text{сух.2}} = (43200 \cdot 51) \cdot 10^{-2} = 22032 \text{ м}^3.$$

Количество сырого шпона, выходящего из сырья каждого сорта, составит:

$$Q_{\text{сыр.1}} = \frac{Q_{\text{сух.1}} \cdot 100}{100 - \alpha_1} = \frac{15552 \cdot 100}{86} = 18084 \text{ м}^3.$$

где α_1 – коэффициент потерь на усушку, % (примем равным 14%).

$$Q_{\text{сыр.2}} = \frac{Q_{\text{сух.2}} \cdot 100}{100 - \alpha_2} = \frac{22032 \cdot 100}{86} = 25619 \text{ м}^3.$$

При таких значениях расход сырого шпона на 1 м³ фанеры (R) составит:

$$R = \frac{Q_{\text{сыр.1}} + Q_{\text{сыр.2}}}{Q_{\text{г}}} = \frac{18084 + 25619}{30000} = 1,4 \frac{\text{м}^3 \text{ сыр. шпона}}{\text{м}^3 \text{ фанеры}},$$

или

$$R = \frac{g \left(P_1 \cdot \frac{P_{\text{су.1}}}{100} + P_2 \cdot \frac{P_{\text{су.2}}}{100} \right)}{100 - \alpha_1}, \quad (3)$$

g – расход чураков на 1 м³ фанеры, м³ чур./м³ фанеры; P_1 и P_2 – количество сырья соответственно 1 и 2 сорта, % от общего количества; $P_{\text{сух.1}}$ и $P_{\text{сух.2}}$ – количество сухого шпона, выходящего из сырья каждого сорта, %; α_1 – коэффициент потерь на усушку, %.

За счёт использования бесшпиндельных лушильных станков годовая экономия составляет 7,5 % ($\mathcal{E}_{\text{кар.}}$, %) сырого лушеного шпона.

$$\mathcal{E}_{\text{сыр.ш.}} = \frac{Q_{\text{сыр}} \cdot \mathcal{E}_{\text{карб}}}{100} = \frac{43703 \cdot 7,5}{100} = 3278 \text{ м}^3.$$

За счёт такой экономии из 3278 м³ сырого шпона можно изготовить фанеру объёмом ($Q_{\text{фан}}$):

$$Q_{\text{фан}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{сыр.ш.}}}{R} = \frac{3278}{1,46} = 2245 \text{ м}^3.$$

При изготовлении предприятием, например, фанеры марки ФК толщиной 10 мм (примем цену 1 м³ фанеры 18000 руб.), экономический эффект ($\mathcal{E}_{\text{год.}}$) составит:

$$\mathcal{E}_{\text{год.}} = 18000 \cdot 2245 = 40410 \text{ тыс. руб.} = 40 \text{ млн. } 410 \text{ тыс. руб.}$$

В общем виде, расчёт экономического эффекта ($\mathcal{E}_{\text{год.}}$, тыс. руб.) имеет вид:

$$\mathcal{E}_{\text{год.}} = \frac{(\text{Ц}_{\text{ф}} Q_{\text{сыр.}} \mathcal{E}_{\text{кар}}) \cdot (100 - \alpha_1)}{100g \left(P_1 \cdot \frac{P_{\text{су.1}}}{100} + P_2 \cdot \frac{P_{\text{су.2}}}{100} \right)}, \quad (4)$$

где $\text{Ц}_{\text{ф}}$ – цена 1 м³ фанеры, руб.; $Q_{\text{сыр.}}$ – количество сырого шпона на весь объём фанеры, производимой предприятием, м³; $\mathcal{E}_{\text{кар.}}$ – годовая экономия сырого шпона за счёт использования бесшпиндельных станков, %; α_1 – коэффициент потерь на усушку, % g – расход чураков на 1 м³ фанеры, м³ чураков/м³ фанеры; P_1 и P_2 – количество сырья соответственно 1 и 2 сорта, % от общего количества; $P_{\text{сух.1}}$ и $P_{\text{сух.2}}$ – доля сухого шпона, выходящего из сырья каждого сорта, %.

Выводы:

1. Использование в технологии фанеры бесшпиндельных лушильных станков является эффективным за счёт возможности долущивания чурака до

диаметра карандаша, равного 40 мм. Это позволяет увеличить количество получаемого шпона, за счёт чего можно изготовить дополнительное количество фанеры. Так, например, предприятие с годовой мощностью 30000 м³ фанеры марки ФК может произвести дополнительно 2245 м³ фанеры за счёт увеличения производства сырого шпона на 7,5 % и за счёт этого получить экономический эффект в сумме 40 млн. 410 тыс. руб. в год.

2. Получены математические зависимости, определяющие необходимые параметры для расчётов дополнительного количества сырого шпона, фанеры и экономической эффективности при использовании в технологии фанеры бесшпindelных луцильных станков.

Литература:

1. Чубинский А.Н., Русаков Д.С., Варанкина Г.С. Технология фанеры: учеб. пособие. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 80 с.

УДК 674.049.3; 674.048.5

Подход к исследованию проницаемости растворов огне- и биозащитных средств в древесные и целлюлозные материалы

А.В. Шелоумов

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Представлена методика, позволяющая оценить степень проникания защитных средств в виде разбавленных водных растворов в древесину и целлюлозу, а также определить концентрацию пропиточного раствора, необходимую для достижения требуемого уровня обработки материала. Получены расчётные формулы, связывающие поглощение древесиной сухого защитного средства и его массовую долю в древесине.

Ключевые слова: древесные материалы, целлюлозные материалы, огнезащитные средства, биозащитные средства, пропитка, впитывающая ёмкость, удельное поглощение, массовая доля.

В условиях промышленного получения огне- и биозащищенных древесных и целлюлозных материалов путём пропитки исходных материалов водными растворами различных огне- и биозащитных (далее защитных) средств важное значение имеет равномерность проникания в материал обоих компонентов рабочего раствора – собственно защитного средства и воды. В противном случае, при избирательном поглощении материалом какого-либо одного из компонентов в ёмкости с пропиточным раствором будет происходить накопление другого компонента, то есть разбавление или укрепление раствора. При этом условия пропитки в ходе процесса не будут постоянными, что отрицательно повлияет на качество готового материала. Предлагаемая методика позволяет оценить

проницаемость водных растворов защитных средств различных концентраций в древесные и целлюлозные материалы.

В основе методики лежит постоянство впитывающей ёмкости тонкослойных образцов каждого конкретного материала при их естественной сквозной пропитке в течение времени, необходимого для достижения равновесного состояния в системе материал – раствор. *Впитывающая ёмкость материала (удельное поглощение раствора) E* , г/г, определяемая как отношение массы поглощенного образцом раствора к массе образца до пропитки, является характеристикой данного материала и практически не зависит от концентрации пропиточного раствора. Впитывающая емкость материала может быть легко определена по формуле:

$$E = \frac{m_p}{m_{дп}} = \frac{m_{пп} - m_{дп}}{m_{дп}}, \quad (1)$$

где m_p – масса поглощенного образцом раствора, г; $m_{дп}$ – масса образца до пропитки, г; $m_{пп}$ – масса образца после пропитки, г.

