

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С.М. Кирова**

---

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ И ИНЖЕНЕРНОЙ ХИМИИ

## **ДРЕВЕСНЫЕ ПЛИТЫ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

20-я Международная  
научно-практическая конференция  
15-16 марта 2017 г.



Санкт-Петербург  
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С.М. Кирова

---

*Кафедра технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии*



20-я Международная  
научно-практическая конференция  
15-16 марта 2017 г.



Санкт-Петербург  
2017

УДК 674.817 – 41:674.816.3  
ББК 37.133.6  
С 387

## О т в е т с т в е н н ы й   р е д а к т о р

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

## Р е д а к ц и о н н ы й   к о м и т е т

**Леонович А.А.** – заведующий кафедрой технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии, СПбГЛТУ (Россия);

**Чубинский А.Н.** – заведующий кафедрой технологии лесопиления и сушки древесины, СПбГЛТУ (Россия);

**Шалашов А.П.** – Генеральный директор ЗАО «ВНИИДРЕВ» (Россия)

## О р г а н и з а ц и о н н ы й   к о м и т е т

профессор **Леонович А.А.**, доцент **Багаев А.А.**, заведующая лабораторией **Бичева Л.П.**, ведущий научный сотрудник **Васильев В.В.**

**Древесные плиты: теория и практика** / Под. ред. А.А. Леоновича: 20-я Междунар. науч.-практ. конф., 15-16 марта 2017 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 122 с.

Содержится информация о производстве ДСП, ДВП, MDF, OSB. Новые производственные мощности вводятся исключительно крупными международными холдингами. В условиях роста стоимости рабочей силы и энергии старые линии нуждаются в реконструкции, в поиске и своих рынков сбыта. Приводятся материалы по приданию плитам новых потребительских свойств, по снижению энергопотребления (например, снижением энергии на размол, на шлифование). Особо актуальна проблема эмиссии формальдегида. Поднимается вопрос о сертификации плит. Приводится сравнение требований в России, Европе, США. Ряд сообщений касаются минимизации формальдегида в готовой продукции.

Требования к качеству плит рассматриваются в виде экспертных оценок более чем по 20-ти показателям с их ранжированием. Обращается внимание на роль качества поверхности плит и её вариабельность как функция технических параметров.

## Предисловие

В сборнике содержится информация о производстве древесных плит – ДСП, MDF, OSB (мы придерживаемся такой аббревиатуры). Новые производственные мощности, вводимые исключительно крупными международными холдингами не оставляют места разработкам, выполняемым в нашей стране главным образом многочисленными коллективами вузов. Многие по числу (но не суммарной мощности) старые линии имеют возраст 30-50 лет. Чтобы оставаться на плаву в условиях роста стоимости рабочей силы и энергии они нуждаются в реконструкции, в поиске своей ниши и своих рынков сбыта, т.е. нужно организовать выпуск видов продукции, на которые мощные современные производства по малостности потребления не будут обращать внимания.

Тем пристальнее следует рассматривать содержащиеся в сборнике материалы по приданию плитам новых потребительских свойств, по снижению энергопотребления (например, снижением энергии на размол, на шлифование, на возможность снижения температуры горячего прессования).

Особо актуальной становится проблема эмиссии формальдегида. Подчеркивая её значение, мы включили обращение научно-технического общества деревообрабатывающей промышленности. Специальная статья содержит информацию о сертификации древесных материалов. Причём приводится сравнение требований в России, Европе, США. Ряд сообщений касаются минимизации формальдегида в готовой продукции, опираясь на потенциальные технические решения, в том числе опробованные в промышленности.

Поскольку значительная часть древесноплитной продукции выпускается в отделанном виде, требования к качеству плит сообщены в виде экспертных оценок более чем по 20-ти показателям с их ранжированием. Рассмотрена роль качества поверхности плит и её вариабельность как функция технических параметров.

Публикации о классификации отходов и их товарной оценке содержат общий методический подход к расширению задачи ресурсосбережения и использованию отходов в качестве реального материального резерва промышленности.

Растущий спрос на плиты и наличие сырья, с одной стороны, и специфический инвестиционный климат, с другой, обусловят определённое конкурентное напряжение в сфере производства древесных плит. Развитие теории в некоторой степени может снизить долгосрочные риски. Материалы данного сборника, а также раздаточный материал и традиционные дискуссии по волнующим производителей и разработчиков вопросам всегда оказывались полезными. Оргкомитет надеется, что 20-я юбилейная конференция не станет исключением.

Редактор

## **Обращение к учёным и специалистам по производству, применению и контролю древесноплитных материалов**

### ***Межрегиональная общественная организация Научно-техническое общество деревообрабатывающей промышленности***

Уважаемые коллеги!

Древесноплитные материалы (ДСП, ДВП, фанера и др.) – одно из важнейших направлений эффективного лесопользования, комплексного и рационального использования древесного сырья. Они находят широкое применение во многих отраслях экономики, прежде всего в строительстве и производстве мебели. Наука и предприятия постоянно совершенствуют технологии их изготовления, улучшают свойства плит, расширяют их номенклатуру и сферы применения, обеспечивают перспективно устойчивые темпы развития этого сектора деревообработки.

Производство древесноплитных материалов использует различные полимерсодержащие связующие (смолы и клеи), которые в процессе изготовления и в период применения (эксплуатации) выделяют вредные летучие вещества (ВЛВ), негативно влияющие на здоровье человека и окружающую среду. Поэтому влияние ВЛВ ограничивают предельно допустимыми их концентрациями в воздушной среде (ПДК). Действующий перечень ВЛВ включает 26 наименований; наиболее опасным веществом является формальдегид – компонент применяемых смол и клеев на их основе.

Нормы ПДК формальдегида, методы и средства его контроля, способы снижения выделений ВЛВ дискутируются на протяжении десятков лет, вызывая разногласия, противоречия и серьёзные препятствия в отечественной внутренней и экспортно-импортной торговле древесноплитными материалами и изделиями из них. Так, импорт мебели, составляющей около половины отечественного рынка мебели, осуществляется без контроля ВЛВ на соответствие их ПДК, действующим в России; ПДК же для древесных плит в странах-экспортёрах превышают действующие нормы в нашей стране более чем в 10 раз. Условия применения и эксплуатации изделий из древесноплитных материалов не имеют чётко регламентируемых требований и не учитывают наличие в жилых помещениях других изделий и материалов, выделяющих ВЛВ. Всё это негативно влияет на состояние и перспективы развития промышленности древесных плит.

Сложившаяся ситуация с оценкой ВЛВ и их ПДК требует широкого профессионального обсуждения, выработки, принятия и реализации решений по её нормализации на основе объективных исследований всех факторов, влияющих на экологическую безопасность древесноплитных материалов, учёта практики

других стран и международных организаций, современного нормативно-методического обеспечения эффективного производства и безопасного применения этих материалов в нашей стране.

Эта проблема приобретает принципиально важное значение именно в 2017 году, который объявлен в России Годом экологии.

Научно-техническое общество деревообрабатывающей промышленности, разделяя и поддерживая озабоченность инженерно-технических работников отрасли хроническим состоянием данной проблемы, обращается ко всем участникам создания и применения древесноплитных материалов с призывом принять деятельное участие в обсуждении и поиске решений актуальной проблемы деревообработки.

Обсуждение проблемы планируется в марте 2017 г. на конференции «Древесные плиты: теория и практика» в Санкт Петербургском государственном лесотехническом университете им. СМ. Кирова.

Справки по тел. 812-670-93-43, 48-438-22-162

Правление НТО древпром.

**Состояние и перспективы развития производства древесных плит в России**

***А.П. Шалашов***  
***АО «ВНИИДРЕВ»***

*В статье приведены данные о состоянии и прогнозе развития производства древесных плит в России. Приведены данные о строительстве новых предприятий по производству древесных плит.*

Несмотря на кризис в России продолжается рост производства древесных листовых материалов. Однако темпы роста по сравнению с нулевыми годами снизились (табл. 1).

Таблица 1 – Производство древесноплитных материалов в России (данные Росстата)

	Един. изм.	Объемы по годам					2020 г. (прогноз) АО «ВНИИДРЕВ»
		2012	2013	2014	2015	2016	
Древесностружечные плиты (ДСП)	тыс. м <sup>3</sup>	6729	6652	6825,3	7209	7370	7000...9000
Древесноволокнистые плиты (ДВП), всего	млн. м <sup>2</sup>	463,5	426,1	468,6	502,2	553,8	600...730
в том числе:							
ДВП мокрого способа производства	млн. м <sup>2</sup>	182,3	149,8	148,6	138,0	130,9	130
ДВП сухого способа производства	млн. м <sup>2</sup>	223,5	219,4	261,5	306,2	360,1	500...600
ДВП отделанные	млн. м <sup>2</sup>	56,7	56,9	58,5	58,0	62,7	
Фанера	тыс. м <sup>3</sup>	3181	3335	3561	3648,7	3759,3	4200...4500

В 2016 г. объемы производства ДСП составили 7,37 млн. м<sup>3</sup> и увеличились по сравнению с 2015 г. на 2,2 %.

Продолжается рост производства ДВП в целом по России. Производство ДВП мокрым способом ежегодно сокращается при росте объемов выпуска плит сухим способом производства (в основном, плит MDF).

По оперативным данным Росстата, объемы производства ДВП в 2016 г. увеличились на 10,3 % по сравнению с 2015 г. и составили 554 млн.м<sup>2</sup>.

Производство фанеры ежегодно растет.

Основное производство ДСП по-прежнему сосредоточено в Центральном и Северо-Западном федеральных округах (70 %), производство ДВП – в Центральном и Приволжском федеральных округах (более 75 %), рис. 1 и 2.

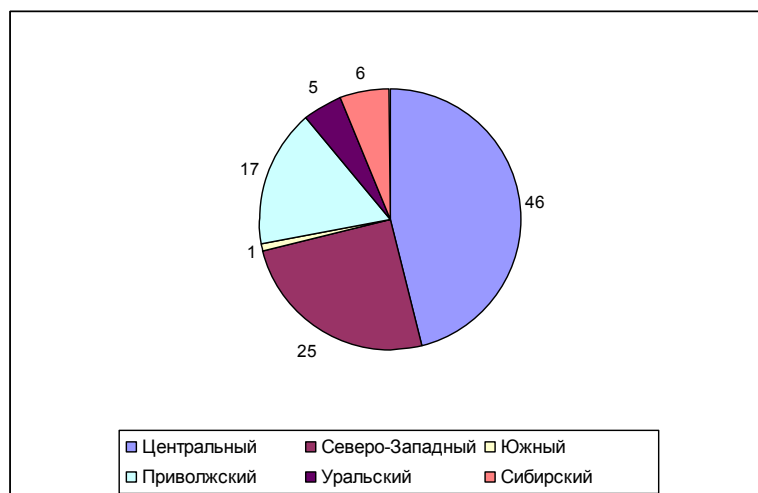


Рис. 1. Концентрация производства ДСП по федеральным округам, %

Основное производство ДВП сосредоточено в Центральном и Приволжском федеральных округах (более 70 %).

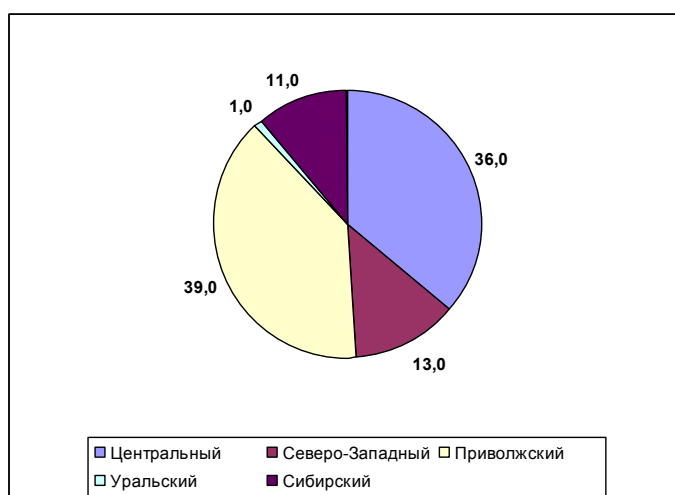


Рис. 2. Концентрация производства ДВП по федеральным округам, %

В 2014-2016 гг. запущено 3 новых предприятия по производству ДСП общей мощностью 800 тыс. м<sup>3</sup>:

- в Удмуртии - ООО «Увадрев» (мощность 300 тыс. м<sup>3</sup>);
- в Смоленской области - ЗАО «Игоревский завод ДСП» (мощность 200 тыс. м<sup>3</sup>).

- в Томской области ООО «Томлесдрев» мощностью 300 тыс. м<sup>3</sup>.

Кроме того, идет или планируется строительство еще девяти предприятий общей мощностью около 2,0 млн. м<sup>3</sup>/год (табл. 2).

С учетом выбытия старых и ввода новых мощностей к 2020 г. общая мощность линий по производству ДСП может достигнуть 10 млн.м<sup>3</sup> в год.

В России ежегодно растет спрос на древесностружечные плиты с ориентированной стружкой (OSB).



Таблица 2 – Проекты строительства заводов по производству ДСП

№ п/п	Мощность, тыс. м <sup>3</sup> /год	Предприятие, оборудование	Сроки реализации проектов
1	150	Завод ДСП в пос. Итатка Томской обл.	2018 г.
2	160	ПГ «Союз» в АО «ПЛИТСПИЧПРОМ» (Калужская область) Линия с непрерывным прессом фирмы Зимпелькамп	2017 г.
3	600	Промышленная Группа «СВЕЗА» в Алапаевском районе Свердловской области на базе ОАО «Фанком»	Отложено финансирование
4	120	ЗАО «Мариинский плитный комбинат», Кемеровская обл.	2020 г.
5	350	в г. Людиново, Калужской обл. («Людиново») фирмы «Диффнбахер»	2017 г.
6	200	ЗАО «Муром»	2019 г.
7	250	Завод ЛДСП в Пензенской области (г. Кузнецк), фирмы «Зимпелькамп»	Отложен
8	150	ООО «Краслесинвест» Богучаны	Отложен
9		РосКитИнвест Асино	2020

В настоящее время работает 6 предприятий по производству этих плит общей мощностью около 1,1 млн.м<sup>3</sup>, в том числе запущенный в конце 2016 года завод в Торжке мощностью 500 тыс м<sup>3</sup>/год.

Планируется создание еще четырех линий по производству плит OSB общей мощностью 1,4 млн.м<sup>3</sup>, (табл. 3). Тогда к 2020 г. общие мощности по производству OSB при реализации всех проектов составят 2,8 млн.м<sup>3</sup>/год, что обеспечит импортозамещение и превысит потребности внутреннего рынка.

Таблица 3 – Проекты строительства заводов по производству OSB

№ п/п	Мощность, тыс.м <sup>3</sup> /год	Наименование предприятия	Сроки реализации проектов
1	250	Компания «Югра-плит»	2017 г. отложен
2	500	Компания «Kastamonu Entegre» (Турция) ОЭЗ «Алабуга», Татарстан.	2017 г.
3	250 (2-я линия)	ООО ДОК «Калевала» (Карелия)	2017 г.
4	400	Компания «Реал-Инвест» (Нижегородская обл.)	2019 г.
Итого	1400		

Кроме того, в стадии реализации находятся 3 проекта по производству плит MDF общей мощностью 900 тыс.м<sup>3</sup>/год, (табл. 4).

Таблица 4 – Проекты строительства заводов по производству MDF

№ п/п	Мощность, тыс.м <sup>3</sup> /год	Предприятие, оборудование	Сроки реализации проектов
1	200	ЗАО «РосКитИнвест» (Томская область)	2017 г. Наладка
2	300	ОАО «Дальлеспром»	2018
3	400	Компания «Kastamonu Entegre» (Турция) в ОЭЗ «Алабуга», Татарстан.	2017 г.
Всего	900		

На фоне вполне благополучного положения в производстве, ситуация, сложившаяся в России в сфере потребления древесноплитных материалов, далека от идеальной.

С одной стороны, медико-санитарные надзорные ведомства приняли в конце семидесятых годов прошлого века ограничительные требования к содержанию вредных летучих веществ в воздухе жилых помещений на довольно низком уровне. Так для формальдегида этот показатель равнялся 0,01 мг/м<sup>3</sup> воздуха. Такая же концентрация формальдегида (при принятой насыщенности древесных плит в помещении 1 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup>, однократном в час воздухообмене, температуре 23 °С и относительной влажности воздуха 50 %) была обозначена как допустимая для древесных плит при испытаниях камерным методом.

С другой стороны концентрация формальдегида в воздухе в естественных условиях зачастую превышает обозначенную предельно допустимую в России. Предельная концентрация формальдегида, принятая в странах Европы, составляет 0,12 мг/м<sup>3</sup>.

Такая значительная разница объясняется во многом различием в подходах при обосновании пагубного влияния формальдегида на здоровье человека. В Европе принимается значимым это влияние при возникновении изменений примерно у 90 % населения, тогда как в России – у 100 %.

Попросту говоря, в Европе принято допустимым с экономической точки зрения нивелировать пагубное воздействие формальдегида, либо путем устранения из обихода тех 10 % населения древесных плит, либо уменьшая насыщенность древесными плитами и увеличивая кратность воздухообмена жилища. Такой индивидуализированный подход к использованию древеснополимерных материалов вполне может быть реализован и в России.

В то же время производители древесных плит за прошедшие 30 лет, хотя и продвинулись существенно в деле снижения содержания и эмиссии формальдегида из своей продукции, полного соответствия ее предъявляемым со стороны надзирающих органов требованиям не достигли. Такое положение объясняется многими причинами: изношенностью оборудования, нехваткой инвестиций и т.д.

Но все-таки главная причина – это недостаточная требовательность со стороны потребителя и государства к получению экологически чистой продукции. Казалось бы, государство, установив принятием Технического регламента «О

безопасности мебельной продукции» высокие (выше практически всех в мире) требования по эмиссии формальдегида из мебели должно обеспечить структуры Ростехнадзора климатическими камерами для контроля этого показателя. Но ни одной отечественной и работающей климатической камеры в России нет!

И таможня продолжает давать добро на ввоз в страну мебели, заведомо не соответствующей отечественным требованиям, так как произведена она естественно по требованиям страны-производителя (Такой мебели в России – половина!).

А что покупатель-потребитель? Он должен, чтобы не нарваться на некачественную продукцию, спрашивать давно ли стоит в магазине мебель, или самостоятельно регулировать насыщенность мебелью своей квартиры, или, в худшем случае, чаще проветривать помещение.

Взаимоотношения производителя древесных плит и структур Ростехнадзора это отдельный разговор, который должен инициировать конкретный покупатель древесных плит и мебели. А он разобщён и не структурирован.

Обрисованная неприглядная ситуация на рынке древесных плит и мебели подталкивает к вполне здравому или правильнее – абсурдному выводу: запретить использование полимерсодержащих материалов в мебели, строительстве, вагоностроении, упаковке и т.д.

Но рациональное лесопользование в России невозможно без производства древесных плит, так как только оно потребляет низкокачественную древесину. Ссылки на топливные брикеты и ЦБП несостоятельны. Рынок мебели в России – примерно 10 млрд.\$ США и в подавляющем числе элементов применяют древесные плиты. Надежды на дешевый деревянный дом также предполагают получение качественных древесных плит.

АО «ВНИИДРЕВ» последние пять – десять лет показывает как необходимо делать экологически чистую мебель из древесных плит (см. Патент № 2508191). Это подтверждено в производственных условиях нескольких предприятий древесных плит и мебели.

Да, это связано с увеличением себестоимости, но это необходимо делать, причем не отдельным предприятиям, а всем при законном контроле государства и общества.

Причем все стороны отношений должны сделать шаги навстречу друг другу:

1. Медикам-санитарам здраво (с учетом экономической составляющей) оценить критические концентрации вредных летучих веществ (ВЛВ), (учитывая, что их 26 наименований и они складываются и проявляют синергизм, а из собственно древесины при изготовлении плит может выделяться много чего).

2. Ростехнадзору измерять эмиссию ВЛВ согласно Техническому регламенту, не подменяя оценку мебели оценкой образцов плит.

3. Производителям выпускать плиты не хуже E1, облицовывать плиты в соответствии с Патент № 2508191. Плиты E2 и хуже должны иметь маркировку подобную той, как например, на табачных изделиях.

4. Материал или изделие должен иметь паспорт, где указаны параметры безопасной эксплуатации.

5. Мебельщикам облицовывать кромки мебельных и плитных заготовок, заделывать технологические отверстия, использовать для задних стенок и доннышек облицованные (окрашенные) с обеих сторон плиты, либо ДВП мокрого способа.

6. Росстандарту внести изменения в ГОСТ на камерный метод, предусмотреть облицовку всех кромок испытываемых материалов.

Одновременное выполнение этих мероприятий будет вполне соответствовать принципам 2017 года – года ЭКОЛОГИИ!

УДК 674.817–41:674.816.3

## **О древесных композиционных материалах ближайшего будущего**

*А.А. Леонович*

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

*Уточнены отдельные понятия в связи с модифицированием древесных плит. Предложено диверсифицировать технологию плит для оперативной реакции на изменение рынка, появление новых потребителей.*

Мебельная промышленность как основной потребитель ДСП с возрастающей интенсивностью использует и другие виды древесноплитных материалов (MDF, HDF, OSB и др.). Тем не менее, суммарный объем выпуска ДСП в нашей стране нарастает, осваиваются новые проекты. Однако неявная проблема сбыта в ближайшие годы с неизбежностью начнет проявляться [1].

Креативным производителям ДСП предстоит озаботиться расширением рынка, поиском новых областей использования плит, адаптацией свойств своей продукции к новым запросам потребителей. Последние по профилю своей деятельности не знают потенциальных возможностей вариантов плит как несуществующих. Невидимая рука рынка в отношении некоторых видов модифицированных плит пока еще не побудила производителей и потенциальных потребителей к взаимопониманию и к взаимному сотрудничеству в масштабах отрасли.

Представляется целесообразным сравнительно новым видам древесноплитных материалов придать свойства, которые позволят их использовать в судостроении, в вагостроении, в строительстве специальных объектов. Для этого на стадии проектирования потребуются внесение определенных корректив в технологию и, вероятно, дополнительное оборудование.

Актуальным становится необходимость определить так называемую «дорожную карту» по производству модифицированных древесноплитных композиционных материалов с новыми свойствами. В порядке постановки вопроса коснемся структурирования возможных направлений. Рассмотрение большой и

сложной проблемы начнем с уточнения некоторых понятий и основных направлений модифицирования.

Мы выделяем три основных направления: а) придание нового целевого свойства; б) повышение уровня качества; в) достижение энерго-и ресурсосбережения. Имеются в виду рецептурные и технологические воздействия на структурные элементы плит, а также изменение процесса, главным образом, на стадии введения модификатора и на стадии горячего прессования плит.

*Модифицирование* – мероприятие (процесс, процедура) видоизменения объекта для достижения целевых свойств, структуры, технологии древесно-плитных материалов. Не следует в этом смысле употреблять существительное *модификация*, как относящееся к уже достигнутым качественно различным разновидностям базового вида. Результат модифицирования может быть описан с позиции качества, которое выступает как комбинация оценок свойств древесных плит.

Формальные определения, которые приняты нами для рассматриваемой области знания, включают следующие понятия.

*Базовая древесная плита* – это плита, все параметры которой лежат в регламентируемых пределах. Она вырабатывается на действующих предприятиях и в нашем случае служит контролем для оценки эффективности конкретного метода модифицирования в отношении основных показателей.

*Модифицированная плита* – это материал, показатели которого:

а) включают качественно новый целевой параметр. Этот параметр определяется новой областью использования и задается действующими нормативами в этой области. Например, использованные плиты в строительстве в конкретных конструкциях должны удовлетворять требованиям НПБ 251;

б) лежат в рамках регламентируемых пределов, но хотя бы один параметр оказывается выше верхнего предела за счет рецептурного или технологического приема. Например, прочность наружного слоя плиты под ламинирование для условий эксплуатации (службы) изделия должна быть существенно выше и характеризоваться водостойкостью;

в) соответствуют базовой плите, но изменениями состава достигается существенное энерго- и ресурсосбережение производства. Например, снижение плотности ДСП до  $400 \text{ кг/м}^3$  без потери уровня стандартных показателей за счет создания дополнительного количества пространственных сшивок в структуре плиты не только снизит расход древесного сырья, но и повысит теплоизоляционные параметры плиты.

*Целевой параметр* – это параметр, который необходимо привести в соответствие с требованиями для возможности использования плиты в новой области, где предусматриваются ограничения по данному параметру; целевым является также параметр, по которому оценивают улучшение качества или энерго- и ресурсосбережения.

*Объект исследования* – процесс, явление или устройство, порождающее проблемную ситуацию и служащее для изучения или совершенствования в соответствии с целью. Объектом может быть образец древесной плиты, модификатор, устройство, технология. *Предмет исследования* – совокупность проблем

и задач, решаемых наукой в конкретной области. Иногда эти понятия смешивают.

*Структурный элемент* – представляет собой древесную частицу, стрэнд, техническое древесное волокно; в отличие от анатомического понятия используется при рассмотрении механизма плитообразования соответственно ДСП, OSB, ДВП или MDF.

При разработке рецептуры и технологии модифицирования конкретного вида плит приходится опираться на знания в широком их диапазоне. В частности, используются знания фактического характера (например: известно, что мягкие древесные плиты более пожароопасны, чем сверхтвердые ДВП), знания процедурного характера (например: известно, что продолжительное тепловое воздействие в присутствии кислотообразующего антипирена приведет к развитию деструкции и падению собственной прочности древесного компонента), знания функционального характера (например: знания уравнения регрессии, связывающее прочность с основными параметрами прессования плит), знания об аналогиях (например: огнезащитные средства для тканей могут оказаться пригодными для MDF) и др.

В статье [1] рассматриваются плюсы и минусы упреждающего решения по возможному модифицированию древесных плит и по диверсификации технологии их производства. Отмечается, что ставка на новаторство связана с некоторыми затратами, ставка на традицию гарантирует отставание и даже уход с поля конкурентной борьбы.