Фактическое удельное поглощение сухого средства $Q_{ф}$, г/г, определяемое как отношение массы поглощенного образцом сухого средства к массе образца до пропитки, рассчитывается по формуле:

$$Q_{ф} = \frac{m_c}{m_{дп}} = \frac{m_{пс} - m_{дп}}{m_{дп}}, \quad (2)$$

где m_c – масса поглощенного образцом сухого средства, г; $m_{пс}$ – масса пропитанного образца после сушки, г.

Расчёт по этой формуле может быть проведен только после сушки образца. Если принять, что концентрация рабочего раствора при пропитке образцов тонкослойных материалов (древесный шпон, древесноволокнистые плиты, картон, бумага) не меняется, то масса поглощенного образцом сухого средства m_c может быть найдена по формуле:

$$m_c = m_p \cdot \frac{c}{100} = (m_{пп} - m_{дп}) \cdot \frac{c}{100}, \quad (3)$$

где c – концентрация пропиточного раствора, %.

Тогда *расчётное удельное поглощение сухого средства Q_p* , г/г, можно определить по формуле:

$$Q_p = \frac{m_p \cdot c}{m_{дп} \cdot 100} = \frac{(m_{пп} - m_{дп}) \cdot c}{m_{дп} \cdot 100}. \quad (4)$$

Таким образом, расчёт Q_p может быть произведён непосредственно после пропитки образца, сушка пропитанного образца для этого не требуется. Кроме того, Q_p может быть выражено через впитывающую ёмкость материала E . Тогда можно найти Q_p для любого материала с известной E , пропитываемого раствором защитного средства любой концентрации, по следующей формуле:

$$Q_p = E \cdot \frac{c}{100}. \quad (5)$$

Расчёт Q_p таким путём можно проводить без экспериментов по пропитке образцов материала, необходимо лишь знание величины E для данного материала и концентрации рабочего раствора.

Фактическая массовая доля сухого средства в материале A_ϕ , %, определяемая как отношение массы поглощенного образцом сухого средства к массе пропитанного и высушенного образца, рассчитывается по формуле:

$$A_\phi = \frac{m_c}{m_{пс}} \cdot 100 = \frac{m_{пс} - m_{дп}}{m_{пс}} \cdot 100. \quad (6)$$

A_ϕ также может быть выражена через массу поглощенного образцом сухого средства:

$$A_\phi = \frac{m_c}{m_{дп} + m_c} \cdot 100. \quad (7)$$

Расчётную массовую долю сухого средства в материале A_p , %, можно определить сразу после пропитки образцов по формуле:

$$A_p = \frac{m_p \cdot \frac{c}{100}}{m_{дп} + m_p \cdot \frac{c}{100}} \cdot 100 = \frac{(m_{пп} - m_{дп}) \cdot \frac{c}{100}}{m_{дп} + (m_{пп} - m_{дп}) \cdot \frac{c}{100}} \cdot 100. \quad (8)$$

Если выразить A_p через E , то зависимость будет иметь следующий вид:

$$A_p = \frac{E \cdot c \cdot 100}{100 + E \cdot c}. \quad (9)$$

Таким образом, для каждого конкретного материала с известной впитывающей ёмкостью может быть рассчитано ожидаемое значение массовой доли в нём сухого средства при пропитке его раствором данной концентрации. Из формулы также видно, что зависимость массовой доли сухого средства в материале от концентрации пропиточного раствора не является линейной, в отличие от зависимости Q_p от c . Если же требуется найти концентрацию пропиточного раствора, обеспечивающую достижение *заданной массовой доли сухого средства* A в материале, то это можно сделать, пользуясь формулой:

$$c = \frac{A}{E \cdot \left(1 - \frac{A}{100}\right)}. \quad (10)$$

Пригодность полученных формул для расчёта удельного поглощения и массовой доли сухих средств в материале по его впитывающей ёмкости и концентрации пропиточных растворов проверена в экспериментах по пропитке образцов различных материалов водными растворами различных фосфоратсодержащих огнезащитных средств, в частности, амидофосфата КМ [1] путём со-

поставления расчётных значений с фактическими и подтверждена для растворов с концентрацией до 20 %.

При пропитке образцов более концентрированными растворами концентрация раствора, попадающего внутрь материала, меняется. Поэтому в данном случае выражение (3), а, следовательно, и выражения удельного поглощения и массовой доли сухого средства в материале через его впитывающую ёмкость и концентрацию пропиточного раствора становятся неточными. Расчётные значения данных показателей, определенные по этим формулам, оказываются несколько завышенными по сравнению с фактическими, что указывает на избирательное поглощение материалом воды из раствора. Следует также отметить повышение концентрационного предела применимости расчётных формул при снижении толщины образцов пропитываемого материала.

При пропитке различных пиломатериалов и изделий из массивной древесины растворами защитных средств в производственных условиях, а также в нормативной документации по защите древесины для оценки уровня обработки, как правило, используется показатель *поглощения сухого защитного средства*, Π , кг/м³, которое определяется как отношение массы поглощенного образцом сухого средства к объёму образца и рассчитывается по формуле:

$$\Pi = \frac{m_c}{V_d}, \quad (11)$$

где m_c – масса поглощенного образцом сухого средства, кг; V_d – объем образца, м³.

В лабораторных исследованиях процессов пропитки древесины в качестве показателя уровня обработки обычно используют *массовую долю сухого средства* в древесине A , %:

$$A = \frac{m_c}{m_{дп} + m_c} \cdot 100. \quad (12)$$

Поэтому в ряде случаев бывает необходимо переводить A в Π и наоборот. Если V_d выразить как $m_{дп}/\rho_d$, где ρ_d – *плотность исходной древесины*, кг/м³, то формула для расчёта поглощения сухого защитного средства примет следующий вид:

$$\Pi = \frac{m_c \cdot \rho_d}{m_{дп}}. \quad (13)$$

В свою очередь массу поглощенного образцом сухого средства можно выразить через массовую долю сухого средства в древесине по формуле:

$$m_c = \frac{A \cdot m_{дп}}{100 - A}. \quad (14)$$

Подставив это выражение в формулу для нахождения Π , получим уравнение, связывающее поглощение сухого защитного средства, кг/м^3 , с его массовой долей в древесине, %:

$$\Pi = \frac{A \cdot \rho_d}{100 - A} \quad (15)$$

Данное уравнение позволяет переводить полученные экспериментальные значения A в Π для сравнения их с нормативными требованиями по защите древесины, характеризуемыми величиной поглощения. Если же требуется найти, какая массовая доля сухого защитного средства в образце соответствует заданному поглощению древесины, то можно воспользоваться следующей формулой:

$$A = \frac{\Pi}{\Pi + \rho_d} \cdot 100. \quad (16)$$

Например, если для эффективных биоогнезащитных средств при поглощении $35 \dots 40 \text{ кг/м}^3$ обеспечивается перевод защищаемой ими древесины в группу трудновоспламеняющихся материалов, а при поглощении $60 \dots 85 \text{ кг/м}^3$ – в группу трудногорючих [2, 3], то в случае древесины сосны с плотностью 500 кг/м^3 необходимые массовые доли этих препаратов составят соответственно $6,5 \dots 7,4 \%$ и $10,7 \dots 14,5 \%$.