Объектом модифицирования, в первую очередь, является древесное вещество, доля которого в абс. сух. плитах составляет порядка 85...90 мас. %. В ДВП мокрого способа производства эта доля повышается до 97...99 мас. %. К решению проблемы правильнее всего подходить, исходя из реакционной способности древесных компонентов в отношении модифицирующих средств. Следует изыскать такие средства и такие условия, чтобы необходимые взаимодействия и превращения произошли в рамках операций технологического процесса, особенно при горячем прессовании древесных плит. В этом случае будет достигнута стабильность свойств и долговечность создаваемого материала, а также обеспечена рентабельность продукции.

Потребительские свойства плит улучшают путем воздействия на древесное вещество, а также на связующее. Целевые добавки ускоряют отверждение, углубляют конверсию, минимизируют выход низкомолекулярных продуктов, особенно  $\text{CH}_2\text{O}$ . В более радикальных задачах может потребоваться переход на иное связующее (например, на основе изоцианатов).

В композицию изготавливаемой плиты могут вводиться добавки, выступающие наполнителем или вяжущим. В решении задачи снижения плотности плиты в композицию при формировании ковра предусматривают введение вспенивающегося пенополистирола, в частности, по способу [2]. Годы спустя эта идея была использована одной зарубежной фирмой.

Вспенивающийся термопластичный полимер можно заменить на термореактивный, дополнительно выполняющий функцию трехмерного связующего. Известный материал «воплан» подробно описан в монографии [3].

Возможные принципы модифицирования древесных плит на опыте одного автора приведены в книгах [3, 4]. Принципы могут развиваться и служить инструментом при разработке способов и составов при создании древесных плит с конкретно заданными свойствами. Рассмотрим только один принцип энергосбережения за счет изыскания соответствующих свойств целевого модификатора.

Идея принципа состоит в решении технического противоречия. Так, если приготовление и введение модификатора в технологическую линию требует установки дополнительного оборудования (усложнения), то решение следует искать в упрощении элементов этой линии. Если дополнительные добавки по разработанной рецептуре повышают затраты (удорожают), то сильное решение должно находиться в удешевлении композиции. Успешное преодоление подобных противоположностей относится к сильным изобретательским решениям. Частичные и поверхностные решения способствуют реализации и, смотря по технической и экономической ситуации на предприятии, могут скорее найти путь к освоению, чем радикальные и сильные изобретения.

Если решение задачи использования модификатора по прямому назначению удорожает (усложняет) производство, то нужно выявить специфику задачи с тем, чтобы изыскать возможность удешевить (упростить) технологический процесс. При этом следует добиться эффекта непосредственно у изготовителя, а не только у потребителя. Позиция «потребитель платит за всё» на фоне конкурентных предложений тормозит, а иногда и исключает внедрение конкретной разработки.

В ходе решения целевой задачи создания древесных плит пониженной горючести, оказалось возможным достичь экономии энергозатрат. Термомеханическими исследованиями технического древесного волокна, обработанного огнезащитными средствами, установили снижение температуры размягчения волокна и тем самым показали, что составы (средства) выступают в качестве технологических пластификаторов. Совместное их действие позволяет снизить давление горячего прессования плит в два раза при одновременном повышении их прочности (рисунок).

По условиям огнезащитного действия эффективные антипирены требуют снижения температуры горячего прессования плит. Вместе с возможностью снижения давления и необходимостью снижения температуры горячего прессования режим изготовления плит при решении целевой задачи – огнезащиты материала – становится более мягким, благодаря чему можно использовать оборудование с пониженными параметрами и за пределами амортизационного срока службы. Отмеченная особенность огнезащитных систем позволила развить поиск дальнейшей технологической пользы в применении эффективных антипиренов.

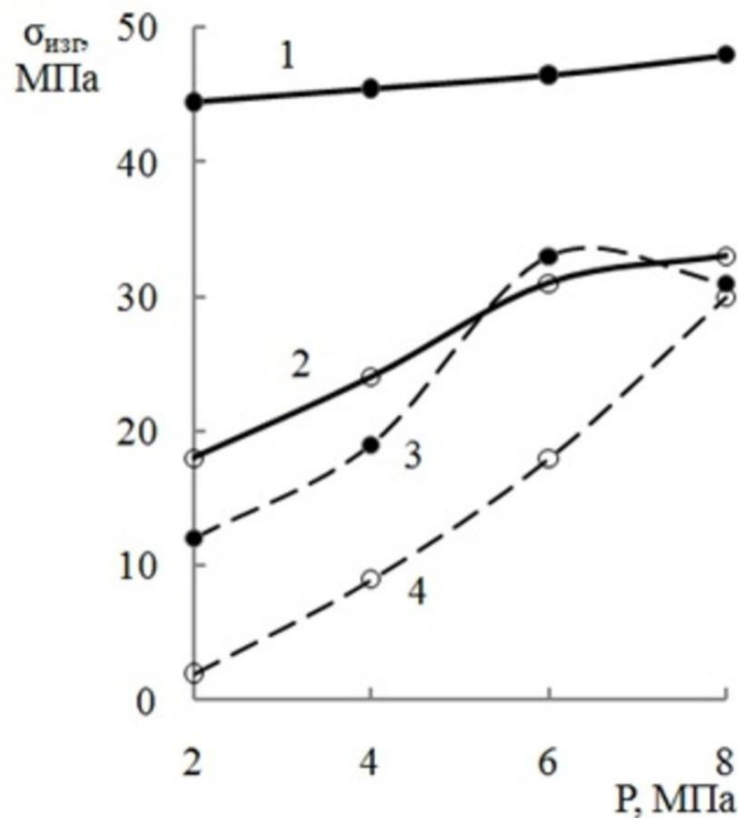


Рисунок. Прочность огнезащищенных ДВП в зависимости от удельного давления прессования (пунктир – плиты без огнезащиты): 1, 3 – плиты с термообработкой; 2, 4 – плиты без термообработки

Установили, что в силу пластифицирования и химического взаимодействия представляется возможным снизить уровень требований к процессу размола, допуская без потери качества плит использовать фракции более грубого помола. На это указывают данные таблицы по прочности плит, полученных из массы древесных волокон различной степени разработки.

Различие в прочности плит, отпрессованных в присутствии модификатора, из хорошо разработанного древесного волокна, и таких же плит из волокна грубого помола оказывается не столь значительным, как это можно было бы ожидать из опыта промышленного производства ДВП. С ростом температуры горячего прессования это различие уменьшается и буквально сходит на нет, составляя при температуре 210 °С всего 3 %.

Такое же различие по прочности для контрольных плит из двух масс исходного волокна (без модификатора) оказывается достаточно большим и сохраняется на уровне 20 %, несмотря на предельно высокое повышение температуры прессования. То есть при изготовлении плит в присутствии данного конкретного модификатора можно ограничиться выработкой волокна грубой степени помола без потери качества плит и тем самым сократить затраты электроэнергии на размол. Дополнительная экономия энергии возможна за счет снижения температуры горячего прессования плит.



Таблица – Прочность плит из древесного волокна различной степени помола

Температура прессования, °С	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа, при коэффициенте размола		Разница в прочности, %
	11,3	35,1	
Модифицированное волокно			
160	34,6	47,8	28
190	47,7	54,3	12
210	53,7	55,2	3
Исходное волокно			
180	18,8	31,1	42
220	29,4	36,6	20
240	34,2	42,6	19

Приведенный пример иллюстрирует возможность при комплексном изучении целевого модификатора установить или дополнительно создать при его синтезе технологические преимущества, которые должны проявиться в процессе изготовления древесноплитных материалов и модифицированных древесных плит. В конкретном варианте можно снизить параметры горячего прессования плит, а именно сократить не только расход энергии на изготовление продукции, но упростить режим эксплуатации оборудования и соответственно организовать производство древесных плит на менее мощных прессах.

Следовательно, при разработке целевого модификатора в его рецептуру следует закладывать такие вещества, которые позволяют, помимо достижения целевого качества плит, обеспечивать условия для энерго- и ресурсосберегающих процессов.

#### Литература:

1. Леонович А.А. О необходимости модифицирования древесных плит // Состояние и перспективы развития производства древесных плит / Под ред. Е.П. Гнутовой: Сб. докл. 19-й Междунар. науч.-практ. конф., 16–17 марта 2016 г. – Балабаново: ЗАО «ВНИИДРЕВ», 2016. – С. 21–28.
2. А. с. 481456 СССР. Способ изготовления плит из древесного волокна / А.А. Леонович. – 1975, Бюл. № 31.
3. Леонович А.А. Теория и практика изготовления огнезащищенных древесных плит (монография). – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 176 с.
4. Леонович А.А. 21 принцип модифицирования древесных плит от Леоновича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 80 с.
5. Леонович Адольф. Модифицирование древесных плит: Принципы, патенты, примеры. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 92p.

## **Об экологических проблемах применения древесноплитных материалов в малоэтажных жилых зданиях**

***В.В. Кислый***  
*ООО «МП» ДОМ»*

*Ставится вопрос комплексной системы экологии жилища.*

Современное жилищное строительство использует много новых материалов и конструкций из них. Для создания малоэтажных, прежде всего каркасных и панельных домов применяют древесноплитные материалы различных видов, свойств и назначений. Например, в качестве конструкционных элементов используют фанеру и отдельные виды древесностружечных плит, мягкие древесноволокнистые плиты выполняют функции теплоизоляционного материала, гипсокартонные плиты применяют для облицовки стен и т.п. Изготавливают эти плиты с использованием различных связующих, способных выделять вредные летучие вещества.

Для обустройства помещений дома также используют древесноплитные материалы (ламинат для полов, изготовленную из таких материалов мебель), линолеум, различные лакокрасочные материалы, которые оказывают влияние на экологию жилых помещений. В период эксплуатации дома его экология может ухудшаться рядом внешних факторов (излучениями радона и продуктов его распада в закрытых помещениях, геофизическими аномалиями участка застройки – подземными разломами, пересечениями водных потоков и др., состоянием окружающей среды, инфраструктуры и т.п.)

Совокупность древесноплитных, других синтетических и полимерных материалов, использованных при строительстве и обустройстве малоэтажного жилого здания, и внешних факторов, воздействующих на эксплуатируемое здание, образует комплексную систему экологии жилища.

Эта система до настоящего времени не имеет общей методологии исследований, критериев оценки и, тем более, принципов нормирования и контроля совокупного (кумулятивного) влияния на экологию жилища. Но следует отметить, что европейские страны уже озаботились этой проблемой. В данной ситуации важно не только обосновывать и обеспечивать ПДК для каждого древесноплитного материала и других материалов для жилищного строительства, но также нормировать предельно допустимую насыщенность (ПДН) жилых помещений этими материалами и устанавливать необходимость экологической паспортизации жилых зданий и помещений перед сдачей их в эксплуатацию и обязательное информирование их владельцев о правилах обеспечения экологической безопасности в период эксплуатации жилища в паспорте жилого помещения (квартиры) или малоэтажного дома.

## **Особенности сертификации древесных материалов в Европе, России, США**

***В.А. Бардонов, И.В. Бардонов***

*ООО Центр по стандартизации лесопродукции «Лессертика»*

*Рассмотрены области сертификации древесных материалов и порядок регистрации деклараций о соответствии заявляемой продукции.*

По инициативе Института исследования древесины им. Вильгельма Клаудца (WKI) и многочисленным запросам деревообрабатывающих предприятий Российской Федерации, Республики Беларусь, Украины ведущие специалисты WKI академии (Германия) и ООО «Центр по стандартизации лесопродукции «Лессертика» организовали и провели 14 – 15 ноября 2016 года впервые немецко-российский международный симпозиум: «Древесные материалы: требования и сертификация в Европе, России, США».

Целью симпозиума было предусмотрено:

- рассмотрение современных и перспективных требований по сертификации древесных материалов в рамках CARB- регулирования (США);
- сертификация, декларирование и маркировка древесных материалов в системе сертификации Евросоюза (СЕ);
- состояние химической безопасности древесных плит, фанеры, мебели на предприятиях России, Республики Беларусь, Украины по данным Роспотребнадзора и предложения по решению проблем экологической безопасности древесных материалов;
- специфика сертификации и декларирования продукции в России и Таможенном союзе;
- анализ новых межгосударственных стандартов на методы определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из древесных материалов методом газового анализа, перфораторным методом и с использованием климатической камеры. Релевантность (адекватность) этих стандартов с аналогичными стандартами EN, ISO;
- опыт эксплуатации лабораторного оборудования, изготовленного ООО ЦСЛ «Лессертика», по определению токсичности древесных материалов и перспективы поставок приборов газового анализа, климатических камер и перфораторов на российские предприятия;
- консультации участников симпозиума со стороны ведущих специалистов WKI, ООО «ЦСЛ «Лессертика» по вопросам программы симпозиума;
- ознакомление участников симпозиума с оборудованием аккредитованной Испытательной лабораторией древесных плит и фанеры ООО «Лессертика».

По предложению WKI на симпозиум приглашены все предприятия России, Белоруссии, Украины, которые сотрудничают с WKI по CARB- регулированию

и сертификации в системе Евросоюза, а также российские предприятия, планирующие заключить контракты с WKI.

Предпосылкой для организации и проведения указанного симпозиума в Российской Федерации явились, на наш взгляд, семь причин:

1. Всё возрастающий интерес производителей древесных плит и фанеры России, Республики Беларусь, Украины в экспорте продукции в страны ЕС и США. В настоящее время более 60 предприятий названных государств имеют контракты с WKI на сертификацию своей продукции по требованиям CARB-регулирования и CE-маркировки. Примерно такое же количество предприятий планируют заключить подобные соглашения. По результатам консультаций между Fraunhofer WKI и ООО ЦСЛ «Лессертика» было достигнуто согласие на проведение настоящего симпозиума и принята Программа, которая предъявлена участникам.

Мы выражаем искреннюю благодарность руководителям и сотрудникам Fraunhofer WKI – Гарольду Швабу, Беттине Мейер, Мейстрингу Оливеру, Бельда Матиасу, Майку Матолину, Наталье Нутц, Елене Шартнер, которые любезно согласились подготовить статьи в сборник научных трудов и выступить с докладами по теме симпозиума.

2. Опыт, накопленный аккредитованными Испытательной лабораторией и Органом по сертификации ООО «ЛЕССЕРТИКА», за период с 1992 года в проведении испытаний и сертификации древесных материалов, мебели и систем менеджмента качества по заявкам 765 предприятий России и зарубежных стран. При этом, в процессе подготовки и сертификации систем менеджмента качества (СМК) на российских предприятиях по производству древесных материалов, мебели и химических реактивов Орган по сертификации СМК АНО ЦСЛ «Лессертика» впервые реализовал такие главные инструменты менеджмента как сущности управления, которая согласно теории управления рассматривается и как искусство, и как наука, и как функция, и как процесс [1]. Приведём кратко наше понимание различных уровней управления:

– управление как искусство – это способность коллектива предприятия (организации) эффективно применять на практике накопленный опыт, опираясь на известные концепции, теории, принципы, формы и методы для достижения поставленных целей и полного раскрытия потенциала коллектива;

– управление как наука имеет свой предмет изучения, направленный на объяснение природы управленческого труда, установление связей между причиной и следствием, выявление факторов и условий, при которых совместный труд людей становится более эффективным и полезным;

– управление как функция реализуется предприятиями через управленческие действия такие как: планирование, организация, распоряжение, координация, контроль, мотивация, руководство, коммуникации, исследования, принятие решений, подбор кадров, заключение договоров;

– управление как процесс, согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [2], включает в себя систематическое определение, менеджмент процессов и их взаимодействие таким образом, чтобы достигать намеченных результатов в соответствии с политикой в области качества и стратегическими целями и критериями разви-

тия предприятия (организации). Менеджмент процессов и системы как единого целого может достигаться при использовании цикла PDCA (Планируй – Делай – Проверь – Действуй) [2] совместно с особым вниманием к риск-ориентированному мышлению [2, 3], нацеленных на использование возможностей и предотвращение нежелательных результатов.

В результате внедрения изложенных принципов, представленных в 43-х методологических инструкциях, разработанных АНО ЦСЛ «Лессертика», фирма «Увадрев – Холдинг» была удостоена Премии Правительства Российской Федерации в области качества, а ОАО «Фанпром», ООО «Сыктывкарский Фанерный завод», ООО «Пермский фанерный комбинат», ЗАО «Плитспичпром» сертифицировали свои СМК в органах по сертификации Германии, Швеции, Франции.

3. Высокая, в сравнении с аналогичными аккредитованными испытательными лабораториями России, Республики Беларусь и Украины, оснащенность Испытательной лаборатории ООО «ЛЕССЕРТИКА» оборудованием для проведения физико-механических испытаний и оборудованием для оценки миграции формальдегида и других вредных летучих химических веществ из древесных материалов и мебели, в том числе наличие: 4 климатических камер объемом – 30 м<sup>3</sup>, 1 м<sup>3</sup>, 0,5 м<sup>3</sup>, 0,225 м<sup>3</sup>; 2 приборов газового анализа; 2 перфораторов; камер для кондиционирования древесных материалов объёмом 500 л; камер переменных температур объёмом 600 л, с режимами подготовки образцов от -40 до +100 оС. Нам известно, что большинство аккредитованных испытательных лабораторий древесных материалов и заводских лабораторий имеют в своём арсенале только перфоратор по ГОСТ 27678-2014.

4. Инициатива и разработка сотрудниками АНО ЦСЛ «ЛЕССЕРТИКА», при участии заинтересованных предприятий, более 25 межгосударственных стандартов (ГОСТ) на древесные материалы и методы их испытаний. Все эти стандарты согласованы по линии Технического комитета по стандартизации – ТК 121 «Плиты древесные» со всеми заинтересованными странами Союза независимых государств (СНГ) и успешно применяются в отраслях промышленности, несмотря на недоброжелательную критику, высказанную рядом специалистов. В сборнике научных трудов Российской академии проблем качества нами размещена статья об уровне релевантности (адекватности) наших ГОСТ с аналогичными стандартами ISO и EN [4]. Таким образом, достигнута главная цель разработки стандартов – это неэквивалентная гармонизация их с аналогичными стандартами ISO или EN и переход от технических условий (ТУ), разрабатываемых каждым предприятием-изготовителем к единым межгосударственным стандартам, с введением, например, прогрессивной нормы миграции формальдегида из древесных материалов – класса E0,5, что соответствует норме E1 Plus, принятой в ЕС по предложению WKI.

5. Проектирование, изготовление и поставка ООО ЦСЛ «Лессертика»: приборов газового анализа по EN 717-2 на 65 фанерных и плитных предприятий России; климатических камер для определения миграции формальдегида объемом 225 л, 500 л, 1000 л. по EN 717-1 на 7 предприятий; перфораторов по EN 120 45 предприятиям России и Украины. Обучение и сертификация в ООО

ЦСЛ «Лессертика» 175 специалистов предприятий по эксплуатации приборов газового анализа, климатических камер и перфораторов.

6. Проведение мониторинга уровня выделения формальдегида из древесных материалов и мебели на протяжении 10 лет. Выполнен анализ состояния экологической безопасности древесных материалов и мебели по результатам проверок территориальных Управлений Роспотребнадзора и оценки токсичности древесных плит и фанеры в испытательной лаборатории ООО «Лессертика» [5].

Разработка и опубликование в ж. «Все о мебели», «Качество и жизнь» [6] Концепции нормирования выделения формальдегида из древесных материалов, которая отражает специфику установления пределов допустимого уровня концентрации вредных летучих химических веществ в древесных материалах и мебели на предприятиях Российской Федерации. Подобная Концепция, по нашему мнению, должна быть согласована с Роспотребнадзором, Минпромторгом РФ и утверждена постановлением Правительства Российской Федерации. Активное участие ООО ЦСЛ «Лессертика» в обсуждении нормативов выделения формальдегида из древесных материалов в рамках Ассоциации мебельных и деревообрабатывающих предприятий России (АМДПР) и комиссий ЕврАзЭС.

7. Аккредитация фирмой IKEA (Швеция) при участии WKI Испытательной лаборатории ООО «Лессертика», в числе 39 аналогичных испытательных лабораторий стран Евросоюза, на право тестирования экспортеров древесных материалов по выделению (содержанию) формальдегида методом газового анализа и перфораторным методом. С учётом данного статуса ООО «Лессертика» осуществляет выполнение заявок 35 предприятий России и стран дальнего зарубежья. Кроме того, сотрудники ООО «ЛЕССЕРТИКА» аттестованы институтом исследования древесины им. Вильгельма Клаудица (WKI, Германия) на право проведения внутренних ежеквартальных инспекций на 10 российских предприятиях по требованиям CARB – регулирования и CE – маркировки. ООО «Лессертика» имеет контракт с WKI от 31 августа 2010 года № 807 на выполнение внутренних инспекций на российских предприятиях.

Рассматривается перспектива дальнейшего расширения взаимовыгодного сотрудничества с WKI, например, создание в 2017 году на базе ООО «Лессертика» учебного центра по предварительной подготовке российских предприятий для получения в WKI документов по CARB-регулированию и CE-маркировке, необходимых для поставки древесных плит и фанеры в Европу и США.

В работе симпозиума принимали участие 75 специалистов от 50 предприятий и организаций России, Германии, Республики Беларусь, Украины.

По итогам симпозиума издан сборник научных трудов, в котором отражены современные требования в области стандартизации, сертификации и обеспечения экологической безопасности древесных материалов в Европе, России, США. Реализация современной методологии международной сертификации, изложенной в сборнике, будет способствовать повышению конкурентоспособности и расширению экспорта этих видов продукции.

Из регионов США основным в организации работ по сертификации строительных материалов, включая древесные плиты и фанеру, является штат Калифорния, который имеет свой «собственный» орган California Air Resources Board (CARB, Отдел надзора за воздушными ресурсами). CARB руководствуется в своей деятельности Американским заключительным Положением о Регулировании № 93120 – 93120.12 п.17 «Меры по снижению токсичности летучих частиц с целью сокращения эмиссии формальдегида из композитных древесных материалов».

Предприятия, которые намерены заключить контракт с WKI на получение сертификата в системе CARB-регулирование должны выполнить следующие требования:

- разработать и внедрить Справочник по вопросам обеспечения качества, что представляет собой основу Системы менеджмента качества (СМК) согласно ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 и ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Опыт функционирования подобной СМК изложен в [7] и может быть передан предприятиям в виде консалтинговых услуг со стороны ООО ЦСЛ «Лессертика»;

- внедрить испытательное оборудование для проведения периодических производственных испытаний ДСП, в т.ч. плит OSB, ДВП сухого и мокрого способов производства по определению содержания формальдегида – прибор для экстракции (перфоратор) по EN 120 (ГОСТ 27678-2014), а для фанерной продукции и облицованных древесных плит – прибор газового анализа по EN 712-2 (ГОСТ 32155-2013). Провести обучение и сертификацию персонала заводской лаборатории по правилам эксплуатации указанного оборудования, например, в ООО ЦСЛ «Лессертика», как поставщика испытательного оборудования и результаты обучения в которой признаются экспертами WKI;

- проводить в заводских лабораториях ежедневные приёмо-сдаточные и периодические испытания древесных материалов согласно ГОСТ 15.309-98, ГОСТ 16504-81 и нормативных документов на продукцию, в части соблюдения требований по содержанию (выделению) формальдегида;

- провести квалификационные испытания (ГОСТ 16504-81) по содержанию (выделению) формальдегида в древесных материалах в аккредитованных испытательных лабораториях WKI или ООО «Лессертика», с целью оценки готовности предприятия к выпуску продукции и поставкам в страны Евросоюза и США;

- обеспечить условия для отбора образцов древесных материалов экспертами WKI и поставки образцов в лабораторию WKI для выполнения корреляционных испытаний перфораторным методом или методом газового анализа, используемым при производственном контроле, и параллельных испытаниях в климатических камерах по американским стандартам ASTM E 1333 или ASTM D 6007. По результатам указанных испытаний WKI устанавливает для каждого конкретного предприятия норматив содержания формальдегида в ДСП класса E1 в пределах 2,8...3,2 мг/100 г. абс. сухой плиты при использовании предприятием перфораторного метода, а для фанеры, при использовании предприятием метода газового анализа – норматив миграции формальдегида в пределах 0,4...0,45 мг/кв.м.час. Указанные нормативы обеспечивают соответствие выде-

ления формальдегида из продукции для класса E1 значению 0,124 мг/м<sup>3</sup>, по стандарту EN 13986:2015 для метода с использованием климатической камеры.

После выполнения вышеуказанных требований и получения сертификата в Системе CARB-регулирование российское предприятие подлежит ежеквартальному инспекционному контролю со стороны экспертов WKI, при котором осуществляют:

- анализ журналов по результатам производственных испытаний древесных материалов в ЦЗЛ;
- просмотр документов по обеспечению качества в т.ч. Руководства по качеству или СМК, действующей в ЦЗЛ;
- отбор образцов продукции и доставку их в лабораторию WKI для испытаний камерным методом;
- ознакомление с состоянием соблюдения правил технологического процесса изготовления продукции (режимы прессования, характеристика и расход смолы и т.п.);
- оценка методов внутрипроизводственного контроля, используемых предприятием при определении содержания (выделения) формальдегида в древесных материалах;
- проверка компетентности персонала ЦЗЛ, проведение сравнительных испытаний между работниками ЦЗЛ.

По результатам инспекционного контроля эксперт составляет отчёт о выполненной работе и подтверждает действие сертификата.

Основой для проведения сертификации в Европе и CE-декларирования древесных материалов является «Регламент о безопасности строительных материалов» Bau PV (EU) 305/2011, принятый Европейским Парламентом 09 марта 2011 года и стандартов EN 636:2015, EN 622-5, EN 13986:2015. При этом декларация о соответствии заполняется согласно Положению EU 574/2014, принятому Европейским Парламентом 21 февраля 2014 года.

При подготовке к сертификации в ЕС и получения права CE-маркировки продукции предприятие-изготовитель выполняет:

- типовые испытания, например, фанеры на соответствие требованиям EN 636:2015, EN 13986:2015 по показателям:

предел прочности и модуль упругости при изгибе по EN 310 образцов фанеры из 30 листов (по 6 листов каждой толщины), при этом испытания проводятся на фанере, изготовленной в 3-х производственных сменах, а общее количество образцов составляет 216 шт. для испытаний вдоль волокон и 216 шт. для испытаний поперёк волокон;

предел прочности при скалывании (качество склеивания) для образцов, отобранных из 12 листов фанеры по EN 326-1;

выделение формальдегида камерным методом по EN 717-1, EN 13986:2015, а если у изготовителя отсутствует климатическая камера, то в ЦЗЛ испытания проводят методом газового анализа по EN 717-2. Примечание: перед проведением физико-механических испытаний и оценкой миграции формальдегида образцы должны проходить кондиционирование при  $T = 20$  оС и влажности  $W = 65$  % до достижения постоянной массы образцов. Климатические ка-



меры для кондиционирования объёмом 250 и 500 л поставляет ООО ЦСЛ «Лессертика»;

проведение ежесменного внутрипроизводственного контроля изготавливаемой продукции;

выполнение испытаний продукции в ЦЗЛ или в ИЛ ООО «Лессертика» по плану, согласованному с WKI.

Орган по сертификации продукции WKI по контракту с предприятием при подготовке к сертификации продукции и СЕ-маркировке выполняет:

- первоначальную инспекцию предприятия на предмет оценки состояния технологического процесса изготовления продукции (принятая технологическая схема; режимы прессования; применяемые клеевые системы);

- оценку состояния системы внутрипроизводственного контроля;

- типовые испытания продукции по EN 636, EN 13986:2015, установление коэффициента корреляции, при необходимости, между методом газового анализа, используемом при внутрипроизводственном контроле и камерным методом по EN 717-1, ASTM 1333 или ASTM D 6007 и установление контрольного норматива выделения формальдегида при испытании продукции на предприятии методом газового анализа;

- инспекции со стороны WKI с периодичностью один раз в полугодие с объёмами работ аналогичными указанным при CARB-регулировании.

В случае выполнения всех требований по испытаниям, обеспечению качества и безопасности продукции в соответствии с EN 636, EN 13986:2015 предприятие оформляет СЕ-декларацию и маркирует продукцию Знаком соответствия – СЕ.

В РФ декларированию и добровольной сертификации подлежат древесные плиты, фанера и спички в соответствии со статьёй 21 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании», а также Постановлений Госстандарта России:

- от 05 августа 1997 г. №17 «О принятии и введении в действие Правил сертификации»;

- от 21 сентября 1994 г. №15 «Об утверждении Порядка проведения сертификации продукции в Российской Федерации»;

- от 17 марта 1998 г. №12 «Об утверждении Правил по сертификации «Система сертификации ГОСТ Р. Формы основных документов, принимаемых в Системе»;

- от 04 ноября 2000 г. №76 «О введении в действие Системы добровольной сертификации» (п.10).

В связи с созданием в РФ в 2011 г. на базе Федеральной службы по аккредитации единой Системы аккредитации испытательных лабораторий и органов по сертификации, по инициативе Росстандарта, принято решение в 2017 г. провести работы по обновлению требований по обязательной и добровольной сертификации продукции в РФ с утверждением Правительством Российской Федерации единой Системы сертификации.

Процедуры сертификации и декларирования продукции деревообработки изложены в статьях [9,10]. По запросу предприятия, сборник научных трудов симпозиума может быть представлен заявителю.

Порядок проведения добровольной сертификации, своего рода её алгоритм, содержит следующие основные этапы:

- подачу предприятием заявки на сертификацию;
  - рассмотрение заявки Органом по сертификации и принятие решения;
- Проведение необходимых процедур:
- анализ документов, предъявленных предприятием-заявителем;
  - отбор образцов продукции экспертом Органа по сертификации и передача их в испытательную лабораторию;
  - испытания продукции в аккредитованной испытательной лаборатории по Техническому заданию Органа по сертификации;
  - проверка Органом по сертификации состояния производства у предприятия-заявителя, если предусмотрено схемой сертификации;
  - проверка Органом по сертификации продукции с привлечением Органа по сертификации системы менеджмента качества (СМК), состояния СМК предприятия-заявителя, если предусмотрено схемой сертификации;
  - анализ полученных результатов и принятие решения о выдаче (отказе в выдаче) сертификата соответствия;
  - выдача протоколов испытаний, регистрация и выдача сертификатов;
  - выдача Органом по сертификации разрешения на применение Знака соответствия при добровольной сертификации;
  - проведение инспекционного контроля сертифицированной продукции с целью подтверждения действия сертификата соответствия. Как правило, инспекционный контроль проводится в соответствии с принятой схемой сертификации, не реже одного раза в год.

Регистрация деклараций о соответствии на продукцию деревообработки производится в соответствии с приказом Минэкономразвития России от 24.11.2014 г. № 752 "Об утверждении порядка регистрации деклараций о соответствии и порядка формирования и ведения реестра деклараций о соответствии продукции, включенной в единый перечень продукции, подлежащей декларированию соответствия" (зарегистрированного в Минюсте России 13.03.2015 № 36424).

Декларация о соответствии направляется предприятием-заявителем для регистрации в Федеральную службу по аккредитации (Росаккредитация).

Заявитель в праве подать декларацию о соответствии в Орган по сертификации древесных плит и фанеры ООО «ЛЕССЕРТИКА» в соответствии с Системой сертификации ГОСТ Р и с его областью аккредитации с целью регистрации декларации в ОС и дальнейшей передачей декларации о соответствии на регистрацию в Федеральную службу по аккредитации (Росаккредитация).

Предприятие-заявитель после принятия решения о регистрации декларации о соответствии через Орган по сертификации древесных плит и фанеры ООО «ЛЕССЕРТИКА» оформляет заявление о регистрации декларации о соот-

ветствии. Далее процедуры по декларированию продукции деревообработки выполняются согласно [10].

#### Литература:

1. Бойцов Б.В., Крянев Ю.В. Внедренческий подход в концепции качества управления. Теоретико-методологические аспекты. – Качество и жизнь. Научные труды Академии проблем качества. Спецвыпуск. М. 2016, с.7-13.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».
3. Бардонов В.А. Риск-ориентированное мышление при достижении результатов бизнес-процессов системы менеджмента качества на деревообрабатывающих предприятиях. Сборник научных трудов международного симпозиума «Древесные материалы: требования и сертификация в Европе, России, США». Балабаново, 2016, с. 68-74.
4. Бардонов В.А., Бардонов И.В. О релевантности межгосударственных стандартов на древесные материалы. Качество и жизнь. Научные труды Академии проблем качества. Спецвыпуск. М. 2016, с.81-86.
5. Бардонов В.А. Уровень миграции вредных летучих химических веществ из древесных плит, фанеры и мебели. Экологический вестник России, №10, 2016, М., с. 12-17.
6. Бардонов В.А. Концепция нормирования выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ из древесных плит, фанеры, мебели. Качество и жизнь. № 1, 2014, М, с. 72-82.
7. EN 13986:2015 «Древесные плиты, применяемые в строительстве. Характеристики, оценка соответствия и маркировка».
8. Бардонов И.В. Система менеджмента качества по требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 и критериям Минэкономразвития России. Качество и жизнь. № 2, М, 2014, с. 78-80.
9. Бардонов И.В., Бардонов В.А. Алгоритм проведения и роль добровольной сертификации в повышении конкурентоспособности предприятий деревообработки. Сборник научных трудов международного симпозиума «Древесные материалы: требования и сертификация в Европе, России, США». Балабаново, 2016, с. 50-54.
10. Бардонов И.В. Порядок регистрации деклараций о соответствии продукции деревообработки. Сборник научных трудов международного симпозиума «Древесные материалы: требования и сертификация в Европе, России, США». Балабаново, 2016, с. 54-57.

## К вопросу минимизации содержания формальдегида в древесных плитах

*А.А. Леонович, Д.В. Иванов*

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

*Рассматривается возможность снижения токсичности древесных плит путём применения акцепторов формальдегида. Формируются требования к эффективному акцептору, приводится классификация акцепторов по механизму их действия.*

Более одного миллиона тонн карбамидоформальдегидной смолы (КФС) предприятия страны используют в производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит. В процессе горячего прессования олигомерное связующее проходит ряд превращений главным образом с участием гидроксиметильных групп, образуя полимер и обеспечивая прочную связь структурных элементов плиты [6]. Поликонденсация сопровождается образованием формальдегида ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), который в составе парогазовой смеси частично удаляется из прессуемого ковра, а частично остаётся в готовой плите.

В связи с сертификацией продукции предприятия становятся всё более заинтересованы в минимизации содержания  $\text{CH}_2\text{O}$  в выпускаемых плитах. При этом возникает ряд ограничений, обусловленных технико-экономическими возможностями и организацией контроля. Требуется разработка доступных способов снижения токсичности древесных плит, а также изучение возможных деструктивных процессов (термогидролитических и др.), приводящих к образованию  $\text{CH}_2\text{O}$  в процессе службы изделий на их основе.

Из-за токсичности древесные плиты проверяются в отношении химической безопасности и классифицируются для установления областей применения. По классу эмиссии  $\text{CH}_2\text{O}$  древесные плиты Е0,5 вырабатываются на нескольких заводах страны с использованием меламинакарбамидоформальдегидных смол (МКФС) [9]. Доля ДСП и MDF, содержащих меламин, в общем объёме вырабатываемых плит составляет всего лишь 1,4 и 0,4 % соответственно [8]. Применение меламина, причём как в виде МКФС, так и в виде добавки в КФС представляется основным вариантом получения плит класса эмиссии Е0,5. Хотя известно, что ограниченная доступность меламина ведёт к ощутимому удорожанию производства, предприятиям приходится идти на экономические издержки ради химической безопасности продукции. Так, использование МКФС увеличивает себестоимость древесных плит на 15...20 %, а последующее ламинирование ещё на 8...9 % [7].

Ограниченная доступность меламина и как следствие удорожание продукции делают актуальным поиск альтернативных способов минимизации содержания свободного  $\text{CH}_2\text{O}$  в готовых плитах. Наиболее желательными представляются решения, которые сравнительно легко интегрируются в существующую

конфигурацию производства. Например, введение специальных добавок позволяет получить заданный результат с минимальными изменениями существующей технологии.

Добавки, позволяющие снизить токсичность древесных плит в связи с  $\text{CH}_2\text{O}$ , обычно называют *акцепторами формальдегида*. По механизму действия они могут быть разделены на две группы – действующие как сорбенты и как реагенты. Возможно комплексное действие.

Сорбенты в процессе изготовления плиты связывают формальдегид по механизму сорбции; их примером может служить шунгит [2] или кремнезоль [3]. Акцепторы химического действия в условиях горячего прессования способны вступать в химическую реакцию с  $\text{CH}_2\text{O}$  с образованием безвредных продуктов. Примерами таких добавок являются поливиниловый спирт (ПВС), резорцин, меламин, карбамид, летавин, некоторые соединения серы (сульфит, гидросульфит натрия) и др.

Практика применения акцепторов химического действия позволила выработать к ним следующие требования:

1. *Реакционная способность в условиях горячего прессования.* Параметры, при которых происходит взаимодействие акцептора с  $\text{CH}_2\text{O}$ , включают определённую температуру, кислотность и др. Так, важно, чтобы температурный интервал активации акцептора соответствовал условиям прессования, а величина рН лежала в пределах 4,5...5.

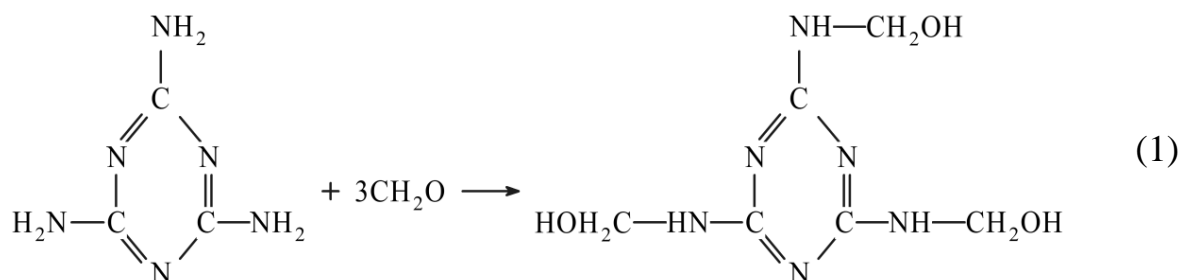
2. *Обеспечение достаточного выхода продуктов реакции.* Из-за малой продолжительности прессования и ограниченности фазного контакта между акцептором и  $\text{CH}_2\text{O}$  эффект от действия добавки может быть недостаточным. В условиях прессования акцептор должен успеть за короткий цикл процесса связать достаточное количество формальдегида.

3. *Совместимость с процессом отверждения связующего.* В случае использования в качестве катализатора отверждения добавки, работающей за счёт реакции с  $\text{CH}_2\text{O}$  (например, хлорида или сульфата аммония) необходимо, чтобы акцептор не связывал свободный формальдегид, пока тот нужен для действия отвердителя. Также важно, чтобы акцептор имел величину рН не сильно отличающуюся от той, которая необходима для отверждения КФС. Тогда он должен присутствовать в структуре изготавливаемой плиты в *латентной* форме.

4. *Стабильность продуктов реакции.* Вещества, полученные в ходе реакции акцептора с  $\text{CH}_2\text{O}$  должны быть стабильны в условиях эксплуатации древесных плит и не разрушаться с образованием формальдегида.

Акцепторы  $\text{CH}_2\text{O}$  могут действовать по *прямому* и *опосредованному* (косвенному) механизму. Акцепторы прямого действия способны самостоятельно вступать в реакцию с формальдегидом, в то время как акцепторы опосредованного действия в условиях прессования подвергаются превращениям, выделяя взаимодействующие с  $\text{CH}_2\text{O}$  вещества. Применение акцепторов прямого действия позволяет выполнить перечисленные требования, однако весь комплекс может не выполняться. В каждом конкретном случае влияние акцептора на процесс отверждения проявляется с учётом его собственных характеристик.

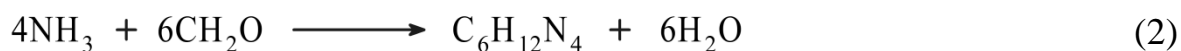
Например, меламина реагирует с  $\text{CH}_2\text{O}$ , начиная от  $40^\circ\text{C}$ , при величине pH 7...8,5; полнота реакции (1) может не соблюдаться. Имеет место преждевременная реакция с формальдегидом, который при этой температуре необходим для отверждения. В условиях горячего прессования меламин существует в твёрдом агрегатном состоянии, что затрудняет фазный контакт между ним и  $\text{CH}_2\text{O}$ . Это вынуждает увеличивать расход добавки, а это, в свою очередь, ведёт к соответствующим экономическим издержкам.



Оценить полноту реакции по эквимольному соотношению не представляется возможным, поскольку выход  $\text{CH}_2\text{O}$  является переменной величиной, (в т.ч. по кинетическим условиям), а расход добавки задаётся изначально. В таких условиях количество акцептора берётся с избытком гипотетическому выходу  $\text{CH}_2\text{O}$ .

Полнота реакции достигается наилучшим образом, если оба реагента находятся в газовой фазе. Существующие акцепторы опосредованного действия при температурах горячего прессования подвергаются термодеструкции с выделением аммиака ( $\text{NH}_3$ ), который реагирует с  $\text{CH}_2\text{O}$ , образуя гексаметилентетрамин (ГМТА). Их существенным достоинством по сравнению с акцепторами прямого действия является газообразное состояние  $\text{NH}_3$ , которое позволяет ему находиться в парогазовой смеси вместе с формальдегидом, увеличивая, таким образом, фазный контакт реакции.

Самым распространённым акцептором опосредованного действия является карбамид. При температуре, превышающей  $132^\circ\text{C}$ , он разлагается с образованием аммиака, который реагирует с формальдегидом (см. реакцию 2). Продукт реакции ГМТА – полициклическое соединение, стабильное в условиях эксплуатации плит. Благодаря нахождению компонентов в газовой фазе реакция между  $\text{NH}_3$  и  $\text{CH}_2\text{O}$  протекает довольно быстро. Известно, что плотность аммиака зависит от температуры; так при  $25^\circ\text{C}$  она составляет  $0,719 \text{ кг/м}^3$ , а при  $120$  и  $200^\circ\text{C}$  –  $0,535$  и  $0,452 \text{ кг/м}^3$  соответственно [1]. Таким образом, если допустить, что прессуемая плита будет иметь объём  $1 \text{ м}^3$ , плотность  $700 \text{ кг/м}^3$ , а расход карбамида составит 1 % от массы плиты, объём выделившегося  $\text{NH}_3$  стремится в 4 раза превысить объём плиты, даже если принять, что вся она прогреется только до  $132^\circ\text{C}$ .



Что же касается формальдегида, то принимая расчёт, приведённый в книге [4], его количество (при расходе абс. сух. смолы 10 % от массы плиты) составит

0,5 мас. ч. на 100 абс. сух. плиты. Тогда в нормальных условиях  $\text{CH}_2\text{O}$  занял бы объём  $5,6 \text{ м}^3$ . Таким образом, 1 % карбамида недостаточно для полного связывания формальдегида, или примерно треть остаётся несвязанной.

Увеличивать расход карбамида нельзя по причине его отрицательного влияния на отверждение КФС. Здесь проявляется одно из существенных ограничений акцепторов опосредованного действия – щелочная реакция, которую даёт  $\text{NH}_3$ . В присутствии воды он гидролизуетсся с образованием гидроксида аммония, который, создавая слабощелочную среду, негативно влияет на отверждение КФС.

Интересное решение [5] было получено при использовании летавина – продукта конденсации фосфорной кислоты с карбамидом в присутствии никелевого катализатора. Его термическое разложение в процессе прессования плит в отличие от карбамида сопровождается высвобождением фосфорной кислоты, что способствует отверждению КФС. А кинетика разложения обеспечивает образование аммиака при заданной температурной последовательности процесса и доставку его из наружных слоёв ДСП внутрь плиты после того, как там пройдёт поликонденсация олигомера. Процедура реализации этого приёма рассмотрена в книге [4].

Сформулированные требования к акцепторам  $\text{CH}_2\text{O}$  позволяют получить представления о достоинствах и недостатках существующих добавок и путях улучшения их свойств. Получение идеального акцептора комплексного действия, сочетающего в себе экономическую доступность и соответствие всем перечисленным требованиям, представляется перспективным путём снижения токсичности древесных плит. Решение такой задачи позволит отойти от дефицитного меламина и в целом обеспечит химическую безопасность древесных плит при повышении конкурентной способности продукции.

#### Литература:

1. Аммиак – физические и химические свойства при различных условиях. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svojstva-gazov/neorganicheskie-gazy/svojstva-ammiaka-plotnost-teploemkost-teploprovodnost>, свободный. [Дата обращения – 05.02.17].
2. Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низкотоксичных клеёных древесных материалов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 148 с.
3. Леонович А.А., Коврижных Л.П., Никольский С.Н. О модифицировании надмолекулярной структуры карбамидоформальдегидных полимеров // Проблемы химической переработки древесного сырья / Отв. ред. А.А. Леонович: Сб. науч. тр. СПбГЛТА. – СПб.: СПбГЛТА, 2000. – С. 108–114.
4. Леонович А.А. 21 принцип модифицирования древесных плит от Леоновича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 80 с
5. Пат. 2535737 Российская Федерация, МПК В27 N3/00. Применение летавина в качестве компонента древесных плит на основе амидоформальдегидного связующего / А.А. Леонович, Т.Н. Войтова, В.Г. Шпаковский. – № 2013113154/13; Заявл. 22.03.2013; Опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35.

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

7. Стрелков В.П., Бардонов В.А. Проблемы экологической безопасности древесных плит и мебели // Древесные материалы: требования и сертификация в Европе, России и США / Под общей редакцией В.А. Бардонова. Сборник научных трудов по итогам международного симпозиума. – Балабаново: WKI – ООО ЦСЛ «Лессертика», 2016. – С. 36-39.

8. Шалашов А.П., Стрелков В.П. Перспективы обеспечения лесопромышленного комплекса России формальдегидосоджащими смолами на период до 2020 года // Древесные материалы: требования и сертификация в Европе, России и США / Под общей редакцией В.А. Бардонова. Сборник научных трудов по итогам международного симпозиума. – Балабаново: WKI – ООО ЦСЛ «Лессертика», 2016. – С. 94-97.

9. Byung Young. No, William K. Motter, David M. Harmon. Storage stable melamin-urea-formaldehyde resin and application thereof. № US 8088881B2. Filed jun. 25, 2008 published dec. 31, 2009.

УДК 674.816.2

## **Теплоизоляционные материалы из отходов древесины и пенополистирола**

***И.А. Гамова, А.Н. Турдаков***

*Санкт петербургский государственный лесотехнический университет имени  
С.М.Кирова*

*Получен теплоизоляционный материал из отходов древесины, отходов пенополистирола и в качестве связующего минерального вяжущего вещества. Использовали измельчённые отходы строительного утеплителя и разовых упаковок. Коэффициент теплопроводности полученного ППС-арболита плотностью 235...300 кг/м<sup>3</sup> равен 0,024...0,040 Вт/(м<sup>0</sup>С): его можно отнести к теплоизоляционным материалам (тип А). Он является не горючим по методу «огневой трубы»: потеря массы 11...13 %, время тления менее 60 с, самостоятельное горение отсутствует.*

В настоящее время в связи с индустриальными методами строительства большое значение имеют тепло- и звукоизоляционные материалы. Использование таких материалов позволяет уменьшить толщину и массу стен и других ограждающих конструкций, снизить расход основных конструкционных материалов, уменьшить транспортные расходы и соответственно снизить стоимость строительства.

Теплоизоляционные материалы, применяемые в строительстве жилых и промышленных зданий, тепловых агрегатов и трубопроводов с целью уменьшения тепловых потерь в окружающую среду, должны иметь низкую плот-



ность (не более  $600 \text{ кг/м}^3$ ); их теплопроводность должна быть не более  $0,18 \text{ Вт / (м} \cdot ^\circ\text{C)}$  [1].

Наряду с этим при сокращении потерь тепла отапливаемыми зданиями уменьшается расход топлива. Многие теплоизоляционные материалы вследствие высокой пористости обладают способностью поглощать звуки, что позволяет употреблять их также в качестве акустических материалов для борьбы с шумом. Хороший теплоизоляционный материал должен быть биостойким, химически стойким, иметь малую гигроскопичность, а также обладать тепло- и огнестойкостью.

В настоящее время используется значительное количество различных органических и неорганических теплоизоляционных материалов. Популярным материалом является минеральная вата с коэффициентом теплопроводности  $0,041 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ . Коэффициент теплопроводности такого традиционного утеплителя, каким являются мягкие древесноволокнистые плиты, имеющие плотность  $150 \dots 250 \text{ кг/м}^3$ , равняется  $0,047 \dots 0,07 \text{ Вт / (м} \cdot ^\circ\text{C)}$ . У арболита с плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$  этот показатель  $0,08$ , а пенополистирол при плотности  $15 \dots 40 \text{ кг/м}^3$  имеет коэффициент теплопроводности  $0,039 \dots 0,005 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$  [2, 3].

Пенополистирол (ППС) в настоящее время является лидером среди материалов, которые используются как утеплители, благодаря доступной цене, лёгкости при работе. Крупнейшими потребителями строительного ППС являются США и Западная Европа.

Однако у этого утеплителя имеются существенные недостатки. Остаточный стирол, являясь сильным токсическим веществом, может негативно влиять на здоровье человека. Ведущие мировые производители добились снижения остаточного стирола до пределов  $0,01 \dots 0,05 \%$ , у отечественных производителей это количество находится на уровне  $0,07 \dots 0,20 \%$ .

Самый большой недостаток ППС – это его горючесть. ППС горит с большой интенсивностью: скорость сгорания в среднем составляет  $2,12 \text{ кг/мин} \cdot \text{м}^2$ , что в 4 раза выше скорости сгорания древесины. Горение пенополистирола сопровождается образованием смертельно опасных токсических веществ, что подтверждается во всём мире. Так, например, пожарные службы Польши за последние года зафиксировали 117 случаев пожаров на фасадах, которые были утеплены ППС, из-за чего пострадали люди. Германия после пожаров в Берлине ввела ограничения по использованию пенополистирольных теплоизоляционных материалов в зданиях высотой более 22 м. Один из самых печально известных случаев, когда из-за ППС пострадали люди, можно назвать пожар в Пермском ночном клубе «Хромая лошадь», когда в результате отравления продуктами горения ППС погибли 156 человек [1, 2].

Для снижения пожароопасности при получении пенополистирола в композицию вводят антипирены. Полученный материал называется самозатухающим ППС и обозначается у ряда российских производителей дополнительной буквой «С». Однако самозатухающий ППС запрещен во многих странах из-за антипирена ГБЦД (гексабромциклододекан), который признан Стокгольмской конференцией стойким органическим загрязнителем [2].

Арболит со средней плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$  относится к группе трудногорюемых материалов, благодаря использованию минерального связующего вещества. Применяют его для изготовления изделий, эксплуатируемых в сборных и монолитных зданиях различного назначения как теплоизоляционный материал [3, 4].

Целью данной работы является разработка теплоизоляционного материала с пониженной горючестью и плотностью. Мы поставили задачу совместить достоинства пенополистирола (ППС) и древесно-минерального композиционного материала – арболита и снизить их недостатки.

Необходимо было разработать композиционный состав теплоизоляционного материала, изучить теплофизические свойства и огнестойкость арболита, содержащего пенополистирол.

В данном исследовании использовали отходы ППС двух видов: отходы строительного утеплителя и разовых упаковок. Измельчение отходов ППС проводили в бытовом блендере в присутствии антистатика, снимающее статическое электричество, которое возникает при расщеплении ППС на гранулы. В качестве древесного наполнителя использовали станочную древесную стружку, отсортированную на ситах диаметром отверстий 5 мм, в качестве связующего вещества – портландцемент марки ПЦ 400 (ГОСТ 10178-76), в качестве химических добавок – хлорид кальция (ГОСТ 450-77) и жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078-81).