Выводы:

1. Представленный подход даёт возможность оценить степень проникания защитных средств в виде разбавленных водных растворов в древесину и целлюлозу, а также определить концентрацию пропиточного раствора, необходимую для достижения требуемого уровня обработки материала. Вместе с тем, данная методика не может применяться для целей строгих расчетов, так как на результат существенно влияет структура материала. Тогда для введения поправочных коэффициентов необходимо изучение пропитки конкретного древесного или целлюлозного материала.

2. Получены расчетные формулы, связывающие поглощение древесиной сухого защитного средства (кг/м^3) и его массовую долю в древесине (%).

Литература:

1. Леонович А.А. Огнезащита древесины и древесных материалов. – СПб.: СПбЛТА, 1994. – 184 с.
2. Расев А.И., Косарин А.А. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. – М.: Форум, 2010. – 416 с.
3. Патент № 517491 РФ, МКИ⁶ В27 К3/52, В29 J5/00. Антипирен и способ его приготовления / А.А. Леонович. – № 2108036/30-15; Заявл. 21.02.75; Оpubл. 05.03.93, Бюл. № 22.

Качество бумаги для производства бумажно-слоистых пластиков

О.П. Ковалева

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

От свойств бумаги, входящих в состав слоёв бумажно-слоистых пластиков, зависит их качество; рассматриваются характеристики бумаги и их влияние на качество готовой продукции.

Ключевые слова: декоративные бумажно-слоистые пластики, композиционный состав бумаги, впитываемость бумаги, прочность бумаги.

Декоративные бумажно-слоистые пластики (ДБСП) – материал для декоративной отделки поверхностей мебели, стен, рекламных щитов, ограждений, обладает защитной функцией и декоративной – имитирует текстуру древесины.

Производство ДБСП заключается в пропитке бумаги-основы водными растворами синтетических олигомеров (карбамидным, меламинным, фенольным) с последующим прессованием и сушкой. Смола заполняет промежутки между волокнами, связывает слои волокнистой основы в монолитную массу [1]. Аминосмолы обеспечивают образование прозрачного декоративного покрытия пластиков, а фенолоформальдегидные олигомеры, которыми пропитывают внутренние бумажные слои, прочность. Декоративные слои содержат до 55 % олигомера, внутренние – 25...35 %. Олигомеры обеспечивают сопротивление сжатию, истиранию, придают жёсткость, в то время как бумага обеспечивает сопротивление разрыву при растяжении, повышает гибкость материала (армирование). Содержание бумаги в пластике составляет 60...64 % и она выполняет армирующую роль; поэтому от качества бумаги зависит не только качество получаемого пластика, но и производительность пропиточного оборудования, и в конечном счёте – экономические показатели производства [1].

Для производства ДБСП используются несколько видов бумаги:

- защитная бумага или Оверлей;
- декоративная бумага;
- барьерная бумага Андерлей;
- крафт-бумага для внутренних слоёв.

Бумага Оверлей применяется для формирования верхнего слоя ДБСП, имеет массу 20...52 г/м². Бумагу Оверлей обычно изготавливают из 100 % хвойной целлюлозы, иногда с примесью лиственной целлюлозы; особенностью технологии является высокая степень помола (65...70 °ШР) бумажной массы, при этом бумага должна обладать достаточной впитываемостью. Бумага при пропитке становится прозрачной и обеспечивает хорошую видимость рисунка декоративного слоя пластика.

Декоративную бумагу получают из белёной хвойной и лиственной целлюлозы в соотношении 1 : 1. Бумага имеет массу 90...120 г/м², её особенностью

является повышенное содержание (20...35 %) минерального наполнителя, обычно применяют оксид титана (TiO_2), что обеспечивает непрозрачность и хорошие печатные свойства бумаги. Основными требованиями к декоративной бумаге являются высокая зольность, прочность во влажном состоянии, хорошая впитываемость. В настоящее время в России декоративная бумага не производится.

Назначение *барьерной бумаги Андерлей* – скрыть внутренние тёмные слои крафт-бумаги. Крафт-бумага имеет массу 70...80 г/м², для её производства используют более дешёвую листовную целлюлозу с добавлением хвойной целлюлозы. В настоящее время крафт-бумагу с успехом изготавливают из *макулатурной массы*, при этом требуемой прочности достигают за счёт применения химических вспомогательных веществ. Поскольку крафт-бумага составляет большую часть массива пластика, то во многом она определяет его стоимость.

Все перечисленные виды бумаги, предназначенные для получения ДБСП, должны обладать высокими показателями впитывающей способности и влагопрочности. Гигроскопичность целлюлозы определяется не только наличием в её молекулах гидроксильных групп, но и субмикроскопическими капиллярами в структуре волокон. При этом величина равновесной влажности бумаги зависит от её композиции по виду волокна, а также количеству и виду минерального наполнителя. При одной и той же влажности окружающего воздуха равновесная влажность бумаги возрастает при увеличении в композиции бумаги древесной массы и уменьшается с увеличением содержания минерального наполнителя [2].

Что касается влияния степени помола исходной бумажной массы на величину равновесной влажности изготавливаемой бумаги, то установлено, что она несколько повышается с увеличением степени помола. Это может быть связано с тем, что при увеличении степени помола массы развёртывается наружная поверхность волокон и увеличивается адсорбция влаги на этой поверхности. Возможно, что при высокой относительной влажности окружающего воздуха играет роль и усиление действия капиллярных сил.

Важными факторами, оказывающими влияние на впитывающую способность бумаги, являются размер её пор и свойства впитываемой жидкости. На скорость впитывания влияет и вязкость жидкости, проникающей в бумагу: чем выше вязкость жидкости, тем труднее она впитывается в поры бумаги; повышение температуры пропитки приводит к снижению вязкости жидкости и облегчает её проникновение в бумагу.

Проникновение водных растворов в бумагу может быть межволоконным и внутриволоконным. Скорость межволоконного проникновения подчиняется законам капиллярной физики. Скорость внутриволоконной диффузии зависит от числа контактов между волокнами; чем больше этих контактов *за счёт увеличения степени помола массы*, а также уплотнения бумаги при прессовании и каландрировании, тем интенсивнее впитывание жидкости по внутриволоконным путям. Наличие в бумаге *минерального наполнителя* способствует увеличению впитывающей способности вследствие повышения межволоконного

впитывания за счёт увеличения размеров пор в бумаге. Добавление в воду раствора щёлочи облегчает диффузию влаги в толщу бумажного листа, так как щёлочь способствует набуханию волокон и, следовательно, внутриволоконному проникновению влаги (рисунок) [2].