Изготовление образцов заключалось в изготовлении арболитовой смеси, формировании образцов и их твердении. Для приготовления арболитовой смеси в ёмкость для смешивания последовательно загружали древесный наполнитель, растворы химических добавок, цемент и воду. При использовании пенополистирола последовательность загрузки следующая: древесный наполнитель, растворы химических добавок, пенополистирол, цемент, вода. Продолжительность перемешивания смеси после загрузки очередного компонента составляет 2...3 мин, общая продолжительность приготовления не должна превышать 15 мин.

Формирование образцов-кубов осуществлялась в формах размером  $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ , которые устанавливались на металлический поддон и заполнялись порцией арболитовой смеси. Затем проводится уплотнение смеси трамбованием и твердение изделий при температуре  $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  течение 7 суток. По окончании указанного времени проводится распалубка изделий и их кондиционирование [5].

Физико-механические испытания полученных образцов заключались в определении плотности арболита, разрушающего напряжения при сжатии через 28 суток твердения. Так как в исследованиях испытания на прочность проводили через 7 суток, делали перерасчёт.

Известно, что прочность арболита при нормальных условиях твердения пропорциональна логарифму времени:

$$R_n = R_{28}(\lg n / \lg 28), \quad (1)$$

где  $R_n$  – прочность арболита в возрасте  $n$  суток (в нашем случае выдержка была 7 суток), МПа;  $R_{28}$  – прочность арболита в возрасте 28 суток, МПа;  $\lg n$  – десятичный логарифм возраста арболита в сутках.

Полученные результаты обрабатывали методом статической обработки: для оценки изменчивости случайных величин использовали вариационный коэффициент, число параллельных опытов определяется с учетом вариационного коэффициента и критерия Стьюдента, показатель точности, обычно принимаемый равным 5 [5].

Для определения влияния отдельных компонентов композиции на прочность образцов арболита, изготавливаемого в условиях эксперимента, был поставлен полный факторный эксперимент (таблица), в котором:

$X_1$  – содержание цемента, %,  $X_2$  – содержание стружки, %;

$X_3$  – содержание воды, %;  $Y$  – прочность при сжатии, МПа.

Полученное уравнение регрессии  $y = 0,179 + 0,0488X_1 + 0,00625X_2X_3$  проверено на адекватность по критерию Фишера. Анализ уравнения показывает, что на прочность оказывает взаимное влияние содержание древесного наполнителя и воды, но в основном на прочность влияет содержание цемента.

Таблица. План эксперимента и прочность при сжатии образцов арболита

Номер опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	$Y$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,13
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,23
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	0,13
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	0,22
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	0,12
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0,22
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0,14
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,24

Определение влияния плотности арболита на его прочность показало, что при уменьшении плотности на  $100 \text{ кг/м}^3$  прочность падает в 3 раза. Этот опыт наглядно продемонстрировал, что состав арболита не позволяет снижать плотность за счет только уменьшения массы образца, не меняя состава композиции.

Цель снижения плотности материала без значительного ухудшения прочности может быть достигнута введением наполнителя, значительно более лёгкого, чем древесина. Таким наполнителем в наших исследованиях служит ППС. Задача состояла в том, чтобы использовать максимально возможный его расход. Изготавливали образцы с различной плотностью. Установили, при плотности  $300 \text{ кг/м}^3$  прочность при сжатии соответствует требованиям, предъявляемым к арболиту. Количество ППС составляло по массе 3...6 %. Известно, что водоцементное отношение (В/Ц) для арболита составляет 1,1...1,3. В нашем слу-

чае В/Ц равно 0,80...0,97, т.к. гранулы ППС занимают объём композиции, но не берут на себя воду.

После измельчения отходов размер гранул утеплителя – 4...6 мм, а насыпная плотность 5,0...5,2 кг/м<sup>3</sup>; размер гранул разовых упаковок – 1...2 мм, а насыпная плотность 15,0...15,2 кг/м<sup>3</sup>. При использовании крупных гранул ППС прочность образцов при плотности  $300 \pm 12$  кг/м<sup>3</sup> составила  $0,24 \pm 0,012$  МПа, а при использовании мелких гранул ППС –  $0,20 \pm 0,011$  МПа. Таким образом, значительного влияния размера гранул ППС на прочность образцов не обнаружено, но при использовании мелких гранул можно вдвое увеличить расход ППС по массе.

*Изучение теплопроводности* образцов проводили на специальной установке (рисунок). Пар от кипятильника К через трубку непрерывно поступает в сосуд С, благодаря чему температура стенок сосуда остаётся постоянной и равна примерно 100 °С. На верхнюю крышку сосуда С кладется диск из исследуемого вещества, сверху которого устанавливается сосуд D с водой.

Изменение температуры фиксируется с помощью термометра. Зная толщину  $x$  и площадь  $S$  исследуемого образца, и температуру воды до нагревания и через время  $\tau$  после начала нагревания определяется коэффициент теплопроводности  $k$ .

Коэффициент теплопроводности рассчитывается по формуле, Вт/м·с:

$$k = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)x}{S\tau} \ln \frac{T_n - T_0}{T_n - T}, \quad (2)$$

где  $c_1$  – теплоёмкость воды, Дж/кг·°С;  $c_2$  – теплоёмкость пустого сосуда D с мешалкой, Дж/кг·°С;  $m_1$  – масса воды, кг;  $m_2$  – масса пустого сосуда D с мешалкой, кг;  $x$  – толщина образца, м;  $S$  – площадь образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время, с;  $T_0$  – начальная температура °С;  $T$  – температура через время  $\tau$ , °С;

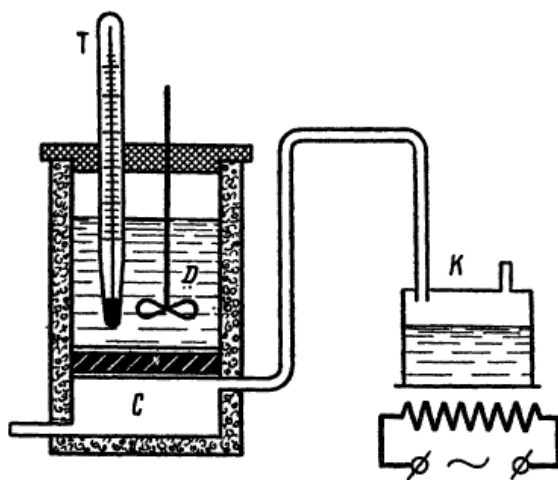


Рисунок. Общий вид установки

ППС-арболитовые образцы при плотности 235 кг/м<sup>3</sup> имели коэффициент теплопроводности равным 0,024 Вт/м·С, при плотности 300 кг/м<sup>3</sup> – 0,040

Вт/м·С. Полученный материал можно отнести к материалам низкой теплопроводности (тип А) [6].

Для оценки горючести образцы подвергали огневым испытаниям методом «огневой трубы». Определяли потерю массы, время самостоятельного горения и тления. Материал не является горючим по методу огневой трубы, если потеря массы менее 20 %, самостоятельное горение отсутствует, а время тления менее 60 с [7].

У ППС- арболитовых образцов отсутствует самостоятельное горение, продолжительность тления составляет 16...19 секунд; потеря массы образцов – 11...13 %. Такой материал подлежит дальнейшим испытаниям для определения группы горючести. *Таким образом*, ППС-арболит, полученный из отходов ППС и древесных отходов, имеет следующие свойства:

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	235...300;
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	$0,20 \pm 0,011 \dots 0,24 \pm 0,012$ ;
Коэффициент теплопроводности, Вт / (м·°С)	0,024...0,040;
Потеря массы при горении, %	11...13;
Продолжительность тления, с	16...19;

На основании выполненной работы можно сделать следующий вывод: полученный теплоизоляционный материал из отходов древесины, отходов пенополистирола и минерального вяжущего вещества обладает низкой плотностью и пониженной горючестью.

#### Литература:

1. Майзель И.Л., Свидлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Высшая школа, 1988. – 240 с.
2. Евтумян А.С., Молчадовский О.И. Пожарная опасность теплоизоляционных материалов из пенополистирола. // Пожарная безопасность. – 2006. – № 54.
3. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
4. Щербаков А.С., Гамова И.А., Мельникова Л.В. Технология композиционных древесных материалов: Учебное пособие для вузов. – М.: Экология, 1992. – 192 с.
5. Гамова И.А., Каменков С.Д. Химия и технология древесных композиционных материалов: методические указания к лабораторным работам. – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – 28 с.
6. Кортнев А.В., Рублёв Ю.В., Куценко А.Н. Практикум по физике. – М.: Высш. шк., 1961. – 427 с.
7. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. – М.: Химия, 1979. – 424 с.

## Влияние модификатора МД-219 на процесс отверждения карбаминоформальдегидной смолы

*Д.А. Перминова<sup>1</sup>, В.С. Мальков<sup>1</sup>, Д.В. Денисова<sup>1</sup>, А.С. Князев<sup>2</sup>*

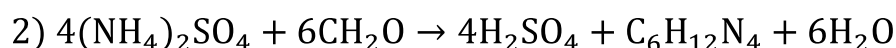
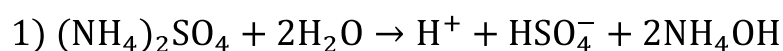
*Национальный Исследовательский Томский государственный университет<sup>1</sup>,  
Инжиниринговый химико-технологический центр<sup>2</sup>*

*Предложен эффективный модификатор для интенсификации процесса отверждения с одновременным улучшением физико-механических показателей древесных плит.*

В настоящее время в промышленности основными путями снижения токсичности карбаминоформальдегидных смол (КФС) и материалов на их основе являются, прежде всего, уменьшение мольного соотношения формальдегида к карбамиду [1], а также применение меламина в качестве сомономера карбамида и формальдегида в синтезе КФС [2-4]. Вследствие модификации и уменьшения мольного соотношения формальдегида к карбамиду происходит снижение реакционной способности клеевой композиции, сопровождающееся увеличением времени гелеобразования, которое влияет на качественные характеристики конструкционных материалов на основе карбаминоформальдегидных связующих, а также приводит к уменьшению производительности в процессе их получения.

Для ускорения процесса гелеобразования, поперечной сшивки макромолекул карбаминоформальдегидного олигомера в отверждаемую систему вводят латентные катализаторы, в основном – соли аммония. Принцип их действия состоит в том, что в процессе увеличения температуры или времени выдержки соли гидролизуются с образованием кислот, ускоряющих процесс отверждения КФС [5]. С другой стороны, скорость образования поперечных связей также напрямую зависит от содержания формальдегида, так как при его взаимодействии с солями аммония образуется соответствующая кислота, которая ускоряет процесс отверждения карбаминоформальдегидного олигомера. Процесс образования кислоты и уротропина ускоряется при повышении температуры [6, 7] (схема 1). Поэтому в смолах с низким мольным соотношением и низким содержанием свободного формальдегида, увеличение содержания катализатора существенно не ведет к снижению времени гелеобразования.

Схема 1. Пути высвобождения протонов



На рис. 1 представлен график зависимости времени отверждения и показателя pH от количества вводимого сульфата аммония в КФС (показатели смолы

приведены в табл. 1). После добавления 0,5 мас. % сульфата аммония в карба-мидоформальдегидный олигомер, значение водородного показателя перестает изменяться, также не изменяется и время отверждения.

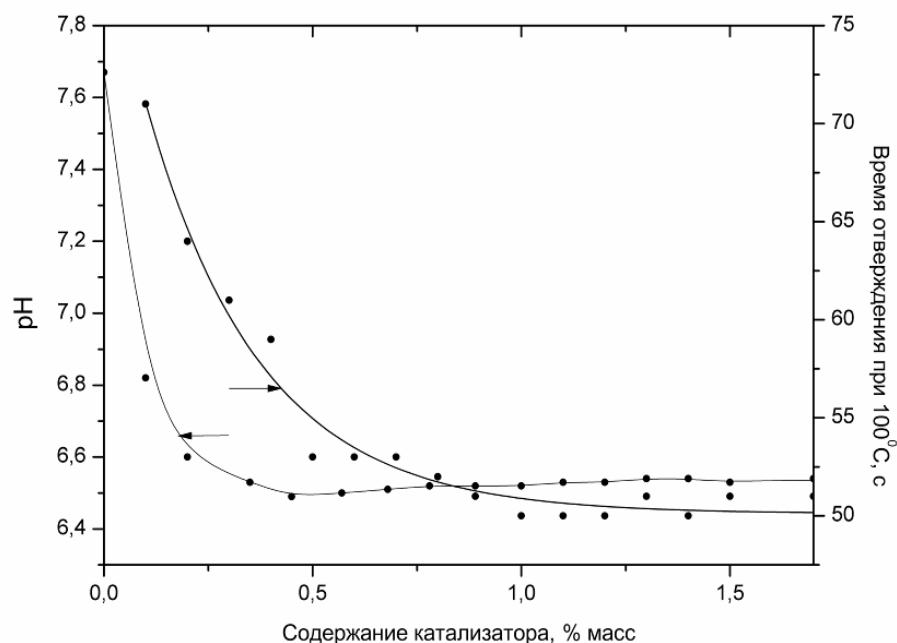


Рис 1. Изменение времени отверждения и pH от количества сульфата аммония.

В настоящей работе изучено влияние модификатора МД-219, как сшивающего агента на процесс гелеобразования в клеевой системе на основе КФС. Исследовано его влияние на физико-механические характеристики древесностружечных плит.

В качестве объекта исследования была выбрана малотоксичная КФС для производства ДСП класса эмиссии формальдегида Е1 (табл. 1).

Таблица 1 – Качественные характеристики карба-мидоформальдегидной смолы

Наименование показателя	Значение
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,1
Массовая доля сухого остатка, % масс.	66,4
Условная вязкость при (20±0,5)°С, по вискозиметру ВЗ-246 (ВЗ-4)	40
Предельная смешиваемость с водой при 20 °С, по объему	1:4
Концентрация водородных ионов, pH	7,9
Время желатинизации при 100 °С, с	52

Для создания клеевой композиции на основе КФС применялись латентный катализатор отверждения – сульфат аммония и модификатор МД-219 производства ООО «Новохим».

На рис. 2 представлен график зависимости времени желатинизации и pH карбамидоформальдегидной клеевой композиции от содержания модификатора МД-219.

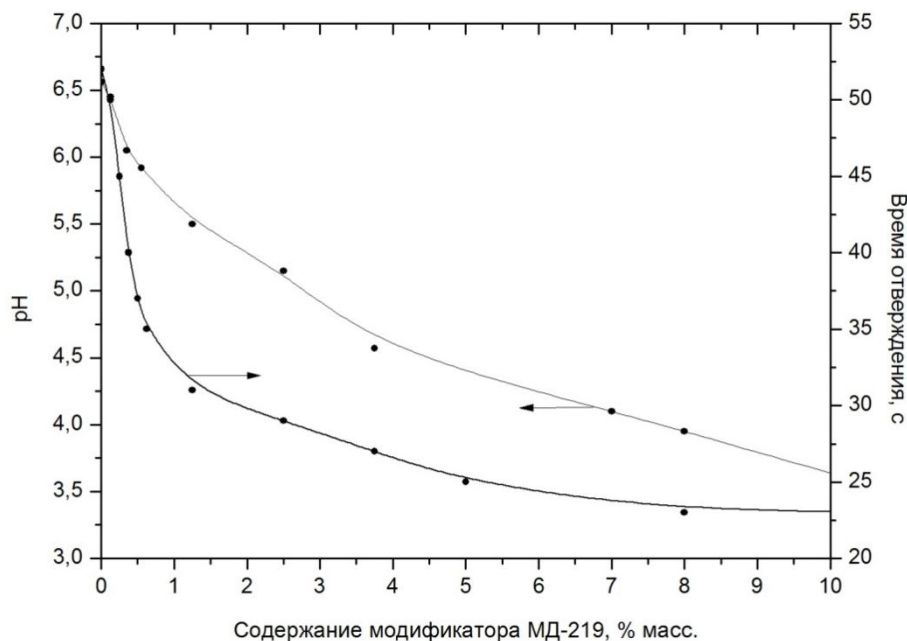


Рис. 2. Влияние модификатора МД-219 на время отверждения и pH карбамидоформальдегидного связующего

Снижение времени гелеобразования и pH происходит при увеличении содержания модификатора в клеевой композиции. Причем при добавлении до 1 % происходит резкое снижение времени гелеобразования, при дальнейшем увеличении количества добавки МД-219 время отверждения изменяется незначительно.

На рис. 3 представлены вискозиметрические кривые клеевых композиций при высоком содержании добавки (1 % и более). Вид кривых процесса гелеобразования при постоянной температуре носит экспоненциальный характер, что свидетельствует о сложном механизме протекания процесса. Причем с увеличением количества модификатора снижается индукционный период, т.е. промежуток времени при котором вязкость постоянна. Индукционный период, также свидетельствует о времени жизни карбамидоформальдегидной клеевой композиции. Промежуток времени, характеризуемый резким возрастанием динамической вязкости с последующей потерей текучести, возрастает с увеличением количества модифицирующей добавки. Таким образом, увеличение количества модифицирующей добавки более 1 % резко снижает значение pH, и как следствие снижается жизнеспособность в клеевой композиции.



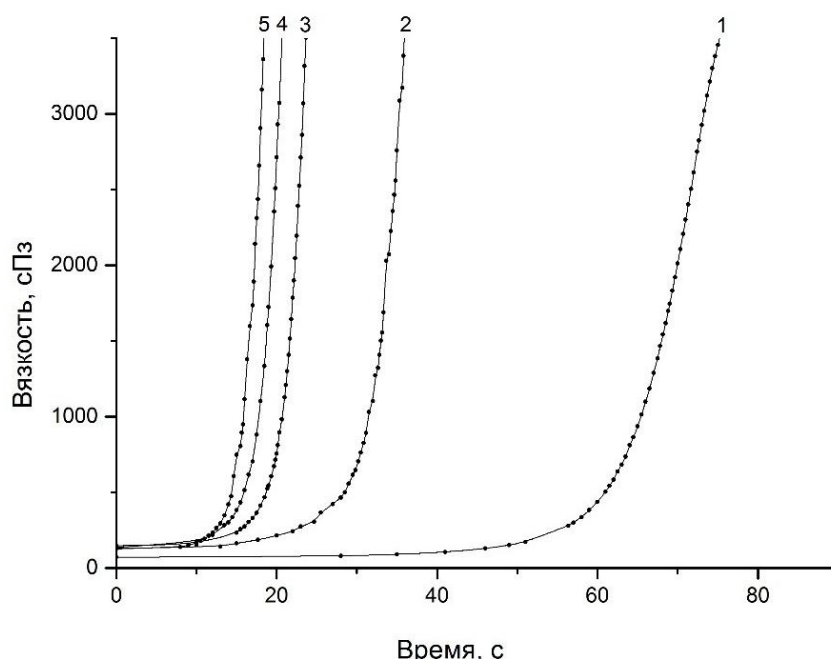


Рис 3. Изменение вязкости в процессе гелеобразования с различным содержанием модификатора МД-219 в карбамидоформальдегидной клеевой композиции (при 25 °С). Содержание модификатора (% мас.): (1) – 1 %, (2) – 2 %, (3) – 5 %, (4) – 8 %, (5) – 10 %

В табл. 3 приведены данные по влиянию модифицирующей добавки на физико-механические характеристики лабораторных однослойных ДСП толщиной 16 мм и расчётной плотностью 750...800 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики

Количество модификатора, % мас.	Характеристики однослойных ДСП			
	Средняя толщина плиты, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при изгибе, МПа,	Растяжение перпендикулярно пласти, МПа
0	16,04	780	18,0	0,35
1	15,80	760	18,7	0,4
2	15,90	832	20	0,42

При увеличении содержания модифицирующей добавки повышаются физико-механические характеристики ДСП. Ввод модификатора МД-219 приводит к увеличению упрессовки плит, за счёт снижения времени отверждения связующего и, как следствие, незначительно повышается показатель предела

прочности при изгибе. Модифицирующая добавка, также выступает в роли пластификатора для карбамидоформальдегидного связующего и повышает растяжение древесно-смоляной композиции.

Показана возможность использования модификатора в качестве сшивающего агента для ускорения реакции образования трехмерных сшитых структур в карбамидоформальдегидном олигомере. Ввод модифицирующей добавки уменьшает время жизни карбамидоформальдегидного олигомера, также ускоряет процесс гелеобразования. С одной стороны, влияние модификатора, подобно формальдегиду, обусловлено взаимодействием с ионами аммония, в результате которого происходит дополнительное протонирование клеевой системы. С другой стороны – модификатор, а также продукты его конденсации образуют с карбамидоформальдегидным олигомером трехмерную сшитую структуру.

Модифицирующая добавка МД-219 позволяет улучшить физико-механические показатели плит, применять акцепторы формальдегида, которые снижают прочностные показатели плит, а также увеличить производительность процесса прессования, сохраняя требуемые нормативами физико-механические характеристики.

#### Литература:

1. ZeliQue, TakeshiFuruno, SadanobuKato, YoshihikoNishino. Effects of urea–formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard // Building and Environment. 2007. Vol. 42, p. 1257–1263.
2. David W. Shiau, Eric Smith. Low formaldehyde emission urea-formaldehyde resins containing a melamine additives. Patent № 4536245. Filed 11 oct. 1983. Published 20 aug. 1985.
3. Rieux, Michel. Résine pour une composition d'encollage, son procédé de fabrication et la composition d'encollage obtenue. Patent № 88403236.8, T 0850/94. 02 Mars 1998.
4. Byung Young. No, William K. Motter, David M. Harmon. Storage stable melamin-urea-formaldehyde resin and application thereof. № US 8088881B2. Filed jun. 25, 2008 published dec. 31, 2009.
5. Edmone Roffael. Die formaldehydabgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen. Stuttgart by DRW-Verlag Weinbrenner-KG, 1982.
6. Costa N. Alternative to latent catalysts for curing UF resins used in the production of low formaldehyde emission wood-based panels// International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 33 – 2012, p. 56-60.
7. 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. 103 – 2007, p. 1566-1569.
8. Luisa M. H. Carvalho, Mario Rui P.F.N. Costa, Carlos A. V. Costa. A very Simple Empirical Kinetic Model of the Acid-Catalyzed Cure of Urea-Formaldehyde resins// Journal of Applied Polymer Science, Vol. 103 – 2007, p. 1566-1569.

## **Карбамидофенолоформальдегидная смола на основе карбамидоформальдегидного концентрата**

***С.Д. Каменков, С.И. Лаевский***

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

*Предложен рецептурный состав и режим синтеза карбамидофенолоформальдегидной смолы на основе карбамидоформальдегидного концентрата. Приведены свойства полученной смолы.*

Получению карбамидофенолоформальдегидных смол методом совместной конденсации фенола (или его гомологов), карбамида и формальдегида посвящено значительное число работ. Большинство предложенных способов получения этих смол предусматривает проведение конденсации фенола с избытком формальдегида в щелочной среде с последующим введением в полученный предконденсат карбамида и, при необходимости, формальдегида. Синтезированные таким способом смолы обладают повышенной устойчивостью при хранении, водостойкостью клеевых соединений. Однако эти смолы характеризуются повышенной вязкостью, значительным временем отверждения, высокой щелочностью и мало пригодны для изготовления плит и прессованных изделий из измельченной древесины.

В работах [1, 2] показано, что наилучшими свойствами обладают карбамидофенолоформальдегидные смолы, полученные в среде с переменным pH.

Использование в качестве источника формальдегида при синтезе смол формалина имеет ряд серьезных недостатков. В товарном формалине концентрацией 37 % содержится до 8 % метилового спирта, который является стабилизатором раствора. Метанол является токсичным веществом, он выделяется при синтезе смолы в газообразном виде и в больших количествах присутствует в сточных водах, образующихся при вакуум-сушке смолы. Кроме того, метиловый спирт замедляет процесс образования гидроксиметильных групп и их конденсацию.

Применение карбамидоформальдегидного конденсата (КФК) позволяет избежать указанных недостатков и получать смолы концентрацией 60...70 % без операции вакуум-сушки [3].

В наших исследованиях для синтеза смол использовали КФК марки «А» ТУ 2181-032-00203803-2003. Для регулирования pH реакционной смеси использовали 20 %-ый раствор  $(\text{NH}_4)\text{Cl}$  и 40 %-ный раствор  $\text{NaOH}$ . Расчет массы компонентов, загружаемых в реактор, проводили по предложенным В.В. Васильевым формулам [4]. У полученных смол определяли содержание сухих веществ (С) [5], условную вязкость ( $\eta$ ) по ВЗ-246 (сопло 4 мм), время отвержде-

ния ( $\tau$ ) [5], прочность клеевого соединения при сдвиге ( $\sigma$ ) [6], количество водорастворимых веществ в отвержденной смоле (ВР).

Определение количества водорастворимых веществ проводили следующим образом. Навеску 10 г смолы смешанной с отвердителем (1 % а. с.  $\text{NH}_4\text{Cl}$  от массы а.с. смолы) переливали в форму из фольги и помещали в сушильный шкаф, нагретый до температуры 105 °С на 3 ч. Высушенную смолу измельчали и просеивали на сите с диаметром отверстий 0,5 мм. Навеску высушенной смолы массой около 1 г взвешенной с точностью до 0,0002, помещали в стакан и заливали 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и при периодическом перемешивании выдерживали 24 ч. По окончании времени выдержки осадок отделяли на стеклянном фильтре № 3 и после высушивания до постоянной массы рассчитывали количество водорастворимых веществ.

В первой серии опытов использовали режим, применяемый для синтеза карбамидоформальдегидной смолы КФ МТ-15 на основе КФК. Мольное соотношение карбамид : фенол : формальдегид принимали равным 1: 1,87 : 3,5.

В качестве контроля использовали смолу КФ МТ-15.

Таблица 1 – Основные стадии синтеза и свойства полученных смол в серии 1.

№ п/п	Режим синтеза				Показатели свойств смолы				
	Стадия синтеза и загрузка компонентов	pH	T, °C	t, мин	C, %	$\eta$ , с	$\tau$ , с	$\sigma$ , МПа	ВР, %
1	1. КФК, вода, карбамид	6,5	90	30	61	14	50	2,14	7,5
	2. Фенол	4	90	30					
2	1. КФК, вода, фенол	4	90	30	63	15	но *	1,74	7,9
	2 Карбамид	7	68	30					
3	1. КФК, вода, фенол, карбамид 1-я порция	7	90	30	59	14	но	1,81	9,1
	2. Тот же состав	4	90	30					
	3. Карбамид 2-я порция	7	68	30					
	КФ МТ-15				67	67	75	2,1	8,7

\* Примечание: но – смола не отверждается на водяной бане.

Смола, синтезированная по режиму 1, имеет по сравнению с КФ МТ-15 меньшее время отверждения и меньшее содержание водорастворимых веществ в отвержденной смоле.

Во второй серии опытов с целью повышения гидролитической устойчивости смолы было увеличено количество фенола. Мольное соотношение карбамид : фенол : формальдегид приняли равным 1: 2,95 : 4,8. На первой стадии синтеза КФК, вода и фенол выдерживались при pH 4 и температуре 90 °С в течение 30 мин. На второй стадии pH реакционной смеси поднимали до 7 и проводили конденсацию при температуре 90 °С в интервале 30...50 мин. Смолы, синтезированные в этой серии, не отверждались на водяной бане.

При производстве резольных фенолоформальдегидных смол конденсацию гидроксиметильных производных фенола ведут при температуре 94...98 °С. Поэтому в режиме 1 температура на второй стадии синтеза была повышена до

98 °С и продолжительность этой стадии варьировалась в пределах 15...45 мин. В этой серии опытов определяли эмиссию формальдегида из отвержденных смол по методике, описанной в работе [7].

Таблица 2 – Влияние продолжительности второй стадии синтеза на свойства карбаминофенолоформальдегидных смол.

Продолжительность 2-ой стадии синтеза, мин	Показатели свойств смолы					
	С, %	$\eta$ , с	$\tau$ , с	$\sigma$ , МПа	ВР, %	Эмиссия формальдегида, мг/100 г смолы
15	53	17	но	1,3	22,6	211
20	59	18	60	2,1	7,4	187
30	61	20	67	3,1	5,8	137
45	61	21	69	3,3	5,7	135
КФ МТ-15	67	67	75	2,1	8,7	162

Анализ данных в табл. 2 показывает, что повышение температуры и увеличение продолжительности второй стадии синтеза приводит к улучшению свойств карбаминофенолоформальдегидной смолы: повышается прочность клеевого соединения, снижается эмиссия формальдегида и количество водорастворимых веществ в отвержденной смоле. Синтезированное связующее имеет большую гидролитическую устойчивость по сравнению с КФ МТ-15, о чем свидетельствует в 1,5 раза меньшее количество водорастворимых веществ.

### Выводы

На основании проведенных исследований в качестве рационального можно рекомендовать синтез карбаминофенолоформальдегидной смолы при мольном соотношении карбамид : фенол : формальдегид 1: 1,87 : 3,5 по режиму:

1. Загрузка КФК, воды, доведение рН до 6,5...7,
2. Загрузка карбамида
3. Нагрев реакционной смеси до 90 °С
4. Выдержка реакционной смеси при этой температуре в течение 30 мин.
5. Снижение рН до 4
6. Загрузка расплавленного фенола
7. Нагрев реакционной смеси до 96 °С
8. Выдержка реакционной смеси при этой температуре в течение 30 мин.
9. Повышение рН до 7...7.5
10. Охлаждение до 30...35 °С
11. Слив смолы.

Смола, синтезированная по указанному режиму, имеет низкую вязкость, на 47 % большую прочность клеевого соединения и на 15 % меньшую эмиссию формальдегида по сравнению со смолой КФ-МТ 15.

### Литература:

1. Петров Г.С., Цветкова М.Е. К вопросу о совмещении карбамидных и фенольных смол. – Труд. Моск. хим.-техн. ин-т., 1959, № 29, с. 26-33.

2. Цветкова М.Е. Синтез и исследование совмещенных феноломочевино-формальдегидных смол – Автореф. дисс. к.х.н. М.: МХТИ, 1960.
3. Кондратьев В.П., Кондращенко В.Н. Синтетические клеи для древесных материалов. М: Научный мир, 2004. – 520 с.
4. Каменков С.Д., Васильев В.В. Технология древесностружечных плит: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. СПб.: СПбГЛТА, 2006. – 100 с.
5. Калинина Л.С., Моторина М.А., Никитина Н.И. и др. Анализ конденсационных полимеров. – М.: Химия, 1984. – 296 с.
6. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. М.: «Химия», 1981. – 272 с.
7. Гамова И.А., Нгуен Тхи Минь Фьонг. Использование высокомолекулярных акцепторов формальдегида для снижения токсичности MDF //Состояние и перспективы развития производства древесных плит: Сб докл. Междунар. науч.-практ. Конф. 19-20 марта 2008 г. – Балабаново: ЗАО «ВНИИДРЕВ», 2008. – с. 13-17.

УДК 674.06

### **Возможности улучшения технология склеивания древесины холодным способом**

***А.Р. Бирман, Ю.И. Цой, В.Г. Лукин, В.А. Соколова***

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

*Приводится информация о разработанном способе склеивания древесины холодным способом, позволяющим значительно сократить цикл пьезообработки и увеличить тем самым производительность прессового оборудования. На поверхность одной из склеиваемых деталей с помощью клеевых вальцов наносят клей, включающий связующее и отвердитель в оптимальных пропорциях. В промежутке между клеевыми вальцами и прессом на конвейере устанавливают дополнительную емкость с подогревом. Рекомендуемая температура нагрева раствора ускорителя должна быть в пределах 60...80 °С. Капли ускорителя наносят через равные промежутки на клеевую поверхность детали, после чего их совмещают между собой и помещают в холодный пресс.*

Склеивание древесины при изготовлении изделий из массивной древесины имеет широкое применение в производстве. Это изготовление мебели и столярно-строительных изделий, домостроение, производство отделочных панелей для отделки внутренних помещений и многие виды другой продукции. В зависимости от назначения продукции возможно склеивание холодным или горячим способом.

Химическая промышленность предлагает в настоящее время большое число клеевых материалов, которые уже используются или потенциально могут применяться в деревообрабатывающей промышленности. К сожалению, универсального клея, который мог бы работать при всех существующих технологиях одновременно, нет. У каждого клея имеются свои положительные или отрицательные особенности.

Натуральные клеевые материалы могут использоваться везде, однако за последние 20 лет от них почти полностью отказались из-за их дефицита и изменений технологий, а также интенсификации процессов склеивания. Наряду со многими технологическими параметрами важной составляющей процесса склеивания является время выдержки в прессе в сжатом состоянии. Это важный показатель, который во многом может ускорить или увеличить время изготовления изделий или сборочных единиц продукции.

Применение склеивания дает возможность не только снижать материалоемкость изготавливаемой продукции и более полно использовать низкосортные пиломатериалы и отходы. Оно позволяет повысить формоустойчивость, жесткость и прочность изделий, легче придавать им требуемую форму, уменьшать или устранять анизотропию прочностных и упругих свойств, повышать био- и химическую стойкость и т.д.

Благодаря склеиванию можно также получать из тонких пиломатериалов и шпона детали крупных сечений. За счет меньшего расхода сырья, используемого для изготовления клеевых деталей, себестоимость их, как правило, ниже, чем у деталей из цельной древесины. Процессы склеивания применяются при изготовлении мебели, щитового паркета и паркетных досок, клеевые несущие и ограждающие конструкции (балки, арки, фермы, щиты), переводные и мостовые брусья, шпалы, дверные и оконные блоки, сборные жилые дома и т.д.

При склеивании деталей из древесины применяют холодные и горячие способы склеивания. Горячие способы склеивания могут приводить к последующему короблению соединяемых деталей за счет возникающих при нагреве древесины внутренних напряжений.

Холодные способы склеивания не вызывают коробления склеенного пакета, но продолжительность выдержки пакета под давлением в прессовом оборудовании в несколько раз возрастает за счет более длительного времени отверждения клеев холодного отверждения по сравнению с клеями горячего способа склеивания.

В связи с этим решение вопроса ускорения процесса склеивания древесины холодным способом представляется весьма актуальным и важным для деревообрабатывающей промышленности страны. Проанализировав различные технологии склеивания и материалы, используемые для этих целей, нами было предложено техническое решение по уменьшению длительности прессования.

Техническое решение осуществляется следующим образом.

На поверхность одной из соединяемых деталей с помощью клеевых вальцов наносят клей, включающий связующее и отвердитель в оптимальных пропорциях, то есть пропорциях, обеспечивающих полное химическое взаимодей-

ствие компонентов клея и его отверждение. Например, такими компонентами могут быть смола КМФТ 100 м.ч. и 5 % раствор щавелевой кислоты 15 м.ч.

Между клеевыми вальцам и прессом устанавливают подогреваемую емкость с капельницами, из которых по заданной программе на клеевую поверхность детали каплями наносят нагретый раствор специального отвердителя. Рекомендуемая температура нагрева 60...80 °С. Соединяемые детали совмещают, подвергают прессованию с давлением 0,2...0,8 МПа в течение 1...3 мин. После чего давление снимают, а детали вынимают из пресса и подвергают технологической выдержке в стопах до полного отверждения клеевого слоя.

Отметим, что в период технологической выдержки в стопах усилие сжатия деталей, достигнутое при прессовании, сохраняется за счет сил сцепления, возникших в отвержденных в период нахождения в прессе участках клеевой поверхности, обработанной каплями специального отвердителя. Для подтверждения осуществимости предлагаемого технического решения были проведены эксперименты, результаты которых сведены в таблицу.

Таблица 1 – Результаты проведенных исследований

№ опыта	S	t	t <sub>1</sub>	P	T	P <sub>p</sub>
1	2	40	20	0,3	1	0,32
2	5	40	20	0,3	1	0,60
3	7	40	20	0,3	1	0,65
4	10	40	20	0,3	1	0,72
5	13	40	20	0,3	1	0,38
6	—	—	20	0,3	1	0,015
7	—	—	20	0,3	30	0,45

Обозначения, принятые в таблице:

S – площадь клеевой поверхности, обработанная специальным отвердителем, %;

t – температура отвердителя, °С;

t<sub>1</sub> – температура клея, включающего связующее и отвердитель в оптимальных пропорциях, °С;

P – давление при склеивании, МПа;

T – продолжительность выдержки деталей под давлением, мин;

P<sub>p</sub> – величина разрушающего давления (усредненные данные) при отрыве склеенных деталей, МПа.

В экспериментах 1-5 получены показатели испытаний образцов с формированием клеевого слоя по предлагаемому техническому решению, на отрыв.

В экспериментах 6-7 получены показатели испытаний на отрыв образцов, склеенных с формированием клеевого слоя по технологии, применяемой в настоящее время на производстве.

Анализ экспериментальных данных, приведенных в таблице, позволяет заключить:

– в эксперименте 1 недостаточная величина площади участков, скрепляющих соединяемые поверхности (S = 2 % – площадь, обработанная специальным



отвердителем) при прессовании, не обеспечивает нормативной прочности склеивания ( $P_p = 0,32$  МПа, что меньше нормативной величины  $[P_p] = 0,6$  МПа);

– в экспериментах 2-4 заданная прочность обеспечивается ( $P_p = 0,6 \dots 0,72$  МПа);

– эксперимент 5 показывает, что излишнее количество специального отвердителя (его размещение на площади, превышающей значение  $S = 10$  %) снижает прочность клеевого соединения ( $P_p = 0,38$  МПа);

– эксперименты 6-7 показывают, что при формировании клеевого слоя по технологии, применяемой в настоящее время на производстве, выдержки под давлением  $P = 0,3$  МПа в течение времени  $T = 1 \dots 30$  мин недостаточно для получения прочного соединения ( $P_p = 0,015 \dots 0,45$  МПа).

### **Вывод**

Предлагаемое техническое решение позволяет значительно, в десятки раз, сократить продолжительность прессования при склеивании древесины и, как следствие, повысить производительность прессового оборудования. Областью применения предлагаемого технического решения являются производства слоистых столярных плит, строительного клееного бруса, мебельных заготовок, деталей дверных и оконных блоков.

УДК 674.816.3

## **Структура и свойства фенолоформальдегидных смол, модифицированных фурфурол-ацетоновым мономером, применительно к производству плитных древесных материалов**

**С.А. Узрюмов**

*Поволжский государственный технологический университет*

*Приведена сравнительная оценка термодинамических и технологических свойств фенолоформальдегидного олигомера, модифицированного фурфурол-ацетоновым мономером ФА. Установлено, что модифицирование фенолоформальдегидного олигомера позволяет уменьшить поверхностное натяжение, время желатинизации, повысить реакционную способность, улучшить распределение по поверхности древесных частиц, что позволяет более эффективно использовать его в производстве древесных плит.*

Современное производство древесных композитов активно развивается в последние десятилетия. Российское и мировое производство и потребление плитных древесных материалов возрастают с каждым годом, в связи с постоянно возрастающими потребностями в данных материалах, прежде всего со стороны строительной сферы и мебельной промышленности [1]. По данным Росстата в целом в последние годы, несмотря на нестабильную экономическую

ситуацию и кризисы, объемы производства всех видов древесноплитных материалов возрастают. По оценкам и российских и зарубежных аналитиков прогноз развития рынка плитных материалов на среднесрочный период до 2020 года положительный.

Плитные древесные композиционные материалы обладают множеством преимуществ перед древесиной и иными древесными материалами – относительно малая стоимость, однородность материала и отсутствие анизотропии по формату, легкость в обработке, широкая область применения и др. Особое значение имеет возможность комплексного и рационального использования древесины, переработки образующихся древесных отходов, регулирования свойств в зависимости от требований потребителей. Однако древесные плиты изготавливаются с применением синтетических смол, в связи с чем, обладают рядом недостатков, прежде всего, токсичностью за счет присутствия свободных веществ, непрореагировавших в ходе отверждения смол.

Последней редакцией ГОСТ на древесные плиты от 2014 г. нормируются относительно невысокие прочностные показатели. Для большинства мебельных и строительных изделий прочность массово выпускаемых древесных плит является достаточной, но для ответственных элементов, воспринимающих повышенные нагрузки при эксплуатации, требуются плиты повышенной прочности. Кроме этого, к недостаткам относятся относительно низкая способность плит удерживать крепежную фурнитуру, высокая влаговпитывающая способность, которая приводит к нежелательному набуханию материалов во время их использования в переменных температурно-влажностных условиях и нарушению целостности конструкций.

Известны различные направления повышения эксплуатационных свойств древесных плит, основанные на регулировании свойств древесного наполнителя и клеевых составов, изменении технологических режимов изготовления, введении упрочняющих элементов, водоотталкивающих составов и другие. Наибольшее влияние на конечные свойства древесных плит оказывают свойства применяемого связующего [2-4]. Использование альтернативных водостойких клеев с повышенными адгезионными свойствами или модификация основного связующего более стойкими и реакционно-способными клеями – основной путь повышения эксплуатационных свойств древесных композитов.

В качестве основного связующего или модификатора смол могут эффективно использоваться олигомеры фуранового ряда [5]. Основной компонент фурановых олигомеров – фурфурол, который можно получать из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки, составляющих от 30 % до 45 % объема перерабатываемой древесины [6]. Поэтому производство фурфурола, смол на его основе и древесных композиционных материалов позволит не только получать востребованную продукцию с высокими эксплуатационными характеристиками, но и обеспечит повышение комплексности использования древесного сырья.

Основным представителем фурановых олигомеров, достаточно широко применяемых в определенных отраслях промышленности, является фурфурол-ацетоновый мономер ФА, получаемый при синтезе фурфурола и ацетона. В от-

вержденном состоянии он обладает повышенной водостойкостью и прочностью, химической стойкостью. Данный продукт хорошо совмещается с фенолоформальдегидными смолами. Экспериментальные данные показывают, что поверхностное натяжение и краевой угол смачивания несколько снижаются при увеличении доли добавки мономера ФА, что способствует повышению смачиваемости, равномерности распределения клея по древесным частицам в структуре древесных композиционных материалов (рис. 1).

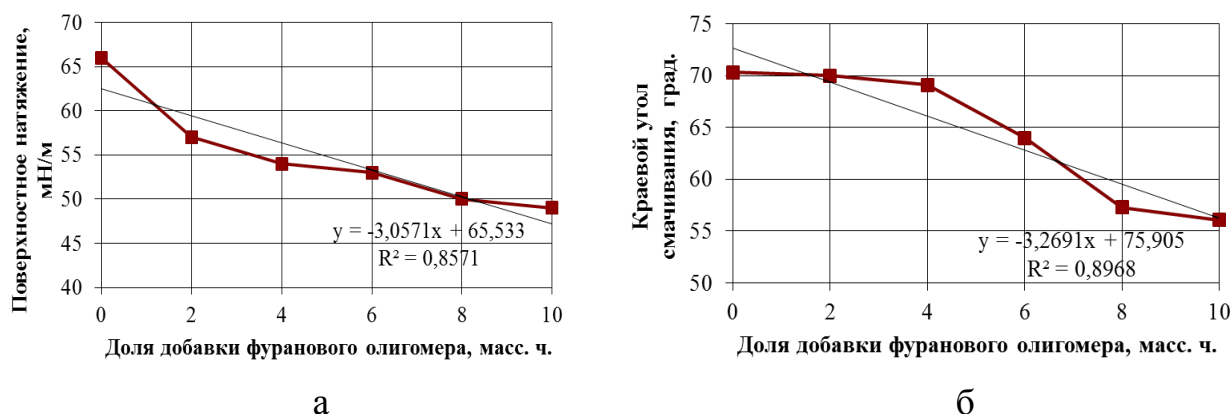


Рис. 1. Влияние доли добавки фуранового олигомера: а – на поверхностное натяжение клеевых составов; б – на краевой угол смачивания

Кислотность клеевых составов при модификации несколько снижается, поэтому, несмотря на снижение величины поверхностного натяжения, вязкость модифицированных клеевых составов возрастает за счет начальных процессов желатинизации в процессе взаимодействия кислого фурфуrolацетона мономера с щелочным фенолоформальдегидным олигомером.

С увеличением доли добавки фуранового олигомера время желатинизации модифицированных клеевых составов снижается. Поэтому при их использовании имеется технологическая возможность уменьшения времени термопьеzo-обработки при производстве клеевых древесных материалов или снижения температуры прессования, что может привести к повышению производительности работы основного оборудования и снижению производственных затрат.

Для обоснования повышения реакционной способности модифицированных клеев было проведено исследование кинетики отверждения исходных компонентов (фенолоформальдегидной смолы, фурфуrolацетона мономера ФА), а также модифицированной смолы (рис. 2) методом дифференциальной сканирующей калориметрии, позволяющего охарактеризовать протекание химических реакций получения и деструкции полимерных материалов, прежде всего, по параметрам тепловых эффектов.

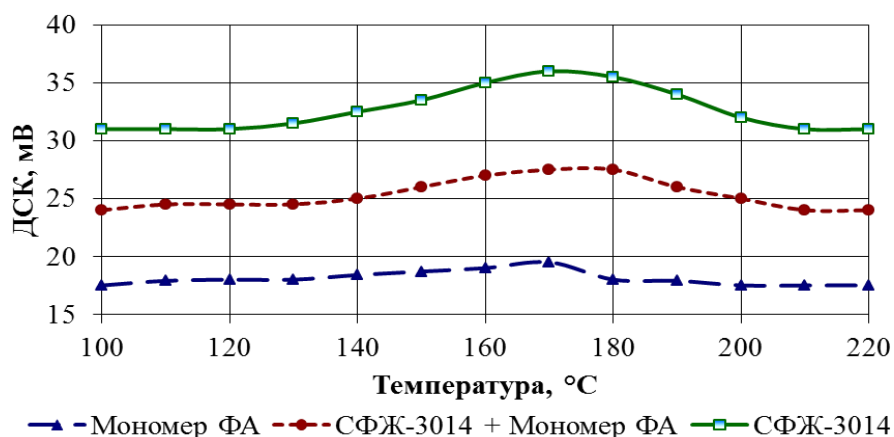


Рис. 2. Кривые ДСК отверждения смол при поликонденсации

Исходная фенолоформальдегидная смола при нагревании имеет максимальный тепловой эффект. Меньший тепловой эффект имеет модифицированная фенолоформальдегидная смола и клеевой состав на основе фурфурол-ацетонового мономера ФА. Таким образом, введение добавки мономера ФА к основной смоле способствует увеличению скорости реакции.

Для исследуемых смол были сняты их ИК-спектры (рис. 3).

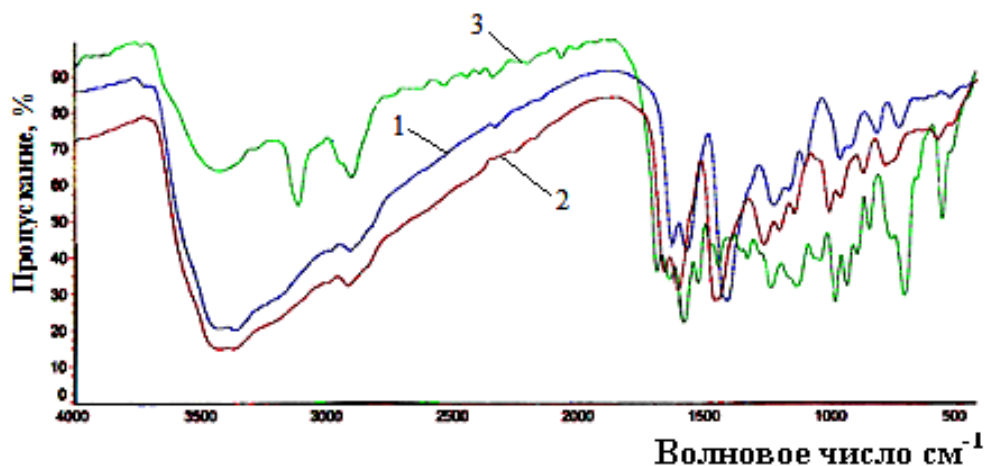


Рис. 3. ИК - спектры смол: 1 — фенолоформальдегидная смола; 2 — фенолоформальдегидная смола, модифицированная фурфурол-ацетоновым мономером; 3 — клеевой состав на основе фурфурол-ацетонового мономера

Анализ спектрограмм показал, что модифицирование фенолоформальдегидного олигомера приводит к изменениям в структуре связующего. В области спектра больших волновых чисел ( $3300...3500\text{ см}^{-1}$ ) происходит смещение максимума в сторону большего значения волнового числа, характеризующего орто-пара-связи, образованные с участием фенольных структур в составе макромолекул. Смещение максимума соответствует увеличению энергии связи молекул.

Наряду с этим, имеет место некоторое смещение максимумов в области малых волновых чисел ( $500...1100\text{ см}^{-1}$ ), характеризующих образование орто-

орто-связи с участием фенольных структур. Это смещение, по-видимому, обусловлено перераспределением ОН-групп и увеличением внутримолекулярных связей, что приводит к увеличению молекулярной массы полимера.

Таким образом, модификация фенолоформальдегидного олигомера фурфуролацетоновым мономером способствует повышению прочности химических связей в макромолекулах связующего, на основе которого возможно изготовление древесно-полимерных материалов с повышенными физико-механическими свойствами.

#### Литература:

1. Шалашов, А. П., Поблагуева Т. М. Состояние и перспективы развития производства древесных плит в России // Состояние и перспективы развития производства древесных плит: сборник докл. 19-й международной науч.-практ. конф. – Балабаново: ВНИИДРЕВ, 2016. – С. 3-14.
2. Кондратьев В. П., Кондращенко В. И. Синтетические клеи для древесных материалов. – М.: Научный мир, 2004. – 520 с.
3. Малышева Г.В. Прогнозирование ресурса клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии, 2013. – № 8. – С. 31-34.
4. Малышева Г.В. Физическая химия адгезивных материалов // Материаловедение, 2005. – № 3. – С. 9-14.
5. Угрюмов, С.А. Фурановые смолы в производстве клееных древесных материалов: монография. – Кострома: КГТУ, 2012. – 142 с.
6. Шкут В.М. Получение фурфурола из древесины лиственных пород с применением солевых катализаторов: дисс. канд. техн. наук. – Минск: МХТИ, 1984. – 221 с.

УДК 674.06

### **Применение побочных продуктов сульфатно-целлюлозного производства для склеивания фанеры**

*Д.С. Русаков, А.А. Пивоварова, М.А. Благодарная*

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

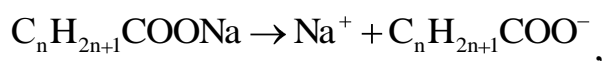
*Введением в смолу СФЖ-3013 относительно дешёвого продукта целлюлозно-бумажного производства – пектола, достигли сокращения продолжительности отверждения клея без потери прочностных характеристик.*

Фенолоформальдегидные смолы (ФФС) применяют в производстве фанеры и другой клеёной продукции, эксплуатируемой в условиях повышенной влажности. Их модифицируют, когда необходимо ускорить процесс склеива-

ния, повысить прочность и надежность склеивания. В связи с этим, одной из актуальных задач отрасли является поиск новых модификаторов для смол.

Улучшение свойств ФФС можно достичь путем их модифицирования побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства. К ним относятся талловое масло, талловые жирные кислоты, талловая канифоль, пек, пековый клей, лигнин, скипидар и др. [1-3]. В качестве модификатора для ФФС был выбран пектол, входящий в состав отходов целлюлозно-бумажного производства. Пектол представляет собой раствор пека в легком талловом масле в соотношении 2:1 и содержит смоляные и жирные кислоты (изопимаровая, олеиновая, линоленовая), которые вступают в реакцию этерификации с формальдегидом с образованием сложных эфиров. Моно- и диметилолфенолы, входящие в состав продуктов конденсации ФФС, также вступают в реакцию этерификации и присоединения с кислотами по двойным связям с формальдегидом с образованием многоядерных щелочных полимеров.