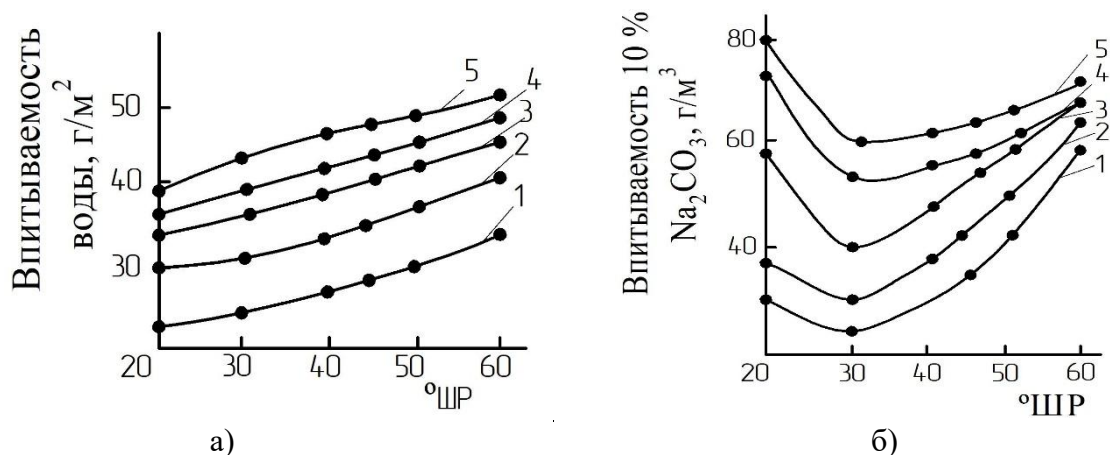


Рисунок. Влияние степени помола целлюлозы на впитываемость бумаги. Продолжительность обработки а) водой, б) раствором соды концентрацией 10 %, мин: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 5; 4 – 10; 5 – 20

Из рисунка видно, что с увеличением времени пребывания бумаги в жидкости впитываемость раствора соды неизменно выше, чем воды, а с увеличением степени помола массы впитываемость бумагой воды непрерывно повышается, а впитываемость 10 % раствора соды вначале несколько снижается, а затем возрастает. Увеличение впитываемости при высокой степени помола массы можно объяснить интенсивным движением жидкости по внутриволоконным путям. При уменьшении угла смачиваемости поверхности бумаги 10 % раствором соды до величины менее 90 ° и вследствие заметного снижения пористости бумаги при высокой степени помола массы возможно изменение механизма процесса впитывания бумагой жидкости с прохождением её не только по внутриволоконным путям, но и путем капиллярного всасывания по межволоконным порам. В плотную бумагу с сомкнутой поверхностью жидкость проникает труднее, чем в пухлый и пористый бумажный лист. Так как пухлость – величина обратная плотности, очевидно, что повышенная впитывающая способность наблюдается у бумаги с малой величиной плотности. Показано [2], что впитываемость будет больше в том случае, если бумага изготавливается из целлюлозы с повышенным содержанием α -целлюлозы.

Существует комплекс показателей бумаги, в значительной степени зависящих от содержания наполнителя. Влияние наполнителей на межволоконное связеобразование однозначно отрицательное. Частицы наполнителя, располагаясь между волокнами, препятствует их сближению; а также, сорбируясь на поверхности волокна, блокируют гидроксилы, способные к образованию межволоконных связей. Повышение гигроскопичности бумаги и трудности с приданием влагопрочности в присутствии наполнителей определяются увеличением пористости бумаги в результате расклинивающего действия частиц наполните-

ля. Поэтому показатели прочности, соотносимые к массе 1 м² бумаги, будут иметь более низкие показатели у наполненных видов бумаги [3].

При увеличении содержания наполнителя в бумаге уменьшается ее толщина при постоянной массе 1 м². С увеличением содержания наполнителя возрастает непрозрачность и воздухопроницаемость бумаги, особенно при использовании высокодисперсных наполнителей и наполнителей с высоким коэффициентом преломления. Наиболее эффективно непрозрачность увеличивает диоксид титана. Наполнитель положительно влияет на деформацию бумаги при увлажнении, т.е. стабильность её размеров. Эти характеристики зависят от развития межволоконного связеобразования, и, поскольку наличие наполнителя снижает интенсивность связеобразования, соответственно, снижается деформация бумаги при намокании и последующем высыхании.

Наполнители благоприятно влияют на печатные свойства бумаги (гладкость, лоск, красковосприятие, сжимаемость, белизна, светостойкость и т. д.). В то же время с увеличением содержания наполнителей снижаются показатели прочности бумаги, особенно сопротивления излому и разрыву. С повышением содержания наполнителя уменьшается прочность поверхности бумаги, что приводит к повышенной пылимости и снижению сопротивления выщипыванию [3].

Выводы:

1. На впитываемость бумаги значительное влияние оказывает степень помола и композиционный состав бумажной массы.
2. Содержание минерального наполнителя в бумаге отрицательно влияет на её прочность, но улучшает её печатные свойства.

Литература:

1. Бараш Л. И. Слоистые пластики, декоративные поверхности / науч. ред. С.Д. Каменков. – СПб: Химиздат, 2007. – 255 с.
2. Фляте Д. М. Свойства бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с.
3. Фляте Д. М. Технология бумаги. Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 440 с.

УДК 684.4

О возможности переработки отходов Tetra Pak и их использования в производстве новых материалов

Т.Л. Ищенко, Т.В. Ефимова

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова*

Tetra Pak – современная картонная упаковка – экологична и универсальна. Однако уже долгое время очень остро стоит вопрос её утилизации и переработки. Научные работники и исследователи по всему миру активно занима-

ются вопросом переработки Tetra Pak. Возможностям переработки посвящено настоящее сообщение.

Ключевые слова: Tetra Pak, картон, вторичная переработка, композиционные материалы.

В последние годы разработке новых композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками с использованием различных источников биомассы и отходов уделяется большое внимание благодаря ряду их преимуществ, таких как экологичность и социально-экономическая эффективность.

Немаловажное значение в данном случае имеет вторичная переработка упаковки Tetra Pak. Переработка Tetra Pak обусловлена в первую очередь составляющими компонентами [4]:

- картон является основным материалом, его доля составляет около 75 %;
- доля полиэтилена – 20...22 %;
- доля фольги – 3...5 %.

Такие составляющие позволяют получать новые материалы или организовать повторную реализацию, что делает использование ресурсов максимально эффективным.

Проблемой переработки отходов Tetra Pak начали заниматься в середине 1980-х годов в самой компании. Сейчас по всему миру перерабатывается только 20 % отходов Tetra Pak. При этом, в таких странах как Бельгия, Германия, Испания и Норвегия объём переработки превышает 50 %.

Сложность переработки Tetra Pak заключается в том, что картон, полиэтилен и алюминий соединены вместе и переработчику приходится решать задачу их разделения или совместного использования. При этом разделение представляет собой многоступенчатый процесс с вовлечением множества единиц оборудования.

Для переработки TetraPak применяются различные методы: гидроразбивание, сухая сепарация, ферментативный и химический методы разделения, газификация [1]. Данные методы переработки достаточно энергоёмки, длительны и параллельно требуют решения проблемы утилизации и очистки сточных вод.

В Казанском национальном исследовательском технологическом университете проводились исследования по переработке использованных упаковок Tetra Pak методом пиролиза [3]. Проведённые исследования показали возможность переработки упаковочного материала Tetra Pak методом пиролиза с получением жидких продуктов до 30 %, состоящих из парафиновой (до 8%) и смолянистой фракций. Жидкие продукты пиролиза могут быть использованы в качестве топлива и химического сырья во многих отраслях промышленности.

Профессор Национального лесотехнического университета Украины Бехта П.А. уже несколько лет занимается вопросом получения композитных панелей на основе Tetra Pak, полиэтиленовых и других отходов [7].

Многие исследователи, как в России, так и за рубежом изучают биологические и физико-механические свойства панелей, полученных ими в лаборатор-

ных условиях из измельченных отходов Tetra Pak. Изготовление композиционных материалов возможно без использования каких-либо клеевых материалов [6], так как полиэтилен, расплавляясь в процессе прессования, прочно связывает все измельчённые частицы.

В Магнитогорском государственном техническом университете имени Г.И. Носова получили композиты из отходов упаковки Tetra Pak по принципу технологии изготовления картона [6]. При этом вводили в измельчённую смесь отходов поливинилацетатный клей (ПВА) в количестве 3 %. Использование ПВА способствует улучшению физико-механических характеристик получаемых композитов. Предложенный способ позволит получать различную продукцию на основе отходов Tetra Pak: тару, плитные материалы, панели и пр.

Рядом зарубежных исследователей были получены плитные материалы на основе измельчённых частиц отходов Tetra Pak и облицованные буквым шпоном толщиной 1,5 мм [8]. Проведённые исследования свойств полученных композитов, показали, что их можно рассматривать как альтернативное сырьё для использования в производстве корпусной мебели, столешниц, паркетной доски.

В настоящее время из переработанной упаковки изготавливают бумагу для гофрирования, картон для плоских слоёв, картон гильзовый, картон мелованный для упаковки, бумагу мешочную и санитарно-гигиеническую. Из полиалюминиевой составляющей упаковки – композиционные панели, колодезные люки, плитку, письменные ручки.

Немецкая компания EVD (основана компанией Tetra Pak) выпускает материал Tectan® [5]. Он изготавливается из ламинированной бумаги для коробок сока и молочных продуктов, производимых компанией Tetra Pak. С 1991 г. EVD изготавливает продукты из этого материала при помощи прессования в пресс-форме, а с 1997 года – литьевым формованием. Листы из тектана напоминают оргалит. Этот материал применяется для производства стройматериалов, а также в качестве корпуса для акустических систем SONY.

Очевидно, что переработка отходов упаковки Tetra Pak находится в стадии активного развития. В будущем не исключено появление инновационных технологий, позволяющих более точно расщеплять слои и получать большее количество товаров из переработанного сырья.

Литература:

1. Иванова Л.А., Глазова А.А., Репник В.А., Здоровило Н.А. Шелудько Ю.В. Разработка комплексной технологии переработки комбинированной упаковки «Тетра Пак» // Экология и промышленность России. 2012. № 12. – С. 26-29.
2. Коляда Л.Г. Кремнева А.В., Пономарев А.П., Токарева Т.В. Денисюк Н.А. Экологический аспект отходов упаковки Tetra Pak // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. – С. 33-37.
3. Макаров А.А., Грачев А.Н., Забелкин С.А., Земсков И.Г. К вопросу утилизации упаковочного материала Tetra Pak методом пиролиза // Вестник Казанского технолог. ун-та. 2014. № 14. – С. 376-377.

4. Переработка Тетра Пак за рубежом и в России: возможные методы, реалии и перспективы // Все о переработке вторсырья и утилизации отходов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rcycle.net/plastmassy/pererabotka-tetra-pak-za-rubezhom-i-v-rossii-vozmozhnye-metody-realii-i-perspektivy>, свободный. [Дата обращения: 28.01.2021].

5. Тектан – материал будущего// «INVENTORS» – продвижение изобретений на рынок [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.inventors.ru/tektan__material_budushego.html, свободный. [Дата обращения: 28.01.2021].

6. Ayrilmis N., Candan Z., Hiziroglu S. Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay // Materials and Design. 29 (2008). – pp. 1897–1903.

7. Bekhta P., Lyutyu P., Hiziroglu S. Ortynska G. Properties of Composite Panels Made from Tetra Pak and Polyethylene Waste Material // Journal of Polymers and the Environment. 2016. 24(2). – pp. 159-165.

8. Yılğöra N., Kartalb S.N., Houtmanc C., Terzid E., Kanture A., Kösef C., Pisking S. Composite boards produced from waste Tetra Pak® packaging materials: Chemical properties and biological performance // Conference: International conference on recycling and reuse. Istanbul. 2012. – pp. 8.

УДК 674.81; 630.3

Закономерности развития напряжений в древесном материале, возникающих под воздействием рабочего органа стружечного станка

Е.В. Нестерова, Е.Г. Хитров

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова*

Для обоснования рациональных параметров и режимов работы стружечных станков, необходимы дальнейшие исследования. В статье скомпилированы базовые зависимости, необходимые для уточнения закономерностей развития напряжений, возникающих под воздействием рабочего органа станка. Формулы позволяют рассчитать значения как нормального, так и касательного напряжения, возникающего в измельчаемом древесном материале при воздействии ножей с учётом его геометрических параметров и скорости воздействия на материал.

Ключевые слова: древесностружечные плиты, стружечные станки, подготовка сырья, кора, древесина, угол заточки, скорость воздействия.

Производство древесностружечных плит включает в себя множество связанных технологических процессов, среди них – получение частиц древесного наполнителя (стружки). В цикле подготовки стружки одной из важнейших операций является резание древесного сырья с целью достижения требуемого гра-

нулометрического состава. Для обоснования рациональных параметров и режимов резания, позволяющих получать измельчённый древесный материал с нужными формой и геометрическими параметрами, необходимы дальнейшие исследования [1]. Изложим в статье базовые зависимости, необходимые для уточнения закономерностей развития напряжений, возникающих под воздействием рабочего органа измельчителя.

Рассмотрим процесс измельчения сравнительно крупного материала (как кругломерной древесины, так и технологической щепы), размер которого значительно превосходит пятно контакта с рабочим органом стружечного станка. Контактная сила, возникающая при соударении измельчаемого материала и рабочего органа станка, определяется на основе соотношения теории Герца [2, 3]:

$$P = m \frac{d^2 h}{dt^2}, \quad (1)$$

где m – масса измельчаемого куска, h – деформация куска материала под воздействием рабочего органа измельчителя, t – время от начала контакта.

Примем в качестве модели рабочего органа клиновидный индентор, тогда деформация h связана с силой P и свойствами измельчаемого материала уравнением [2, 3]:

$$P = \frac{2E \operatorname{tg} \alpha}{\pi(1-\nu^2)} h^2, \quad (2)$$

где E – модуль упругости измельчаемого материала, ν – коэффициент Пуассона измельчаемого материала, α – угол заточки индентора.