Омыленные жирные кислоты  $C_nH_{2n+1}COONa$ , входящие в состав омыленного таллового пека, характеризуются высокой поверхностной активностью и диссоциируют с образованием агрегатов (мицелл) по схеме:



Ионогенные, полярные группировки ( $COO^-$ ) обращены наружу, а углеводородная часть ( $C_nH_{2n+1}$ ) направлена внутрь мицеллы (рис.1). Ускорение процесса отверждения фенолоформальдегидных смол возможно за счёт замещения гидроксильных групп фенолоформальдегидной смолы на катионы натрия мицеллы омыленного таллового пека с повышением щелочной среды клея. Мицеллы встраиваются в молекулу полимера фенолоформальдегидной смолы, образуя пространственно-разветвлённую структуру, что ведёт к образованию щелочного полимера с новым комплексом свойств, обеспечивающих ускорение процесса отверждения клея и повышение прочности склеивания.

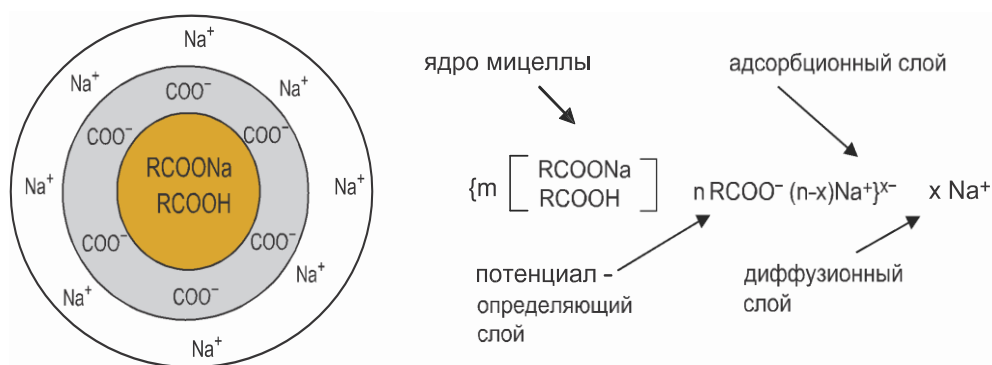


Рис. 1. Структура мицеллы омыленного таллового пека:  $n$  – число потенциалопределяющих ионов;  $x$  – число противоионов в диффузной части слоя;  $m$  – количество молекул ( $RCOONa$ ,  $RCOOH$ ) содержащихся в агрегате мицеллы.

Для повышения прочности готовой продукции был проведен многофакторный эксперимент склеивания соснового шпона толщиной 2,0 и 2,2 мм на

модифицированной пектолом фенолоформальдегидной смоле СФЖ-3013. Обоснованию подлежали содержание пектола в смоле, продолжительность и температура прессования. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 20907 и ГОСТ 9624. Исследования проводили по известным методикам [4, 5]. Определению подлежали: прочность клеевого соединения при статическом изгибе ( $\sigma_{изг}$ , МПа) и при скалывании по клеевому слою ( $\sigma_{ск}$ , МПа).

Зависимость прочности готовой фанеры от содержания пектола в смоле, продолжительности и температуры прессования описывается уравнениями регрессии (1, 2).

Уравнение математической модели представляет собой квадратичную функцию трех переменных:

$$\sigma_{изг} = 74,78 + 1,231n + 1,478t - 0,125T - 0,1204n^2 - 0,727t^2 - 0,607nt \quad (1)$$

$$\sigma_{ск} = 1,29 - 0,016n + 0,011t - 0,003T + 0,013n^2 + 0,049t^2 + 0,018nt - 0,001nT - 0,004tT \quad (2)$$

$$\text{при } 5\% \leq n \leq 15\%; 6,5 \text{ мин} \leq t \leq 8,5 \text{ мин}; 108^\circ\text{C} \leq T \leq 122^\circ\text{C}$$

где  $n$  – содержание пектола в смоле, %;  $t$  – продолжительность прессования, мин;  $T$  – температура прессования,  $^\circ\text{C}$ .

Полученные уравнения регрессии, связывающие прочность клеевого соединения с влияющими факторами, позволяют определить рациональные режимы склеивания шпона модифицированным пектолом клеем на основе смолы СФЖ - 3013.

Программа PlanExp по обработке трехфакторного эксперимента В-D13 оснащена дополнительными функциями загрузки/сохранения данных, а также функцией экспорта результатов расчетов в математический пакет Microsoft Excel, где можно построить поверхность отклика в трехмерной системе координат (рис. 2).

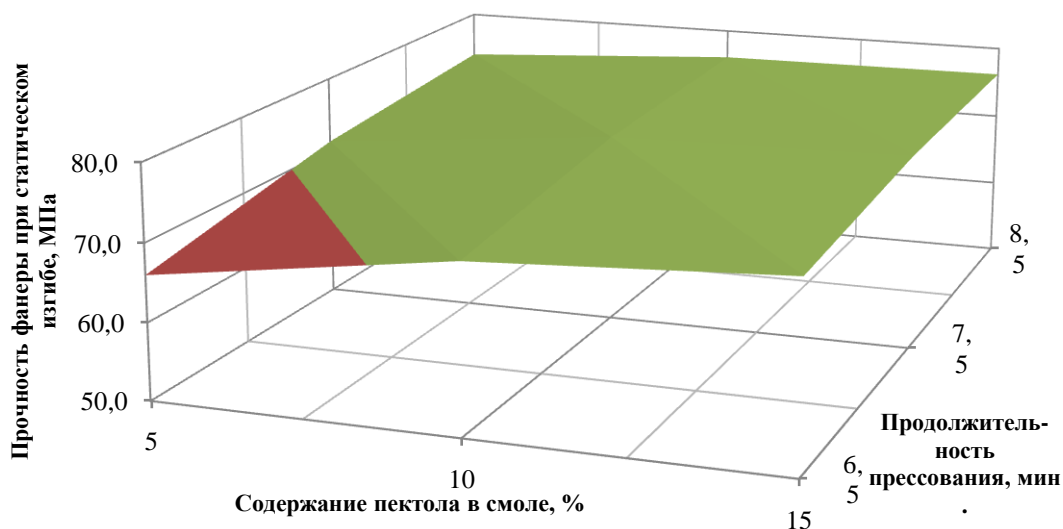


Рис. 2. Зависимость прочности фанеры при статическом изгибе от содержания пектола в смоле и продолжительности прессования

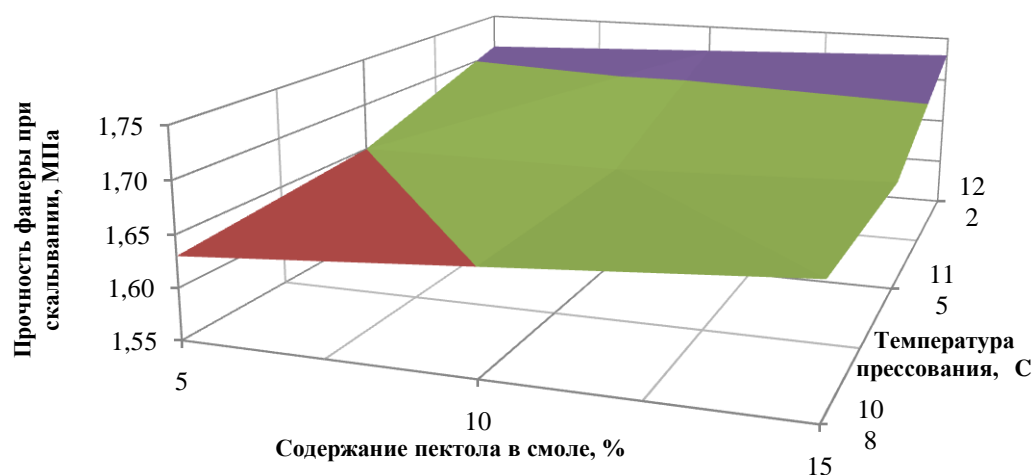


Рис. 3. Зависимость прочности фанеры при скалывании вдоль волокон от содержания пектола в смоле и температуры прессования

Эксперименты показали, что пектол, при введении в смолу 10 % от ее массы, уменьшает продолжительность процесса склеивания.

Графическая интерпретация зависимости продолжительности прессования фанеры от содержания пектола в смоле приведена на рис. 4.

Зависимость продолжительности прессования фанеры от содержания пектола в смоле описывается уравнением регрессии (3):

$$\tau = -0,2n + 9,5 \quad (3)$$

$$\text{при } 5\% \leq n \leq 15\%$$

где  $\tau$  – продолжительность прессования фанеры, мин;  $n$  – содержание пектола в смоле, %.

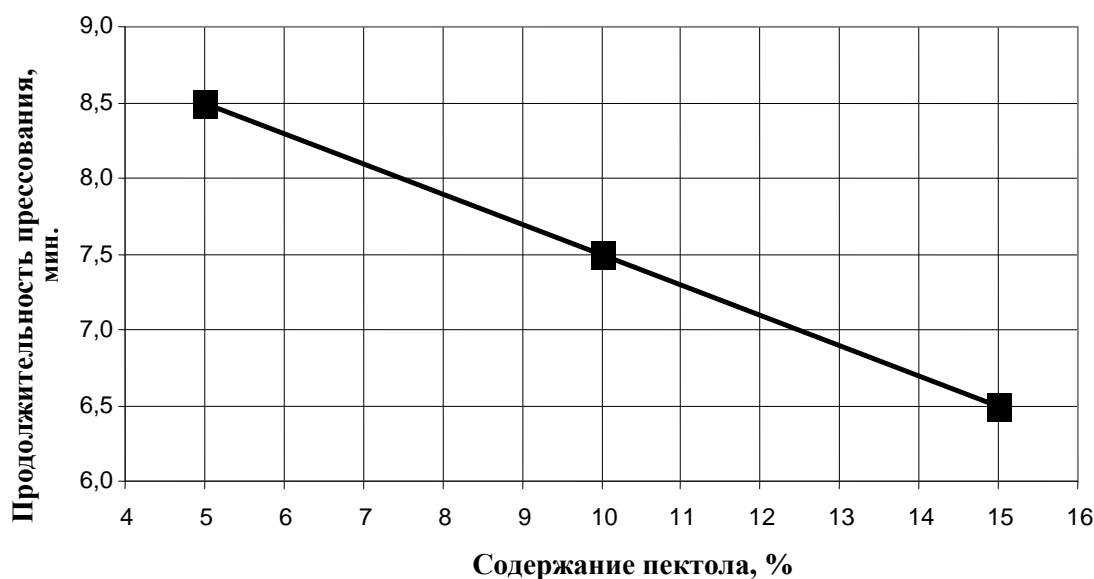


Рис. 4. Зависимость продолжительности прессования фанеры от содержания пектола в смоле

Анализируя результаты исследования (рис. 4) можно сделать вывод, что с введением пектола в ФФС марки СФЖ-3013 увеличивается прочность и ско-



рость процесса отверждения клея. Мицеллы встраиваются в молекулу полимера, образуя пространственно-разветвленную структуру, что ведет к образованию щелочного полимера с новым комплексом свойств, обеспечивающих ускорение процесса отверждения клея и повышение прочности склеивания.

### **Вывод**

Введение в клеящие составы на основе фенолоформальдегидной смолы СФЖ-3013 побочного продукта – пектола позволяет не только улучшить прочностные свойства клея, сократить время отверждения и снизить себестоимость готовой продукции, но и утилизировать отходы отрасли, тем самым, в некоторой степени разрешая актуальные задачи в области экологии.

### **Литература:**

1. Богомолов Б.Д., Соколова А.А. Переработка сульфатного и сульфитного щелоков. – М., 1989 – 360 с.
2. Варанкина Г. С. Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов / Г. С. Варанкина. А. Н. Чубинский. – СПб.: Химиздат, 2014. – 148 с.
3. Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства. Известия Санкт-Петербургского лесотехнического университета: Вып. 204. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – С. 130-137.
4. Чубинский А. Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: СПбГУ, 1992 – 164 с.
5. Чубинский А.Н., Сергеевичев В.В. Моделирование процессов склеивания древесных материалов. – СПб.: Издательский дом Герда, 2007. – 176 с.

УДК 674.815-41

## **Изменение качества поверхности древесностружечных плит в зависимости от влажности микростружки**

***С.З. Хоссейни, В.В. Васильев***

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

*Увеличение влажности микростружки наружных слоев древесностружечных плит от 1 до 10 % приводит к повышению пластичности стружечно-клеевой смеси, что выражается в росте плотности поверхностных слоев ДСП. В результате сокращается впитываемость толуола и воды поверхностью подложки, увеличивается прочность при статическом изгибе и при нормальном отрыве наружного слоя, снижается кислотность поверхности, улучшается смачиваемость плиты водным раствором пленкообразователя, увеличивается работа адгезии пленкообразователя к подложке.*

Древесностружечные плиты (ДСП), производимые в России, в основном применяются в мебельной промышленности и подвергаются отделке. Для обла-

гораживания поверхности плит используют преимущественно жидкие материалы: клеи, грунтовки, шпатлевки, краски или эмали. При нанесении их на поверхность плит происходит активное впитывание жидкости. Для сокращения расхода отделочных материалов целесообразно уменьшить впитываемость их древесной подложкой.

Поверхность ДСП представляет собой композицию из мелких древесных частиц и коры (микростружка), отвержденной синтетической смолы, влаги и воздуха. При впитывании жидкость заполняет внутренние полости поверхности. Их объем зависит от плотности поверхностного слоя, которая формируется в начальный период горячего прессования ДСП до посадки плит пресса на ограничители.

Традиционный состав стружечно-клеевой массы наружных слоев ДСП: микростружка влажностью 1...2 %; карбамидоформальдегидная смола (КФС) концентрацией 55...65 % – 7...14 мас. частей по сухому веществу от массы абс. сухой древесины и раствор отвердителя концентрацией 20 % – 0,5...0,8 масс. частей по сухому веществу от массы абс. сухой КФС. При таком соотношении компонентов влажность материала находится в интервале от 4,3 до 12,9 %. Влажность осмоленной стружки наружных слоев обычно поддерживают на уровне 8...13 %. Это связано с тем, что сухие древесные частицы имеют невысокую пластичность, при горячем прессовании образуются рыхлые поверхности плит.

Значительное увеличение пластичности древесины происходит при повышении ее влажности от 12 % до предела насыщения клеточных стенок влагой ( $W = 30$  %) в результате снижения прочности древесины при сжатии поперек волокон. Так, прочность осины, ольхи и сосны в радиальном и тангенциальном направлениях снижается в 1,6...2,5 раза [1].

Исследовали влияние влажности стружки наружного слоя на свойства поверхностных слоев ДСП. Для наружных слоев трехслойных плит использовали промышленную микростружку фракции 2/0 мм. Влажность микростружки изменяли в диапазоне от 1 до 10 %. Для получения необходимой влажности микростружку сушили или выдерживали в полиэтиленовых мешках с добавлением рассчитанного количества воды, затем определяли влажность. При влажности микростружки 1,1 % влажность стружечно-клеевой массы составила 11,3 %, далее соответственно: микростружка 3,0 % масса 13,0 %; микростружка 5,2 % масса 14,9 %; микростружка 9,8 % масса 18,9 %.

Расчетная плотность плит  $650 \text{ кг/м}^3$ . Для внутреннего слоя плит брали лабораторную березовую стружку влажностью 2...3 %. Доля наружных слоев 30 % от массы плиты. Связующее готовили на основе КФС марки КФ МТ-15. Содержание абс. сух. смолы от массы абс. сух. древесины: в наружных слоях – 14 %, во внутреннем слое – 9 %, концентрация рабочего раствора смолы 55 %. В качестве отвердителя использовали 20 %-й раствор хлорида аммония в количестве 0,6 % (наружный слой) и 2,0 % (внутренний слой) от массы абс. сух. КФС. Горячее прессование ДСП толщиной 16 мм размером  $400 \times 400$  мм проводили при температуре  $220^\circ\text{C}$ , удельном времени прессования 0,18 мин/мм. После го-

рячего прессования плиты выдерживали в комнатных условиях в течение 3 суток, шлифовали вручную шкуркой Р80 и подвергали испытаниям.

Физико-механические свойства ДСП определяли по действующим ГОСТ России. Поверхностное впитывание определяли с использованием двух жидкостей: толуола и воды. Методика определения впитываемости толуола регламентирована европейским стандартом EN 382-1 для MDF [2]. В соответствии с ним на плиту, расположенную под углом  $60^\circ$ , наносят  $1 \text{ см}^3$  толуола и определяют длину трассы его стекания. Чем длиннее трасса, тем меньше впитываемость.

Поглощение воды поверхностью ДСП проводили по предложенной нами методике [3] на круглых образцах диаметром 35 мм. Торцы образца гидроизолировали с помощью скотча и резиновой прокладки, располагали образец горизонтально, наливали на него  $10 \text{ см}^3$  дистиллированной воды, через час удаляли остатки воды и измеряли толщину и массу образца. По полученным данным рассчитывали разбухание по толщине, впитываемость и среднюю скорость впитывания воды. Расчетные формулы приведены в [3].

Профили плотности ДСП по толщине определяли на приборе DPX300-LTE (лабораторный измеритель плотности) фирмы IMAL (Италия). В приборе устанавливали вертикально образцы размером  $50 \times 50 \text{ мм}$ , через торцы образцов пропускали радиоактивное излучение от перемещающегося с постоянной скоростью источника излучения. Плотность слоя плиты определяли с помощью датчика по потере силы излучения. Точность определения плотности  $0,1 \text{ кг/м}^3$  на отрезке  $0,01 \text{ мм}$ . Распределение плотности по толщине плиты определяли как среднее по 2...4 профилограммам.

По профилограммам определяли следующие показатели: плотность плиты,  $\text{кг/м}^3$ ; минимальную и максимальную плотности краевых зон плиты,  $\text{кг/м}^3$ ; плотность краевой зоны,  $\text{кг/м}^3$ , как среднее между минимальной и максимальной плотностями краевых зон плиты. Также находили толщину краевой зоны плиты, мкм, как расстояние от поверхности плиты до точки максимальной плотности краевой зоны.

Для нахождения кислотности поверхностного слоя плит с них срезали 15 г стружки на глубину не более 2 мм, заливали их  $200 \text{ см}^3$  дистиллированной воды, кипятили с обратным холодильником в течение 30 мин., охлаждали до комнатной температуры и определяли величину pH [4].

По величине краевого угла оценивали смачивающую способность пленкообразователя, в качестве которого использовали водный раствор КФС концентрацией 55 %. Объем капли смолы  $0,03 \text{ см}^3$ . Через 2 мин. после нанесения смолы на поверхность плиты измеряли диаметры капли с помощью микроскопа стереоскопического МБС-2 и высоту капли с помощью катетометра R FUESS (Германия). Расчет тангенса краевого угла смачивания производили по формуле:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{4dh}{(d^2 - 4h^2)}, \quad (1)$$

где  $\theta$  – краевой угол смачивания, град.;  $d$  – диаметр капли, мм;  $h$  – высота капли, мм.

Значение работы адгезии для поверхности раздела подложка - пленкообразователь рассчитывали по формуле:

$$W_a = \sigma_{жсв} \cdot (1 + \cos \theta) \quad (2),$$

где  $\sigma_{жсв}$ , мН/м – поверхностное натяжение КФС концентрацией 55 % на границе с воздухом.

Значение  $\sigma_{жсв}$  определяли по высоте подъема смолы в вискозиметре типа ВПЖ-3 с диаметром капилляра 0,56 мм по формуле:

$$\sigma_{жсв} = \frac{r \cdot \rho_{см} \cdot h \cdot g}{2 \cdot \cos \theta_{см}} \quad (3)$$

где  $r$  – радиус капилляра, м;  $\rho_{см}$  – плотность смолы, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – высота поднятия жидкости в капилляре, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\theta_{см}$  – краевой угол смачивания раствора смолы на стеклянной поверхности.

Для расчета величины работы адгезии определили значение  $\theta_{см}$ , которое равно 11° 02', и поверхностное натяжение КФС концентрацией 55 % на границе раздела жидкость – воздух ( $\sigma_{жсв}$ ), равное 89,0 мН/м.

Свойства плит приведены в таблицах и на рисунках. Они показывают (табл. 1), что с ростом влажности стружек наружного слоя ДСП увеличивается прочность при изгибе и при нормальном отрыве наружного слоя, водостойкость плит повышается. Одновременно с этим наблюдается снижение прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты.

Таблица 1 – Свойства ДСП из микростружки наружных слоев разной влажности

Показатели	Влажность стружки, %			
	1,1	3,0	5,2	9,8
Прочность при изгибе, МПа	19,8	20,6	20,9	21,4
Прочность при растяжении, МПа	0,24	0,22	0,21	0,19
Прочность при отрыве наружного слоя, МПа	0,32	0,34	0,39	0,43
Разбухание по толщине за 24 ч., %	32,0	31,2	30,3	27,1
рН наружного слоя	5,94	6,17	6,28	6,43
Впитываемость воды поверхностью плиты за 1 час, кг/м <sup>2</sup>	8,06	7,72	6,89	6,22
Разбухание по толщине за 1 час, %	23,0	18,3	18,1	16,7
Краевой угол смачивания КФС, град.	89° 57'	87° 23'	86° 41'	86° 00'
Работа адгезии, мДж/м <sup>2</sup>	91,2	94,8	96,1	96,7

Указанные изменения объясняются повышением плотности наружных слоев ДСП при увеличении влажности микростружки (рис. 2, табл. 2). Увеличиваются как минимальная, так и максимальная плотности краевой зоны плиты, и соответственно изменяется средняя плотность краевой зоны от 702 до 767  $\text{кг/м}^3$ .

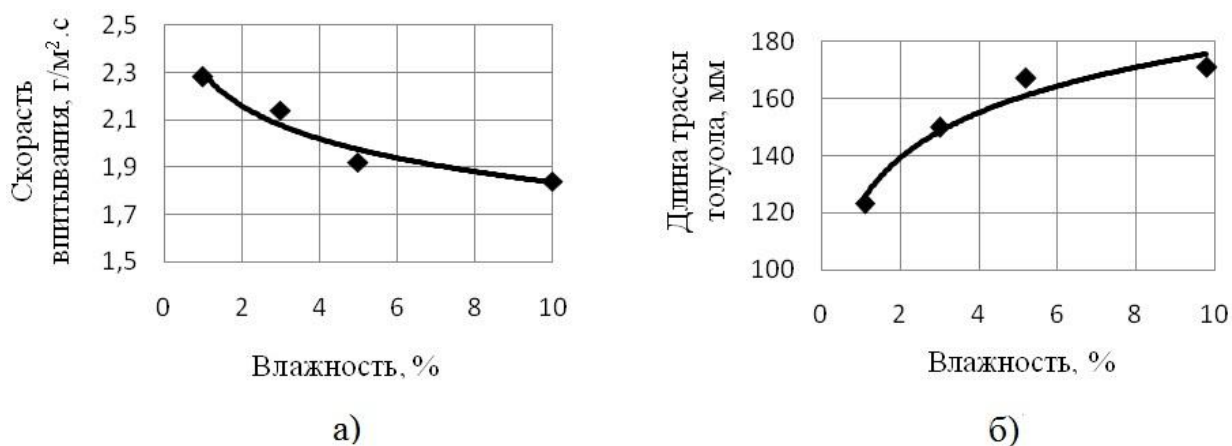


Рис. 1. Показатели впитываемости воды (а) и толуола (б) поверхностью ДСП, изготовленных из микростружки наружных слоев разной влажности

Для отделки наиболее важна плотность на поверхности плиты или минимальная плотность краевой зоны плиты, так как по поверхности плиты происходит контакт отделочной жидкости с подложкой. При увеличении влажности микростружки от 1,1 до 9,8 % минимальная плотность краевой зоны возрастает от 485 до 540  $\text{кг/м}^3$  (табл. 2). В результате уплотнения поверхности подложки скорость впитывания воды уменьшается в 1,3 раза, а длина трассы толуола увеличивается в 1,41 раза.

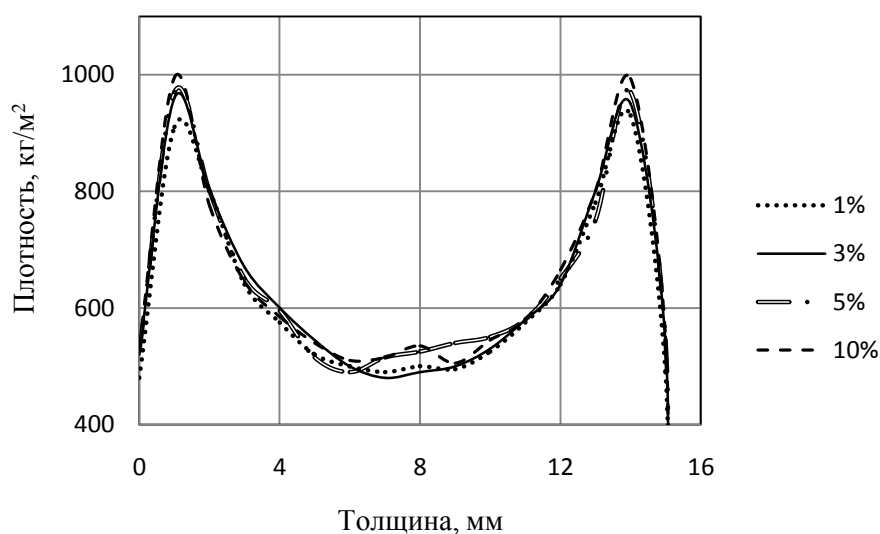


Рис. 2. Распределение плотности по толщине ДСП, изготовленных из микростружки наружных слоев разной влажности

Таблица 2 – Плотность плит и свойства краевых зон ДСП, изготовленных из микростружки наружных слоев разной влажности

Показатели	Влажность микростружки наружного слоя, %			
	1,1	3,0	5,2	9,8
Плотность плиты, кг/м <sup>3</sup>	648	652	654	655
Минимальная плотность краевой зоны плиты, кг/м <sup>3</sup>	485	530	535	540
Максимальная плотность краевой зоны плиты, кг/м <sup>3</sup>	920	955	970	994
Плотность краевой зоны плиты, кг/м <sup>3</sup>	702	742	752	767
Толщина краевой зоны плиты, мкм	121	94	89	78

Ранее нами было показано, что для эффективного снижения впитываемости жидкостей необходимо, чтобы плотность поверхностных слоев ДСП была более 500 кг/м<sup>3</sup>, то есть выше плотности древесины, используемой в качестве сырья для изготовления плит [5]. При плотности поверхностного слоя ДСП менее 500 кг/м<sup>3</sup> древесные частицы не прилегают плотно друг к другу, а образуют структуру с межстружечными зазорами, которые значительно больше капилляров древесины. В этом случае жидкость проходит внутрь плиты преимущественно по этим каналам, и скорость впитывания ее высока. При плотности поверхностного слоя более 500 кг/м<sup>3</sup> древесные частицы плотно прилегают друг к другу, начинается уплотнение самих древесных частиц. В этом случае впитывание жидкости осуществляется преимущественно по капиллярам древесины, соответственно замедляется процесс ее впитывания.