Приравняв правые части уравнений (1), (2), получим [2, 3]:

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = \frac{1}{m} \cdot \frac{2E \operatorname{tg} \alpha}{\pi(1-\nu^2)} h^2, \quad (3)$$

Перепишем уравнение (3) с учётом соотношения:

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{dh}, \quad (4)$$

где v – скорость внедрения индентора, тогда [2, 3]:

$$v dv = \frac{2E \operatorname{tg} \alpha}{\pi m(1-\nu^2)} h^2 dh \quad (5)$$

Для определения максимальной глубины внедрения индентора h_{\max} в материал проинтегрируем левую и правую часть уравнения (5) в пределах [2, 3]:

$$\int_{v_0}^{v_k} v dv = \frac{2E \operatorname{tg} \alpha}{\pi m(1-\nu^2)} \int_0^{h_{\max}} h^2 dh \quad (6)$$

где v_k – скорость внедрения индентора в конце удара ($v_k = 0$), v_0 – скорость в начальный момент контакта, таким образом [2, 3]:

$$\frac{1}{2} v_0^2 = \frac{2E \operatorname{tg} \alpha}{3\pi m(1-v^2)} h_{\max}^3 \quad (7)$$

Выразим h_{\max} из уравнения (7) [2, 3]:

$$h_{\max} = \sqrt[3]{\frac{3\pi m v_0^2 (1-v^2)}{4E \operatorname{tg} \alpha}} \quad (8)$$

Тогда, с учётом уравнения (2), максимальная контактная сила, возникающая при внедрении индентора в измельчаемый материал, определится по формуле [2, 3]:

$$P_{\max} = \frac{E \operatorname{tg} \alpha}{2\pi} \cdot \left(\frac{6\pi m v_0^2}{E \operatorname{tg} \alpha \sqrt{1-v^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (9)$$

Массу измельчаемого материала найдём по формуле [2, 3]:

$$m = k_{\phi} d_{cp}^3 \rho_m \quad (10)$$

где ρ_m – плотность измельчаемого материала, d_{cp} – средняя крупность измельчаемой фракции, k_{ϕ} – коэффициент формы (при допущении о том, что куски по форме близки к кубу $k_{\phi} = 1$, при допущении о том, что куски по форме близки к шару $k_{\phi} = \pi/6$).

Площадь пятна контакта заострённого индентора с материалом Δs определим по формуле [2, 3]:

$$\Delta s = 2k_{\phi} d_{cp} h_{\max} \operatorname{tg} \alpha = k_{\phi} d_{cp} \sqrt[3]{\frac{6m v_0^2 (1-v^2) \operatorname{tg}^2 \alpha}{E}} \quad (11)$$

тогда среднее значение нормального давления, распределённого по пятну контакта индентора с куском материала, составит [2, 3]:

$$\sigma_0 = \frac{P_{\max}}{\Delta s} = \frac{E}{2k_{\phi} d_{cp}} \cdot \sqrt[3]{\frac{6m v_0^2}{\pi^2 E (1-v^2)^2 \operatorname{tg} \alpha}} = \sqrt[3]{\frac{6\rho_m v_0^2 E^2}{8\pi^2 k_{\phi}^2 (1-v^2)^2 \operatorname{tg} \alpha}} \quad (12)$$

Для оценки напряжений, возникающих в измельчаемом материале под воздействием индентора, воспользуемся решением теоретической задачи о вдавлении клина в упругое полупространство.

Согласно [4], решение в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$\frac{a\sigma_z}{hE} = -\frac{1}{2(1-v^2)} \cdot (J_1^0 + \zeta J_2^0) \quad (13)$$

$$\frac{a(\sigma_z + \sigma_r)}{hE} = -\frac{1}{1-\nu} \cdot J_1^0 \quad (14)$$

$$\frac{a\tau_{rz}}{hE} = -\frac{1}{2(1-\nu^2)} \cdot \zeta J_2^1 \quad (15)$$

где ζ, ρ – относительные координаты [4]:

$$\xi = \frac{z}{a}; \rho = \frac{r}{a}, \quad (16)$$

параметр a связан с глубиной вдавливания [4]:

$$a = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{\pi} h, \quad (17)$$

J – определенные интегралы по формулам [4]:

$$J_1^0 = \frac{1}{2} \ln \frac{R^2 + 2Rr \cos(\theta - \varphi) + r^2}{(\zeta + \sqrt{\rho^2 + \zeta^2})^2} \quad (18)$$

$$J_2^0 = \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + \zeta^2}} - \frac{\cos \varphi}{R} \quad (19)$$

$$J_2^1 = \frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{r}{R} \cos(\theta - \varphi) - \frac{\zeta}{\sqrt{\rho^2 + \zeta^2}} \right) \quad (20)$$

причём геометрические параметры φ, θ, r, R связаны соотношениями [4]:

$$\begin{aligned} r^2 &= 1 + \zeta^2, & \operatorname{ctg} \theta &= \zeta \\ R^4 &= (\rho^2 + \zeta^2 - 1)^2 + 4\zeta^2, & 2\zeta \operatorname{ctg} \varphi &= \rho^2 + \zeta^2 - 1 \end{aligned} \quad (21)$$

На основании формул (13) – (15), (18) – (20) запишем [4]:

$$\sigma_z = \frac{Eh}{a} \cdot f_\sigma \quad (22)$$

$$f_\sigma = -\frac{R\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} \ln \frac{R^2 + 2Rr \cos(\theta - \varphi) + r^2}{(\zeta + \sqrt{\rho^2 + \zeta^2})^2} - 2\zeta\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} \cos \varphi + 2R\zeta}{4R\sqrt{\rho^2 + \zeta^2}(1-\nu^2)} \quad (23)$$

$$\sigma_r = \frac{Eh}{a} \cdot f_\sigma$$

$$f_{\sigma} = - \frac{R\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} \left(\nu + \frac{1}{2} \right) \ln \frac{R^2 + 2Rr \cos(\theta - \varphi) + r^2}{\left(\zeta + \sqrt{\rho^2 + \zeta^2} \right)^2} + \zeta \left(\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} \cos \varphi - R \right)}{2R\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} (1 - \nu^2)} \quad (24)$$

$$\tau_{rz} = \frac{Eh}{a} \cdot f_{\sigma z}$$

$$f_{\sigma z} = - \frac{r\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} \cos(\theta - \varphi) - R\zeta}{2\rho R\sqrt{\rho^2 + \zeta^2} (1 - \nu^2)} \quad (25)$$

Таким образом, формулы (1) – (24) позволяют рассчитать значения как нормального, так и касательного напряжения, возникающего в измельчаемом древесном материале при воздействии рабочего органа стружечного станка с учётом его геометрических параметров и скорости воздействия на материал.

Литература:

1. Бастриков Д.В. Повышение энергоэффективности измельчения отходов окорки на оборудовании с ножевым рабочим органом: дис. ... канд. техн. наук.: – ВГЛТУ, 2018. – 118 с.
2. Пошивалов В.П. К вопросу определения удельной работы разрушения каменного угля // Техническая механика. 2015. № 4. – С. 66-71.
3. Шадрунова И.В. Горлова О.Е., Колодежная Е.В., Кутлубаев И.М. Механизм дезинтеграции металлургических шлаков в аппаратах центробежно-ударного дробления // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 2. – С. 149-155.
4. Sneddon I. Boussinesq's problem for a rigid cone // Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. 1948. 44 (4). – P. 492-507.

Алфавитный список авторов

Артёмов Артём Вячеславович – доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, к.т.н., доцент, г. Екатеринбург. (E-mail: artemovav@m.usfeu.ru).

Бардонов Василий Андреевич – генеральный директор ООО «Лессертика», к.т.н., г. Балабаново, Калужская область (E-mail: lessertika@ya.ru).

Бардонов Игорь Васильевич – главный инженер ООО «Лессертика», к.т.н., г. Балабаново, Калужская область (E-mail: lessertika@ya.ru).

Башкиров Сергей Геннадьевич – магистрант кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: dimaru25@mail.ru).

Баяндин Михаил Андреевич – доцент кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, к.т.н., доцент, г. Красноярск (E-mail: mihailbayandin@yandex.ru).

Бирман Алексей Романович – профессор кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, д.т.н., профессор, г. Санкт-Петербург (E-mail: tp_mlk@spbftu.ru).

Богачев Дмитрий Александрович – руководитель лаборатории химического анализа ООО «ЭмульКом», г. Солнечногорск, Московская область. (E-mail: lab2@emulcom.ru).

Бурындин Виктор Гаврилович – профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, д.т.н., профессор, г. Екатеринбург. (E-mail: buryndinv@g@m.usfeu.ru).

Варанкина Галина Степановна – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д.т.н., профессор, г. Санкт-Петербург. (E-mail: varagalina@yandex.ru).

Васильев Виктор Владимирович – ведущий инженер кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: victor vasil@mail.ru).

Васичев Алексей Геннадьевич – руководитель филиала фирмы «ГреКон» в РФ и странах СНГ, г. Москва (E-mail: Alexey.Vasichev@grecon.ru).

Волкович Алеся Николаевна – главный специалист управления внешнеэкономических связей и координации поставок на внутренний рынок Белорусского производственно-торгового концерна лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (концерн «Беллесбумпром»), г. Минск, Республика Беларусь. (E-mail: alesiavolkovich@gmail.com).

Вьюнков Сергей Николаевич – ведущий инженер кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., Российская Федерация, г. Санкт-Петербург (E-mail: a_tv@list.ru).

Гамова Ирина Александровна – доцент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., доцент, г. Санкт-Петербург (E-mail: wood-plast@mail.ru).

Глазунова Маргарита Геннадьевна – ассистент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: rita.mg.1212@yandex.ru).

Грошев Иван Михайлович – руководитель филиала кафедры технического регулирования и товароведения Витебского государственного технологического университета, к.т.н., г. Витебск, Республика Беларусь (E-mail: groshev.i@wood.by).

Дойлин Юрий Владимирович – генеральный директор ОАО «Витебск-древ», г. Витебск, Республика Беларусь (E-mail: drev@vitebsk.by).

Дубоделова Екатерина Владимировна – доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции Белорусского государственного технологического университета, к.т.н., г. Минск, Республика Беларусь. (E-mail: katedubodelova@tut.by).

Екатеринчева Мария Александровна – студент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: ekaterincheva.ma97@yandex.ru).

Елисеев Дмитрий Михайлович – генеральный директор ООО «Химсинтез», г. Долгопрудный, Московская область. (E-mail: ivanov.d.v.spb@74.ru).

Ермолин Владимир Николаевич – заведующий кафедрой технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, д.т.н., профессор, г. Красноярск (E-mail: ermolinvn@sibsau.ru).

Ефимова Татьяна Владимировна – доцент кафедры механической технологии древесины Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, к.т.н., доцент, г. Воронеж. (E-mail: tl_ischenko@mail.ru).

Заева Алена Андреевна – магистрант кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск. (E-mail: zaeva-97@mail.ru).

Иванов Борис Константинович – руководитель испытательной лаборатории ООО «Лессертика», г. Балабаново, Калужская область (E-mail: lessertika@ya.ru).

Иванов Даниил Валерьевич – старший преподаватель кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург. (E-mail: ivanov.d.v.spb@74.ru).

Ищенко Татьяна Леонидовна – доцент кафедры механической технологии древесины, декан лесопромышленного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, к.т.н., доцент, г. Воронеж. (E-mail:tl_ischenko@mail.ru).

Калашников Алексей Алексеевич – студент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: kalashnikov-98@mail.ru).

Кантиева Екатерина Валентиновна – заведующий кафедрой механической технологии древесины Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, к.т.н., г. Воронеж (E-mail: kantieva@mail.ru)

Каунов Константин Григорьевич – магистрант кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: dimaru25@mail.ru).

Ковалева Ольга Петровна – доцент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., доцент, г. Санкт-Петербург (E-mail: olga.kovaleva.cbp@ya.ru).

Кожемяко Александр Александрович – заместитель генерального директора по производству ОАО «Витебскдрев», г. Витебск, Республика Беларусь (E-mail: kozhemyako.a@wood.by).

Криворотова Анна Ивановна – доцент кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, к.т.н., г. Красноярск. (E-mail: aikrivorotova@sibsau.ru).

Леонович Адольф Ануфриевич – профессор кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, г. Санкт-Петербург. (E-mail: wood-plast@mail.ru).

Лямина Лилия Вакифовна – старший преподаватель кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань. (E-mail: lilia3234_ard@mail.ru).

Манжула Валерия Олеговна – магистрант кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск. (E-mail: v.manzhula@mail.ru).

Мухаметзянов Шамиль Рамилевич – доцент кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского национального исследовательского технологического университета, к.т.н., доцент, г. Казань. (E-mail: archiwood@kstu.ru).

Намятов Алексей Валерьевич – ассистент кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск (E-mail: ermolinvn@sibsau.ru).

Нестерова Евгения Владимировна – старший преподаватель кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: jenechka-72@mail.ru).

Никифорова Полина Константиновна – студент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: polina435@inbox.ru).

Орехов Евгений Владимирович – студент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: prise86@rambler.ru).

Орлов Александр Анатольевич – доцент кафедры технологии деревообработки Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, к.т.н., доцент, г. Красноярск (E-mail: orlova@sibsau.ru).

Острякова Валентина Александровна – аспирант кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск (E-mail: karmen0703@yandex.ru).

Пермяков Антон Владимирович – магистрант кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: anton-896@mail.ru).

Печковская Дарья Андреевна – студент кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: das.petra2016@yandex.ru).

Пономаренко Лариса Викторовна – доцент кафедры механической технологии древесины Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, к.т.н., доцент, г. Воронеж (E-mail: lara.pon63@yandex.ru).

Разиньков Егор Михайлович – профессор кафедры механической технологии древесины Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, д.т.н., г. Воронеж. (E-mail: rasinkov50@mail.ru).

Русаков Дмитрий Сергеевич – доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., доцент, г. Санкт-Петербург. (E-mail: dimaru25@mail.ru).

Рябинков Андрей Андреевич – магистрант кафедры технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: and.ryabinkov@gmail.com).

Савиновских Андрей Викторович – доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров Уральского государственного лесотехнического университета, к.т.н., доцент, г. Екатеринбург. (E-mail: savinovskihav@m.usfeu.ru).