Увеличение влажности микростружки приводит к снижению кислотности поверхности ДСП (табл. 1). Вероятно, в присутствии дополнительной влаги улучшаются условия выхода органических и минеральных кислот из поверхностного слоя вместе с парогазовой смесью. При влажности микростружки 3 % и выше pH наружного слоя становится более 6,0, что рекомендуется специалистами для плит, предназначенных для отделки методом ламинирования [6].

С ростом влажности микростружки наблюдается улучшение смачиваемости подложки раствором смолы и увеличение работы ее адгезии к подложке (табл. 1).

Таким образом, увеличение влажности микростружки наружных слоев ДСП от 1 до 10 % приводит к повышению пластичности стружечно-клеевой смеси, что выражается в росте плотности поверхностных слоев плит и снижении толщины краевой зоны. В результате сокращается впитываемость толуола и воды поверхностью подложки, увеличивается прочность при статическом изгибе и при нормальном отрыве наружного слоя, снижается кислотность поверхности, улучшается смачиваемость плиты водным раствором

пленкообразователя, увеличивается работа адгезии пленкообразователя к подложке.

Для практического применения полученных закономерностей можно рекомендовать поддерживать влажность осмоленной стружечно-клеевой смеси наружных слоев ДСП на максимально возможном уровне. Этого можно достигнуть путем снижения концентрации применяемого раствора КФС, но в этом случае высока вероятность потери части смолы в результате ухода ее из клеевого шва по причине активного впитывания смолы древесными частицами. Более рационально производить увлажнение непосредственно микро-стружки путем напыления воды на поверхность ковра (паровой удар) или введением ее по отдельной линии в смеситель наружного слоя при использовании в качестве связующего КФС с высокой концентрацией.

#### Литература:

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М.: «Академия», 2004. – 272 с.
2. EN 382-1:1993. Fibreboards – Determination of surface absorption – Part 1: Test method for dry process fibreboards.
3. Васильев В.В., Сейдех Захра Хосейни. Оценка впитываемости жидкости поверхностью древесностружечных плит. Состояние и перспективы развития производства древесных плит: Сб. докл. 17-й Междунар. науч.-практ. конф., 19-20 марта 2014 г. – Балабаново: ЗАО «ВНИИДРЕВ», 2014. – С. 39–47.
4. Васильев В.В., Завражнов А.М., Кротова С.А. Влияние технологических факторов на кислотность древесностружечных плит. Плиты и фанера. Реферативная информация, 1976, № 12, С. 7-8.
5. Васильев В.В., Хоссейни С.З. Впитывание жидкостей поверхностью древесностружечных плит разной плотности. Древесные плиты: теория и практика: 18-я Междунар. науч.-практ. конф., 18-19 марта 2015 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 72-78.
6. Семенов А.А. Принципиальные показатели ДСтП, предназначенных для ламинирования. Древесные плиты: теория и практика: Второй науч.-практ. семинар. 17-18 марта 1999 г. СПб.: СПбЛТА, 1999. – С. 32-34.

УДК 674.815-41

### **Современные требования к древесным плитам для отделки**

***В.В. Васильев, С.З. Хоссейни***

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

*Проведен опрос специалистов по выявлению актуальных показателей древесных плит, влияющих на качество их отделки. На вопросы анкеты от-*

*ветили 26 человек. Эксперты имеют большой опыт: их средний стаж работы в отрасли 25,4 года. Исследовали 23 показателя древесностружечных плит и 21 показатель плит MDF. Эксперты установили, что в настоящее время высокоактуальными показателями являются «Плотность поверхностного слоя плиты», «Впитываемость жидкости поверхностным слоем плиты» и «Продолжительность выдержки плит перед отделкой», которые не отражены в нормативных документах.*

Основным потребителем древесных плит, производимых в России, является мебельная промышленность: до 90 % древесностружечных плит (ДСП) и до 60 % древесноволокнистых плит средней плотности (MDF или ПМВ в России) [1]. Естественно, показатели их качества должны соответствовать требованиям мебельного производства, и, в первую очередь, условиям отделки, поскольку практически все плиты применяются в отделанном виде.

Требования к качеству ДСП установлены в российских стандартах: ГОСТ 10632-2014 [2] на плиты типов P1, P2 и ГОСТ 32399-2013 [3] на плиты типов P3, P5 и P7. Требования к качеству ПМВ установлены в ГОСТ 32274-2013 [4]. Каждый из этих стандартов оперирует более 15 показателями, описывающими свойства плит. Большинство из них регламентирует показатели, важные для последующей отделки, однако перечень их и нормативы не менялись последние 20 лет.

В то же время в индустрии отделки плит идет непрерывное развитие. За последнее время лакокрасочные материалы на водной основе значительно потеснили материалы на органических растворителях, технология ламинирования перешла от пленок на базе бумаги массой 80...100 г/м<sup>2</sup> к пленкам на бумаге с массой 60 г/м<sup>2</sup>, активно внедряются технологии каширования, софт-форминга, пост-форминга и другие.

Актуальными задачами, стоящими перед мебельной промышленностью, является повышение качества отделки и снижение расхода отделочных материалов. Решение их в значительной степени зависит от свойств древесных плит, поступающих на отделку.

Поскольку качество плит описывается несколькими десятками показателей, целесообразно выявить наиболее важные, оказывающие решающее влияние на процесс отделки. Для определения наиболее актуальных показателей древесных плит на качество их отделки провели социологический опрос специалистов отрасли древесных плит, которые участвовали в работе 18-й Международной научно-практической конференции «Древесные плиты: теория и практика». Она проходила 18-19 марта 2015 года в Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете. В опросе приняли участие 26 специалистов.

В табл. 1 приведены данные о профессиональном составе экспертов и стаж их работы в отрасли. Статистические данные показывают, что более 75 % участников опроса – это работники предприятий с высоким отраслевым стажем работы.



Исследование «Какие показатели древесных плит оказывают основное влияние на качество их отделки» проведено методом группового анкетного опроса [5]. Анкета содержала сведения об эксперте, в том числе стаж его работы в отрасли, и перечень показателей ДСП и MDF, которые могут оказать влияние на качество отделки плит. Показатели древесных плит, по которым производился опрос, отобраны на основании данных российских и европейских стандартов, а также по предложениям специалистов. Для древесностружечных плит в список включено 23 показателя, для MDF 21 показатель.

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	11	42,3	26,6
2	Работники на уровне цеха, смены, участка: начальник, зам. начальника, мастер, технолог, инженер	9	34,6	18,2
3	Работники ВУЗов, научно-исследовательских организаций	6	23,1	34,2
Итого		26	100,0	25,4

Эксперт, принимающий участие в опросе, должен был указать значимость показателя по 5-ти бальной системе: 1 балл – показатель неактуален; 2 балла – малоактуален; 3 балла – среднеактуален; 4 балла – повышенная актуальность; 5 баллов – показатель высокоактуален. В итоге находили средневзвешенный балл актуальности каждого показателя и по его величине выстраивали анализируемые показатели в ряд уровней значимости [6]. В табл. 2 приведены показатели древесных плит, имеющие средний балл 3,00 и выше, то есть относящиеся к высокоактуальным и повышенной актуальности.

Приведенные данные показывают, что анализируемые показатели древесных плит распределены экспертами в широком диапазоне оценок. Так, значимость показателей древесностружечных плит изменяется от 4,69 балла (1-й уровень) до 2,46 балла (последний 23-й уровень), а для плит MDF – от 4,93 (1-й уровень) до 2,29 (21-й уровень). Это говорит о том, что эксперты имеют достаточно глубокие представления о влиянии показателей плит на качество их отделки.

Четыре наиболее высокоактуальных показателя совпадают для плит ДСП и MDF. Это шероховатость поверхности пласти плиты, плотность поверхностного слоя плиты, впитываемость жидкости поверхностным слоем плиты и продолжительность выдержки плит перед отделкой.

Проблема шероховатости поверхности древесных плит в настоящее время технологически решена. По действующим нормативам древесностружечная плита, предназначенная для отделки, должна иметь шероховатость поверхности пласти  $R_m$  не более 40 мкм для плиты типа P1 и не более 32 мкм для плиты типа P2.

Таблица 2 – Распределение показателей древесных плит по влиянию на качество их отделки

Показатели древесных плит	Значимость показателя для ДСП		Значимость показателя для MDF	
	Балл	Уровень	Балл	Уровень
Шероховатость поверхности пласти	4,69	1	4,93	1
Плотность поверхностного слоя плиты	4,42	2	4,90	2
Впитываемость жидкости поверхностным слоем плиты	4,35	3	4,53	3
Продолжительность выдержки плит перед отделкой	4,30	4	4,12	4
Отдельные включения крупной стружки размером 10-15 мм на пласти плиты ДСП	4,24	5	-	-
Покоробленность	4,15	6	3,85	8
Удельное сопротивление нормальному отрыву наружного слоя	4,03	7	3,93	7
Отдельные включения частиц коры размером не более 3 мм на пласти ДСП	3,98	8	-	-
Предельное отклонение по толщине плиты не более $\pm 0,3$ мм	3,91	9	3,5	10
Предельное отклонение плотности в пределах плиты	3,85	10	4,04	5
Плотность плиты	3,66	11	4,03	6
Разбухание поверхностного слоя	3,63	12	3,60	9
pH наружного слоя	3,26	13	3,33	13
Твердость	3,15	14-15	3,36	11-12
Влажность	3,15	14-15	3,36	11-12
Упрессовка плиты при ламинировании	3,05	16	2,86	15
Водопоглощение всей плиты	2,92	17	3,00	14

Чтобы иметь такую гладкую микроструктурную поверхность наружные слои ДСП изготавливают из специальных мелких древесных частиц толщиной до 250 мкм, которые еще дополнительно фракционируют при формировании этих слоев, а затем готовую плиту шлифуют. MDF изготавливают из древесных волокон диаметром от 1 до 80 мкм и после прессования шлифуют. Это обеспечивает получение гладкой поверхности с шероховатостью пласти  $R_m$  в диапазоне 16...32 мкм. Определение шероховатости поверхности плит производится инструментально с помощью профилографов или профилографов-профилометров, которые выпускаются отечественной и зарубежной промышленностью.

От плотности поверхностного слоя плиты зависит расход жидких отделочных материалов и прочность закрепления их на подложке. Если поверхность плиты рыхлая, то для получения качественного покрытия необходимо значительно увеличить расход клея или лакокрасочного материала. В связи с этим эксперты не случайно отнесли этот показатель к наиболее актуальным.

Древесные плиты имеют различную плотность по толщине плиты. В процессе горячего прессования наружные слои плит находятся в зоне более высокой температуры, что способствует повышению их пластичности и увеличению плотности по сравнению с нижележащими слоями. У ковра ДСП пластичность наружных слоев дополнительно повышается за счет того, что они сформированы из более мелких древесных частиц и имеют более высокую влажность по сравнению со стружкой внутреннего слоя. Таким образом, плотность наружных слоев выше плотности внутреннего слоя.

Распределение плотности по толщине промышленных ДСП и MDF толщиной 16 мм представлено на рис. 1. Оно показывает, что плотность наружных слоев действительно выше плотности внутреннего слоя, однако максимумы плотности находятся не на поверхности плиты, а в глубине наружных слоев. Конкретные значения показателей приведены в табл. 3.

Разрыхление поверхностей плит происходит в начале технологического процесса прессования, пока не произошла упрессовка пакета до заданной толщины. В начальный период (загрузка пакета, смыкание плит пресса, подъем давления, посадка плит пресса на планки) на пакет действует высокая температура от плит пресса, в силу чего поверхностные слои подсыхают, а связующее начинает отверждаться. В результате пластичность массы снижается, и при достижении максимального давления поверхностные слои имеют более рыхлую структуру по сравнению с нижележащими слоями.

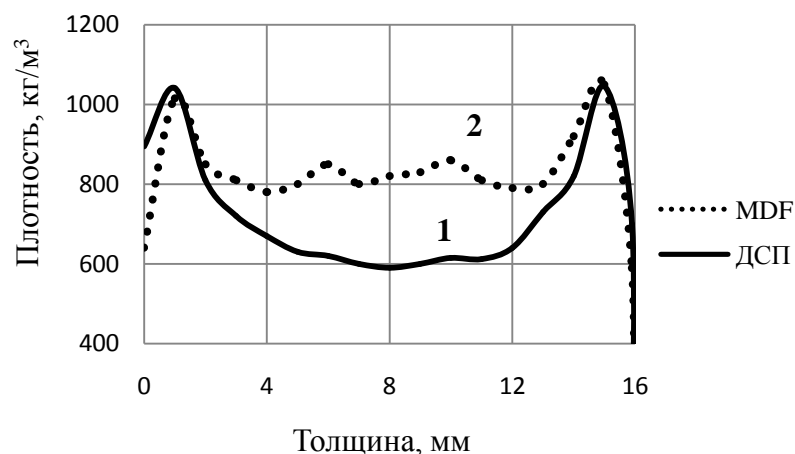


Рис. 1. Распределение плотности по толщине промышленных ДСП и MDF толщиной 16 мм. Вид плиты: 1 – ДСП; 2 – MDF.

Таблица 3 – Показатели плотности древесных плит

Показатели	Вид древесной плиты	
	ДСП	MDF
Средняя плотность плит, кг/м <sup>3</sup>	700	850
Средняя плотность поверхностного слоя плиты, кг/м <sup>3</sup>	798	657
Средняя максимальная плотность краевых зон плиты, кг/м <sup>3</sup>	1044	1033
Удаление зоны максимальной плотности краевых зон от поверхности плиты, мм	0,17	0,13

Поскольку отделка плит производится по этим разрыхленным поверхностям, то расход жидких отделочных материалов и прочность закрепления их на плите зависит от плотности поверхностного слоя подложки. В настоящее время показатель плотности поверхностных слоев древесных плит не регламентируется российскими ГОСТ. Определение профиля плотности древесных плит производят на импортных приборах, например, на лабораторном измерителе плотности DPX300-LTE фирмы IMAL (Италия). Прибор оснащен источником излучения (рентгеновская трубка) и приемником излучения (сцинтиллятор). Образцы плит любой толщины размером по пласти 50 × 50 мм устанавливают вертикально в специальной каретке, которая перемещается со скоростью 0,5 мм/с. Во время движения образца через его торец пропускают радиоактивное излучение. Плотность слоя плиты определяют с помощью датчика по потере силы излучения. Точность определения плотности 0,1 кг/м<sup>3</sup> на отрезке 0,01 мм.

Третий высокоактуальный показатель качества плит «Впитываемость жидкости поверхностным слоем плиты» тесно связан с предыдущим показателем плотности поверхностного слоя, так как при отделке жидкость, наносимая на пласт плиты, заполняет пустоты поверхности подложки. И, чем

ниже плотность поверхностного слоя, тем больше жидкого отделочного материала впитывается плитой. Не случайно при отделке MDF сначала наносят несколько слоев дешевой грунтовки, и только после образования на поверхности плиты твердой пленки наносят дорогие материалы лицевой отделки (лак, краску или эмаль).

Показатель впитываемости жидкости поверхностным слоем плиты не регламентируется российскими ГОСТами. В Европе этот показатель оценивается для MDF путем определения впитываемости толуола [7]. Схема проведения анализа представлена на рис. 2.

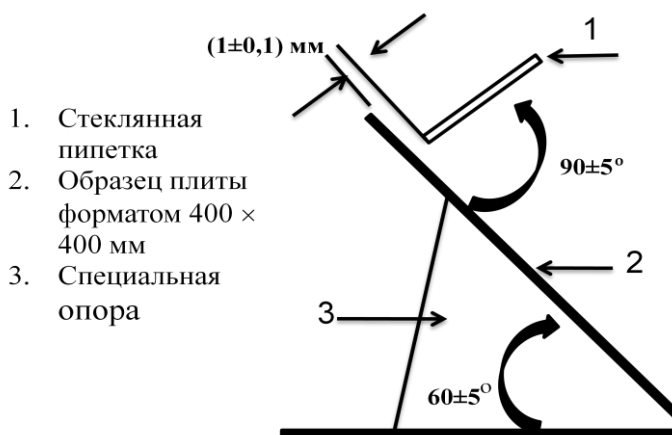


Рис. 2. Схема определения впитывания толуола поверхностью плиты

Для испытаний берут образец размером 300 × 100 мм × толщина плиты. Направление шлифования плиты должно быть вдоль длины образца. Могут использоваться образцы с большей длиной. Образец устанавливают в вытяжном шкафу на специальной опоре под углом  $(60 \pm 5)^\circ$  так, чтобы направление шлифования было расположено сверху вниз. Толуол температурой  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  набирают в стеклянную пипетку. Подносят пипетку с толуолом к древесной плите под углом  $(90 \pm 5)^\circ$ , расстояние от кончика пипетки до поверхности испытательного образца должно составлять  $(1 \pm 0,1) \text{ мм}$ . Выливают  $1 \text{ см}^3$  толуола из пипетки на поверхность испытательного образца в течение  $4 \pm 2 \text{ с}$ , позволив толуолу свободно стекать по наклонной плоскости плиты. Измеряют длину дорожки толуола, оставленной на образце, с точностью до 1 мм. Аналогично проделывают анализ на обратной стороне образца плиты. За результат поверхностной абсорбции плиты принимают среднее арифметическое значение результатов двух измерений. По результатам анализа делают вывод: чем длиннее трасса толуола на поверхности образца, тем меньше впитывающая способность плиты.

Отдельные российские предприятия по производству древесных плит, как MDF, так и ДСП, применяют европейскую методику для оценки впитывающей способности поверхности выпускаемых плит. Для большей точности испытания проводят на образцах форматом 400 × 400 мм, делая на каждой стороне плиты по три замера. Опыт применения этой методики показал, что

она проста в исполнении и осуществляется в течение короткого времени (10...15 мин.).

Зарубежный стандарт рекомендует применять толуол в качестве тестовой жидкости, но это не вполне соответствует современному состоянию технологии отделки. В настоящее время основная масса лакокрасочных материалов и клеев готовится на водной основе. В связи с этим целесообразно разработать нормативы и методики оценки впитывания воды поверхностью пласти древесных плит.

Четвертый актуальный показатель «Продолжительность выдержки плит перед отделкой». После горячего прессования в процессе выдержки в плитах происходит доотверждение связующего, а также охлаждение плит и выравнивание влажности по их толщине. Поскольку послепрессовая выдержка плит производится в плотных пачках, то процессы эти идут неодинаково в плитах, лежащих на поверхности пачки и в ее середине.

Продолжительность выдержки не регламентируется действующими ГОСТ на плиты, обычно на предприятиях отделки выдержку плит производят в течение 3...5 суток после изготовления. По мнению же специалистов она должна составлять от 10 до 14 суток [8], но тогда возникает проблема нехватки складских площадей для хранения плит. Приведенные значения продолжительности выдержки плит установлены эмпирически, целесообразно провести специальные исследования с выдачей рекомендаций по оптимальным режимам выдержки и параметрам плит после выдержки (температура, влажность и т.д.). Вполне вероятно, что для современных высокопроизводительных цехов отделки древесных плит потребуются внедрение технологии дополнительного охлаждения и увлажнения плит, например, в веерных установках или камерах проходного типа.

К высокоактуальным показателям ДСП относятся также «Отдельные включения крупной стружки размером 10...15 мм на пласти плиты», «Покоробленность» и «Удельное сопротивление нормальному отрыву наружного слоя». Нормативы на эти показатели и методы их оценки определены действующими ГОСТ на плиты, а выполнение этих нормативов технологически известно.

Основная масса показателей повышенной актуальности ДСП также нормируется и технологически решается. Однако три показателя: «Разбухание поверхностного слоя», «рН наружного слоя» и «Упрессовка плиты при ламинировании» не отражены в действующих ГОСТ.

Большинство остальных показателей плит MDF, относящихся к высокоактуальным и повышенной актуальности, нормируется и технологически выполнимо. Вместе с тем, как и в случае с древесностружечными плитами, имеются показатели, не отраженные в действующих ГОСТ. К ним относятся показатели из группы повышенной актуальности: «Разбухание поверхностного слоя» и «рН наружного слоя».

Разбухание поверхностного слоя происходит при использовании отделочных материалов на водной основе, так как вода, как сильнополярная жидкость, способствует активному разбуханию древесины. Особенностью дре-

весных плит является неоднородность их поверхностной плотности, в связи с чем при контакте с водой поверхностный слой разбухает на различную толщину: образуется бугристая поверхность. Еще большее местное увеличение толщины наблюдается при разбухании отдельных крупных древесных частиц, оказавшихся на поверхности плиты. Нормирование этого показателя и методика его определения не произведены.

Величина pH наружного слоя древесных плит важна при использовании отделочных материалов на основе термореактивных олигомеров, таких как карбамидоформальдегидные, меламиноформальдегидные смолы и их смеси, так как поверхность подложки может оказывать влияние на скорость реакции поликонденсации олигомеров через величину своей кислотности. Этот эффект особенно заметен при отделке древесных плит методом ламинирования.

Специалисты рекомендуют поддерживать значение pH наружного слоя плиты выше 6,0 [8]. Методика его определения заключается в следующем: с поверхности плиты срезают 15 г древесных частиц на глубину не более 2 мм, заливают их 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, кипятят с обратным холодильником в течение 30 мин., охлаждают до комнатной температуры и определяют величину pH.

Упрессовка древесных плит при ламинировании происходит в результате приложения к ним значительного давления на уровне 1,5...3,0 МПа в течение 8...50 с при температуре 160...220 °С. Специалисты рекомендуют установить величину упрессовки не более 4 % от первоначальной толщины плиты, а испытания проводить в лабораторном прессе при планируемых режимах ламинирования [8].

Таким образом, в результате социологического опроса специалистов выявлены показатели плит, которые важны для отделки, но не учитываются в настоящее время российскими нормативными документами. К ним относятся следующие высокоактуальные показатели: «Плотность поверхностного слоя плиты», «Впитываемость жидкости поверхностным слоем плиты» и «Продолжительность выдержки плит перед отделкой», а также показатели из группы повышенной актуальности: «Разбухание наружного слоя», «pH наружного слоя» и «Упрессовка древесных плит при ламинировании».

Определение этих показателей позволит более надежно оценивать качество поступающих на отделку древесных плит. Для анализа большинства из этих показателей имеются российские и зарубежные методики и оборудование. Целесообразно также провести специальные исследования, в ходе которых установить необходимость нормирования показателей, на которые указывают специалисты.

#### Литература:

1. Шалашов А.П., Поблагуева Т.М., Грошев И.М. Состояние производства древесных плит в России // Древесные плиты: теория и практика: 18-я Междунар. науч.-практ. конф. 18-19 марта 2015 г. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 5-11.

2. ГОСТ 10632-2014 «Плиты древесно-стружечные. Технические условия».
3. ГОСТ 32399-2013 «Плиты древесно-стружечные влагостойкие. Технические условия».
4. ГОСТ 32274-2013 «Плиты древесные моноструктурные. Технические условия».
5. Основы прикладной социологии. Учебник для вузов. Колл. авторов/ Под ред. Ф.Э. Шереги и М.К. Горшкова. – М.: Интерпракс, 1996. – 184 с.
6. Ядов В.А. Социологическое исследование: методология, программа, методы. – Самара.: Изд-во «Самарский ун-т», 1995. – 331 с.
7. EN 382-1:1993. Fibreboards – Determination of surface absorption – Part 1: Test method for dry process fibreboards.
8. Семенов А.А. Принципиальные показатели ДСтП, предназначенных для ламинирования // Древесные плиты: теория и практика: Второй научно-практический семинар. 17-18 марта 1999 г. СПб.: СПбЛТА, 1999. – С. 32-34.

УДК 661.728.2.

### **Изучение процесса сушки влагонасыщенной сосновой коры в лабораторных условиях**

***М.И. Кравченко, Е.В. Нестерова***

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

*Приведены результаты исследований по кинетике сушки влагонасыщенной сосновой коры в конвективной сушилке при температуре сушки 120 – 153°C. Показано, что сушка сосновой коры протекает в два периода; время двух периодов сушки составляет 74 мин.*

Древесная кора по своему составу неоднородна и состоит из трех резко отличающихся по строению частей – коры, луба и стволовой древесины. Наиболее перспективными направлениями использования коры в промышленности следует признать те, которые позволяют перерабатывать всю массу коры. Одним из известных направлений является использование коры в качестве адсорбентов для улавливания вредных веществ из промышленных выбросов и в качестве топлива на котельных установках. Кора в качестве композиционного материала широко применяется в производстве древесных плит и пластиков при технологической рабочей влажности [1]. Выход коры для различных пород в пересчете на 1 кг условного топлива на 1 плотный м<sup>3</sup> перерабатываемой древесины для сосны в сравнении с другими породами представлен на рис.1 по литературному источнику [2].