Саерова Ксения Вячеславовна – магистрант кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань. (E-mail: archiwood@kstu.ru).

Сафин Руслан Рушанович – заведующий кафедрой архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского национального исследовательского технологического университета, д.т.н., профессор, г. Казань. (E-mail: cfaby@mail.ru).

Сизов Александр Иванович – доцент кафедры технологии лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., доцент, г. Санкт-Петербург. (E-mail: sizov.alex@gmail.com).

Соколова Екатерина Геннадьевна – преподаватель кафедры технологии и оборудования деревообрабатывающих производств СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, к.т.н., доцент, (E-mail: nikitinaek@rambler.ru).

Строительева Екатерина Дмитриевна – магистрант кафедры химии СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург. (E-mail: kate_st96@mail.ru).

Толстик Юлия Валерьевна – заместитель генерального директора по качеству УП «БР-Консалт», г. Минск, Республика Беларусь, (E-mail: yuliya.tolstik@gmail.com).

Тупикин Сергей Иванович – старший инженер ООО «Лессертика», г. Балабаново, Калужская область (E-mail: lessertika@ya.ru).

Угрюмов Сергей Алексеевич – профессор кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д.т.н., профессор, г. Санкт-Петербург. (E-mail: ugr-s@yandex.ru).

Хитров Егор Германович – доцент кафедры технологических процессов и машин лесного комплекса СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д.т.н., доцент, г. Санкт-Петербург. (E-mail: yegorkhitrov@gmail.com).

Шалашов Александр Петрович – генеральный директор АО «ВНИИДРЕВ», к.т.н., Российская Федерация, Калужская область, г. Балабаново (E-mail: vniidrev@mail.ru).

Шамаев Владимир Александрович – профессор кафедры древесиноведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, д.т.н., профессор, г. Воронеж (E-mail: drevstal@mail.ru).

Шелоумов Андрей Валентинович – заведующий кафедрой технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, д.т.н., г. Санкт-Петербург. (E-mail: wood-plast@mail.ru).

Эскин Владислав Дмитриевич – магистрант кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск. (E-mail: vladislaweskin@gmail.com).

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Леонович А.А.</i> О разработке огнезащищённых древесных плит.....	4
<i>Шалашов А.П.</i> Состояние и перспективы развития производства древесных плит в России	10
<i>Волкович А.Н., Грошев И.М., Дойлин Ю.В., Кожемяко А.А., Дубоделова Е.В.</i> Анализ развития деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь.....	14
<i>Бардонов В.А., Бардонов И.В.</i> Подготовка предприятий древесных плит к выпуску продукции класса эмиссии формальдегида E0,5 по европейским требованиям.....	16
<i>Грошев И.М., Дубоделова Е.В., Кожемяко А.А., Толстик Ю.В.</i> Особенности приёмочного контроля древесных плит с использованием европейских стандартов	19
<i>Бардонов В.А., Иванов Б.К., Тупикин С.И.</i> Опыт проведения дистанционного обучения и повышения квалификации специалистов заводских лабораторий.....	23
<i>Васильев В.В.</i> Технологические проблемы производства синтетических смол и древесных плит	26
<i>Васичев А.Г.</i> Производство древесных плит с использованием современных контрольно-измерительных приборов и установок фирмы «ГреКон».....	31
<i>Разиньков Е.М.</i> Выделение формальдегида из древесностружечных плит и один из способов его снижения	38
<i>Бардонов В.А.</i> Преимущества и недостатки методов определения миграции формальдегида из древесных плит и фанеры	43
<i>Леонович А.А., Глазунова М.Г.</i> Простой метод сравнительной оценки эффективности антипиренов	47
<i>Елисеев Д.М., Иванов Д.В.</i> Особенности применения парафиновой эмульсии в производстве древесных плит.....	55
<i>Дубоделова Е.В., Кожемяко А.А., Грошев И.М.</i> Использование некоторых высокомолекулярных соединений природного происхождения для повышения экологической безопасности древесностружечных плит	61
<i>Богачев Д.А.</i> Парафиновая эмульсия для производства древесных материалов, выдерживающая многократные циклы замораживания-оттаивания.....	63
<i>Саерова К.В., Лямина Л.В., Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р.</i> Сокращение скорости сушки древесного композита за счёт модификации наполнителя	68
<i>Вьюнков С.Н.</i> Карбамид – отвердитель карбамидоформальдегидных смол	73

Острякова В.А., Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Намятов А.В. Влияние циклических температурно-влажностных воздействий на свойства плит без связующих	75
Иванов Д.В., Рябинков А.А., Орехов Е.Р. Аспекты изготовления древесных плит без использования синтетических смол.....	79
Артёмов А.В., Буриндин В.Г., Савиновских А.В. Влияние гидролизного лигнина на экспозиционные свойства пластиков без связующего	86
Васильев В.В., Сизов А.И., Строителева Е.Д. Фанера на модифицированной фенолоформальдегидной смоле	91
Пермяков А.В., Гамова И.А., Иванов Д.В. Модифицирование клея для фанеры измельчёнными отходами бумажно-смоляных плёнок.....	94
Криворотова А.И., Орлов А.А., Заева А.А., Манжула В.О., Эскин В.Д. Исследование свойств фанеры на основе модифицированных клеевых составов и шпона.....	98
Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Башкиров С.Г., Каунов К.Г. Применение порошкообразных фенолформальдегидных смол в технологии фанеры.....	101
Кантиева Е.В., Пономаренко Л.В. Влияние отвердителей на физико-химические свойства карбамидоформальдегидных смол.....	106
Иванов Д.В., Екатеринчева М.А., Калашников А.А., Печковская Д.А., Накифорова П.К., Елисеев Д.М. Использование модификаторов-отвердителей серии МО-4 как компонентов клеев из карбамидоформальдегидной смолы...	110
Шамаев В.А., Разиньков Е.М., Ищенко Т.Л. Повышение прочности склеивания шпона в технологии фанеры.....	117
Соколова Е.Г. Исследование процессов склеивания шпона меламинокарбамидоформальдегидными смолами.....	120
Угрюмов С.А., Бирман А.Р. Использование отходов от форматной обрезки фанеры при производстве облегченных панелей	124
Разиньков Е.М. Экономическая эффективность использования в технологии фанеры бесшпиндельных луцильных станков	127
Шелоумов А.В. Подход к исследованию проницаемости растворов огне- и биозащитных средств в древесные и целлюлозные материалы.....	131
Ковалева О.П. Качество бумаги для производства бумажно-слоистых пластиков.....	136
Ищенко Т.Л., Ефимова Т.В. О возможности переработки отходов TetraPak и их использования в производстве новых материалов	139
Нестерова Е.В., Хитров Е.Г. Закономерности развития напряжений в древесном материале, возникающих под воздействием рабочего органа стружечного станка	142
Алфавитный список авторов.....	147

ДРЕВЕСНЫЕ ПЛИТЫ И ФАНЕРА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Всероссийская
научно-практическая конференция
17–18 марта 2021 года

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 11.03.2021. Формат 60×84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 9,75. Тираж 100. Заказ 1014.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного организаторами конференции,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.