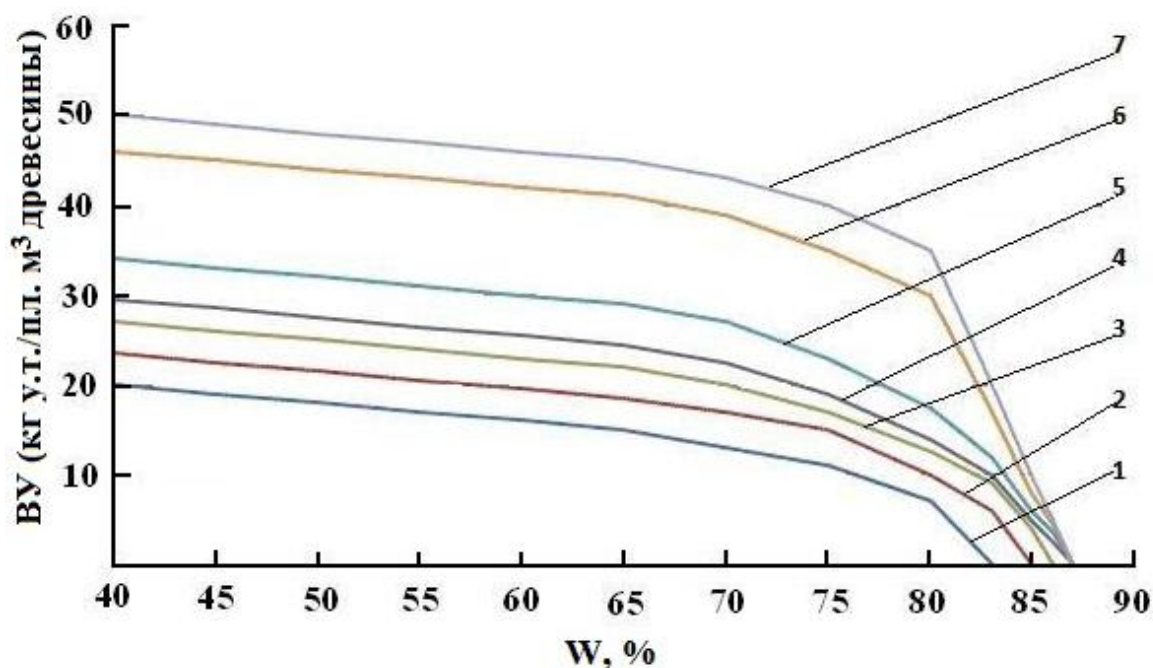


Рис.1. Зависимость выхода условного топлива от рабочей влажности коры: 1 – ель, 2 – пихта, 3 – сосна, 4 – кедр, 5 – осина, 6 – береза, 7 – лиственница.

Представленная зависимость позволяет определить выход условного топлива при сжигании коры различных пород древесины определенной рабочей влажности.

Влажность материала обычно выражают в процентах от общей массы ( $W_0$ ), или в процентах от массы сухого материала ( $W$ ) – ее называют влагосодержанием. Взаимосвязь этих величин определяется соотношениями:

$$W = \frac{100 \cdot W_0}{100 - W_0} \text{ и } W_0 = \frac{100 \cdot W}{100 + W} \quad (1)$$

Например, если рабочая влажность в процентах от общей массы составляет 68 %, то влагосодержание, отнесенное к сухой массе, составит:

$$W = \frac{100 \cdot 68}{100 - 68} = 212\% \text{ на сухое вещество}$$

То есть, влагосодержание характеризует адсорбционную емкость материала по воде. Поэтому в приведенном примере при рабочей влажности коры 68 % адсорбционная емкость по воде составит  $a_{\text{адс}} = 2,12$  г адсорбтива на 1 г адсорбента коры. Кора, погруженная в воду, может достичь максимальную адсорбционную емкость по воде  $a_{\text{адс}} = a_{\text{max}}$ , или максимальное влагосодержание  $W$ .

Изучение адсорбционных и десорбционных свойств коры является необходимым этапом исследований для разработки эффективных технологий с использованием древесной коры. Известно, что сухая кора может использоваться для локальной очистки воздуха и сточных вод. Использование коры в качестве топлива иногда затруднено из-за высокой влажности и ее неравномерного фракционного состава.

Обезвоживание коры на большинстве предприятий осуществляют на отжимных прессах, влажность коры после отжима на прессах достигает 60...65 %, или по влагосодержанию коры 150...185,7 %.

Конвективная сушка коры позволяет высушить кору до воздушно-сухого состояния. Однако, на испарение 1 кг влаги при 0 °С требуется 2493 кДж тепла. Поэтому при расчете энергетической целесообразности необходимо учитывать приход тепла от сжигания коры и расход тепла при сушке коры.

Например, при сжигании сосновой коры 55 % влажности, полученной при переработке 2250 м<sup>3</sup>/сутки сосновой древесины, согласно рис.1 получим тепловой энергии около 69·10<sup>6</sup> кДж/ч.

Учитывая теплоту сгорания условного топлива, равную – 29300 кДж/кг, и теплоту сгорания природного газа – 46900 кДж/м<sup>3</sup>, мазута – 40320 кДж/кг, каменного угля – 22580 кДж/кг [3], можно определить экономическую эффективность при замене того или иного топлива на котлоагрегатах.

В промышленности известны конвективные сушилки диаметром барабана 2,8 м и длиной 17 м, производительность по коре 90 м<sup>3</sup>/ч по выпариваемой влаге – 12 т/ч. Расход тепла на данную сушилку составит – 30·10<sup>6</sup> кДж/ч. Процесс сушки и сжигания сосновой коры в данном случае оправдан энергетически, так как при сжигании сосновой коры можно получить тепловой энергии в 2 раза больше, чем на сушку.

Для изучения десорбции влаги из коры или кинетики сушки влагонасыщенной коры использована сосновая кора Светогорского ЦБК. Изучение кинетики сушки проведено на лабораторной конвективной сушилке, которая оборудована приточной вентиляцией, аналитическими весами и термометром для замера. Убыль влаги, % определена по уравнению:

$$W = \frac{m_i - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $W$ , % – влагосодержание образца коры,

$m_i$  – масса влагонесодержащего образца во время замера,

$m_0$  – вес воздушно-сухого образца.

Скорость сушки определена отношением убыли массы образца коры при сушке ко времени в данный момент замера.

В таблице приведены укрупненные замеры времени сушки сосновой коры (масса а.с.коры 3,5 г), убыль влаги при сушке, температура сушки и скорость сушки.

Таблица – Опытные и расчетные данные сушки влагонасыщенной коры

№	Время, мин	Масса влажной коры, г	Температура, °С	Влагосодержание, %	Скорость сушки, г/мин
1	0	12,00	20	243	0
2	8	11,30	87	229	0,15
3	16	9,70	132	174	0,20
4	24	8,20	132	134	0,15
5	32	7,00	130	100	0,15
6	40	6,00	152	71	0,10
7	48	5,20	153	48	0,10
8	56	4,60	148	31	0,05
9	64	4,00	130	14	0,05
10	72	3,60	134	3,8	0,05
11	74	3,50	142	окончание сушки	0,05

На рис. 2 приведен температурный график сушки, кинетическая кривая сушки влагонасыщенной сосновой коры и график скорости сушки. Максимальная температура в сушильной камере поддерживалась от 130 до 153 °С, скорость подъема температуры составляла 12 °С в минуту. По кинетической кривой для сушки сосновой насыщенной водой коры можно определять критическую влажность коры ( $W^{кр}$ ) и равновесную влажность ( $W^p$ ).

Критическая влажность характеризует внешнедиффузионный процесс извлечения влаги из коры, и время сушки в этом периоде должно составлять 32 мин при достигнутых температурах сушки.

Второй период при сушке коры начинается с 32 мин и продолжается до 74 мин. Второй период характеризуется падающей скоростью сушки несмотря на рост температуры от 130 до 140...150°С. Второй период можно характеризовать как внутридиффузионный процесс извлечения влаги из коры, скорость процесса в этом периоде уменьшается. Общее время сушки насыщенной коры составило 74 мин.

До сушки сосновую кору несколько суток выдерживали в дистиллированной воде до полного влагонасыщения. Относительная рабочая влажность для влагонасыщенной коры составила 71,8 %, а влагосодержание составило 243 %.

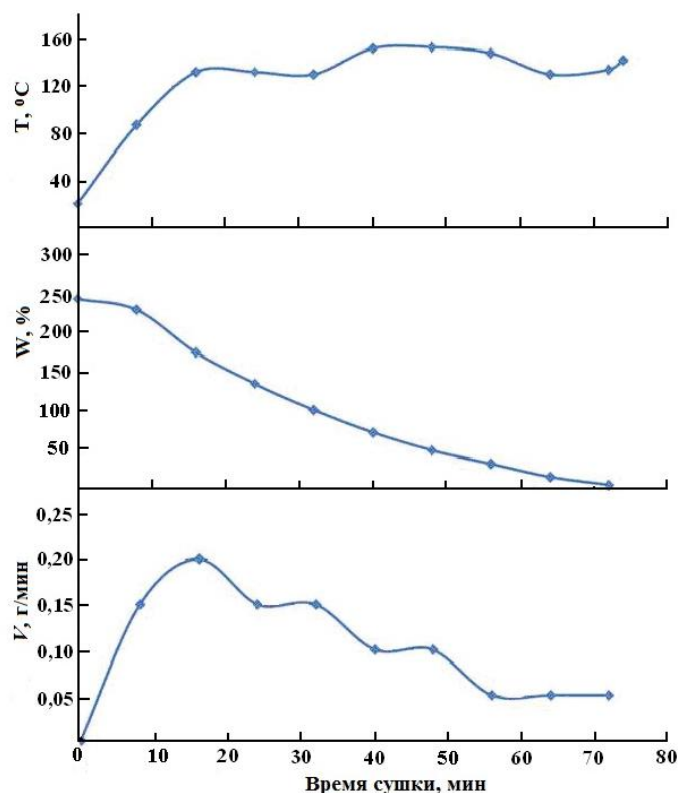


Рис. 2. Кинетика сушки сосновой коры: Т – температура сушки; W – влагосодержание; V – скорость сушки.

Критическая влажность по данным рис.2 для сосновой влагонасыщенной коры составила 52 %, а влагосодержание 110 %, время сушки для достижения этих параметров коры должно составлять 32 мин при температуре сухого термометра 130 °С. После первого периода сушки кору можно направлять на сжигание, второй период осуществлять нецелесообразно. Но если кору использовать в качестве адсорбента, то сушку коры необходимо вести до рабочей влажности 17 %.

### Выводы

1. Показано, что при долговременной выдержке сосновой коры в воде ее рабочая влажность не превышает 72 %, а влагосодержание 243 %.
2. Сушка влагонасыщенной сосновой коры происходит в два периода; первый период протекает при постоянной скорости сушки и его длительность составляет 32 мин, рабочая влажность коры составляет 52 %.
3. Первого периода сушки коры достаточно для подготовки коры перед сжиганием.
4. Для использования коры в качестве адсорбента процесс сушки необходимо проводить 74 мин до рабочей влажности 17 %.

### Литература:

1. И.С. Гелес, З.А. Коржицкая, М.И. Агеева. Некоторые направления использования коры и отходов окорки.// Целлюлоза. Бумага. Картон. Обзорная информация ВНИПИЭИЛеспром. М., 1981. – С.1-56.

2. Ю.Н. Климова, Ш.О. Миносян. Современное состояние в отрасли с использованием горючих вторичных энергоресурсов (ВЭР).// Целлюлоза. Бумага. Картон. Обзорная информация ВНИПИЭИЛеспром. М., 1979. – С.16-23.

3. Я.Л. Пеккер. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива. М., «Энергия», 1977. – С. 244-245.

УДК 674.815

### **Определение содержания минеральных примесей и металла в древесных частицах для производства древесностружечных плит**

***А.Ф. Меркулова, В.В. Васильев***

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

*Использование горбыля в качестве сырья для производства древесностружечных плит приводит к значительному увеличению содержания металлических и минеральных примесей в микростружке. Для удаления нежелательных твердых включений из древесных частиц целесообразно установить дополнительное специальное оборудование очистки. Определение содержания примесей в древесном сырье и стружке можно проводить «сухим» и «мокрым» способами.*

В последние годы в производстве древесностружечных плит (ДСП) наблюдается постоянное расширение сырьевой базы для изготовления древесных частиц. В качестве дополнительного сырья используются опилки, горбыль, рейки, фанерные карандаши и привозная щепка, изготовленная из отходов смежных производств, например, фанерного, лесопильного, мебельного. Вовлечение их в технологический процесс обусловлено сокращением затрат на сырье и повышением устойчивости предприятия по поставкам древесного сырья.

Вместе с тем новые сырьевые материалы могут создать определенные сложности при производстве ДСП. Одной из серьезных проблем является повышенное содержание в них минеральных и металлических примесей. Это связано с условиями заготовки, производства и хранения новых видов древесного сырья. Так, трелевка бревен на лесосеке приводит к загрязнению коры частицами почвы, часть которых сохраняется на поверхности круглых сортиментов (балансы и технологическое сырье), но особенно много их в горбыле, рейках и опилках от лесопильного производства. Хранение древесного сырья на предприятиях ДСП осуществляется на открытых площадках, где на них ветром переносится пыль и песок. При передаче измельченного сырья (опилки, щепка) с площадки хранения на получение стружки с помощью трактора, фронтального грейферного погрузчика или экскаватора происходит захват минерального слоя с поверхности площадки.

Удаление минеральных и металлических примесей из древесного сырья и готовых древесных частиц рекомендуется производить с помощью различных специальных устройств на многих технологических участках, однако такое оборудование не всегда имеется. Тогда возможен вариант попадания примесей в древесностружечную плиту. Такая плита в процессе дальнейшей переработки вызовет быстрый износ пил и фрез. Особенно опасно присутствие примесей в микростружке для наружных слоев ДСП, поскольку крупные частицы минералов или металла могут вызвать дефекты шлифовальной ленты в виде вырывов или полос на абразивной поверхности.

Исследовали влияние вида древесного сырья на содержание минеральных и металлических примесей в микростружке наружных слоев ДСП. Состав двух вариантов древесного сырья приведен в табл. 1. Они отличаются материалом для изготовления собственной щепы: круглая древесина (вариант 1) или горбыль с корой (вариант 2), причем доля его более 40 % от общего состава сырья.

Таблица 1 – Состав древесного сырья для изготовления древесных частиц

Вид древесного сырья	Доля древесного сырья, %	
	Образец 1	Образец 2
Круглая древесина для изготовления щепы (хвоя 50 %, осина 50 %)	43	–
Горбыль с корой для изготовления щепы (хвоя 100 %)	–	43
Круглая древесина для изготовления стружки на линии «Номбак» (осина 100 %)	32	32
Привозная щепа из шпон-рванины (береза 100 %)	25	25
Итого	100	100

Распределение древесных частиц по потокам осуществляется в цехе после сортировки на механических и пневматических сепараторах. Образцы микростружки отобрали на выходе из бункера-дозатора перед смесителем.

Выделение минеральных и металлических примесей из древесных частиц производили по двум методикам: «сухой» и «мокрой». Различия между ними заключаются в способе подготовки пробы для последующего сжигания органической части вещества в муфельной печи.

В соответствии с «сухой» методикой примерно 150 г микростружки выкладывали на ровную горизонтальную поверхность в виде конусообразной кучки и делили на 3 примерно равные порции при помощи ножа или металлической линейки (метод квартования). Полученные порции микростружки массой около 50 г загружали в предварительно прокаленные и взвешенные фарфоровые чашки. Чашки с древесными частицами взвешивали с точностью до 0,01 г, помещали в сушильный шкаф и сушили до постоянной массы при температуре  $105 \pm 2$  °С. Перед каждым взвешиванием чашки с микростружкой остужали в эксикаторе. По достижении постоянной массы определяли абсолютную влажность древесных частиц.

Затем чашки с навесками устанавливали на электрическую плитку и осторожно озоляли (сжигали) древесину, после чего прокаливали чашки в муфельной печи при температуре около 600 °С в течение 4 ч. Если минеральный остаток после прокаливания имеет темный цвет, он смачивается несколькими каплями 3%-ной перекиси водорода, затем жидкость из минерального остатка выпаривается на электрической плитке и вновь прокаливается около 1 ч. Чашки с минеральным остатком охлаждаются в эксикаторе до комнатной температуры, взвешиваются и вновь прокаливаются в течение 1 часа для достижения постоянной массы.

В соответствии с «мокрой» методикой производили отделение минеральных примесей и металла с поверхности древесных частиц путем погружения микростружки в воду. Для этого навеску древесных частиц массой около 0,5 кг загружали в емкость (эмалированное ведро), заливали в ведро воду, устанавливали лопастную мешалку и перемешивали воду с микростружкой в течение 15 мин. Затем выключали мешалку и с помощью ложки с сетчатой поверхностью удаляли стружку, плавающую на поверхности воды, снова включали мешалку, но устанавливали небольшое число оборотов, и удаляли стружку, поднятую со дна емкости. Мешалку выключали, вынимали ее из емкости и аккуратно сливали основную массу воды из ведра. Осадок со дна емкости с оставшейся водой фильтровали на бумажном фильтре с помощью водоструйного насоса. Фильтр с осадком и древесными частицами переносили в предварительно прокаленную и взвешенную фарфоровую чашку. Дальнейшие операции осуществляли аналогично «сухой» методике. Отдельно определяли влажность микростружки.

Из прокаленного остатка с помощью магнита извлекали частицы черных металлов и фракционировали на ситовом анализаторе минеральные примеси. Содержание минерального остатка и чёрного металла в микростружке рассчитывали в процентах к абсолютно сухой навеске. Результаты анализов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – Содержание минеральных и металлических примесей в микростружке, определенных по «сухому» методу

Наименование показателя	Образец 1	Образец 2
Влажность микростружки, %	4,8	4,5
Содержание несгораемых примесей, %	1,93	1,92
Содержание черного металла, %	Нет	0,007
Содержание минеральных примесей, %	1,93	1,91
Фракционный состав несгораемых примесей, %, для фракций, мм:		
• ~/2,0	–	0,38
• 2,0/1,0	0,84	1,13
• 1,0/0,5	3,35	20,00
• 0,5/0,25	0,42	0,75
• <u>0,25/0</u>	<u>95,39</u>	<u>77,74</u>
Итого	100,00	100,00

Результаты анализов показывают, что содержание минеральных примесей в микростружке колеблется от 1 до 2 %. Эти цифры хорошо согласуются с литературными данными. Так, у Б.Н. Уголева [1] говорится, что содержание золы в древесине составляет 0,1...1,0 %, в коре оно значительно выше. В качестве примера он приводит дуб: «стволовая древесина дуба образует при сгорании 0,35 % золы, а кора – 7,2 %». В книге Н.И. Никитина [2] говорится, что существует много данных о содержании зольных веществ в сухой древесине, данные эти сильно колеблются даже для одной породы. Средний зольный остаток от прокаливания в тигле абсолютно сухой древесины составляет обычно от 0,3 до 1 %. Содержание золы в древесине пород, %: береза 0,55; лиственница 0,27; дуб 0,51; сосна 0,26. Распределение золы по элементам дерева груши, %: древесина ствола 0,30; кора ствола 2,66.

Таблица 3 – Содержание минеральных и металлических примесей в микростружке, определенных по «мокрому» методу

Наименование показателя	Образец 1	Образец 2
Влажность микростружки, %	4,8	4,5
Содержание несгораемых примесей, %	0,98	1,92
Содержание черного металла, %	0,0074	0,0048
Содержание минеральных примесей, %	0,973	1,915
Фракционный состав несгораемых примесей, %, для фракций, мм:		
• ~/2,0	1,12	–
• 2,0/1,0	1,14	0,58
• 1,0/0,5	3,33	6,94
• 0,5/0,25	–	4,62
• <u>0,25/0</u>	<u>94,41</u>	<u>87,86</u>
Итого	100,00	100,00

Основная масса несгораемых примесей, присутствующих в анализируемых образцах микростружки, имеет мелкие частицы диаметром менее 0,25 мм. Их можно отнести к золе древесины и коры сырья, которое использовано для изготовления древесных частиц. Более крупные фракции свидетельствуют о наличии посторонних минеральных и металлических примесей.

Так, при анализе «сухим» методом обнаружили в образце № 2 кусочек металла массой 0,01 г диаметром около 1,5 мм и камешек массой 0,01 г диаметром около 3 мм. При анализе «мокрым» методом в обоих образцах микростружки обнаружены мелкие частицы металла и минеральный песок.

Проведенное исследование показало, что в микростружке наружных слоев ДСП могут присутствовать минеральные и металлические частицы. Содержание их в значительной степени зависит от вида применяемого древесного сырья. При использовании хвойного горбыля в количестве 43 % от общей массы сырья доля минеральных примесей фракции ~/0,25 мм увеличивается с 4,61 % до 22,26 % («сухой» метод анализа) и с 5,59 % до 12,14 % («мокрый» метод анализа), то есть в 2,2... 4,8 раза. Для удаления нежела-



тельных твердых включений из древесных частиц целесообразно установить дополнительное специальное оборудование очистки.

Определение содержания примесей в древесном сырье и стружке можно проводить «сухим» и «мокрым» способами. Они оба раскрывают корреляционную зависимость между видом древесного сырья и содержанием примесей. Вместе с тем, «мокрым» способ предпочтительнее, поскольку для анализа используется большая масса анализируемой пробы, что повышает точность анализа. Использование в этом методе значительной массы пробы не приводит к увеличению продолжительности анализа по причине многократной загрузки муфельной печи, поскольку основная масса древесных частиц удаляется после перемешивания их с водой. Наоборот, по сравнению с «сухим» методом в печь загружается одна фарфоровая чашка с осадком, а не три, как при «сухом» методе.

Литература:

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 272 с.
2. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. – М-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 711 с.

УДК 661.174:66.095.32:66-971.2

### **Синтез фосфоразотсодержащих антипиренов: процесс охлаждения на заключительной стадии**

*А.А. Леонович, А.В. Шелоумов*

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

*Определены удельные теплоемкости антипиренов амидофосфата КМ и фосфорамид ФКМ. Приведен технологический расчет количества воды, необходимого для охлаждения единицы массы сухих антипиренов КМ и ФКМ до температуры начала процесса растворения в расчете на всю поверхность теплообмена реактора.*

В связи с возрастающей потребностью в огнезащищенных древесных композиционных материалах промышленность приступила к производству фосфоразотсодержащих антипиренов. Среди них наиболее эффективны огнезащитные средства класса аддуктов, к которому относятся амидофосфат КМ [1] и фосфорамид ФКМ [2]. Антипирен амидофосфат КМ (ТУ 2499-001-05091160–2012) получают реакцией конденсации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  в расплаве при температуре 132...135 °С и в присутствии никелевого катализатора с последующим охлаждением и растворением в воде. Мольное соотношение

$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при синтезе амидофосфата КМ составляет  $(1,5...2,5) : 1$ , что соответствует атомному соотношению N/P от 3 до 5. В зависимости от назначения амидофосфат КМ может быть синтезирован с рН от 2 до 7 [3]. Антипирен фосфорамид ФКМ получают путем взаимодействия  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в расплаве при температуре  $120...125\text{ }^\circ\text{C}$  и в присутствии специального катализатора с последующим охлаждением и растворением в воде при соотношении N/P от 1 до 3. В соответствии с применением антипирен ФКМ может быть синтезирован с рН от 3,0 до 7,5 [4].

Важнейшей стадией процесса синтеза антипиренов, влияющей на качество получаемого продукта, является охлаждение синтезированного антипирена до температуры  $60 \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$  перед началом его растворения в воде с целью недопущения последующего гидролиза полученного продукта. При этом необходимо учитывать, что реакция взаимодействия компонентов при синтезе амидофосфата КМ является экзотермической, в результате чего реакционная смесь может разогреваться до температуры  $145...150\text{ }^\circ\text{C}$ . При получении фосфорамида ФКМ экзотермического разогрева реакционной смеси не происходит, и синтез проводится практически при постоянной температуре.

В предыдущих исследованиях для синтеза амидофосфата КМ было определено количество теплоты, требуемое для нагревания реакционной смеси до температуры начала экзотермической реакции конденсации компонентов, и установлен ее тепловой эффект [5]. Необходимость охлаждения продукта на завершающей стадии синтеза должна учитываться количеством охлаждающей воды, подаваемой в рубашку реактора.

Применяли 85 %-ю  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (ГОСТ 6652–80),  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  (ГОСТ 6691–77) и  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (ГОСТ 3771–74). Антипирен амидофосфат КМ получали путем конденсации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  при мольном соотношении компонентов  $1 : 1,5$ , что соответствует атомному соотношению  $\text{N/P} = 3$ . Антипирен фосфорамид ФКМ получали путем взаимодействия  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при мольном соотношении компонентов  $1 : 2 : 0,67$ , что соответствует  $\text{N/P} = 3$ . Значение рН растворов готовых аддуктов составляло  $5,0 \pm 0,5$ . Выбор соотношения «рабочих» элементов антипиренов обусловлен максимальной огнезащитной эффективностью [6]. Для расчета удельной теплоемкости синтезированных антипиренов измеряли температуру воды в водяной бане до и после охлаждения продукта синтеза с помощью ртутного термометра типа ТТ (ГОСТ 2823–73).

При экспериментальном определении удельных теплоемкостей синтезированных антипиренов  $C_{\text{км}}$  и  $C_{\text{фкм}}$  масса синтезированных амидофосфата КМ и фосфорамида ФКМ составляла соответственно 264,8 г и 310,9 г; масса охлаждающей воды – 2000 г. При охлаждении продуктов синтеза от  $100\text{ }^\circ\text{C}$  до  $60\text{ }^\circ\text{C}$  в случае КМ вода нагрелась от  $14,4\text{ }^\circ\text{C}$  до  $18,8\text{ }^\circ\text{C}$ , в случае ФКМ – от  $13,4\text{ }^\circ\text{C}$  до  $17,3\text{ }^\circ\text{C}$ . Тогда удельные теплоемкости амидофосфата КМ и фосфорамида ФКМ составят, кДж/(кг·град):

$$C_{\text{км}} = m_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{в}} / (m_{\text{км}} \cdot \Delta T_{\text{км}}) = 2 \cdot 4,18 \cdot 4,4 / (0,2648 \cdot 40) = 3,47.$$

$$C_{\text{фкм}} = m_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{в}} / (m_{\text{фкм}} \cdot \Delta T_{\text{фкм}}) = 2 \cdot 4,18 \cdot 3,9 / (0,3109 \cdot 40) = 2,62.$$

Полученные данные позволяют провести оценку количества воды, требуемого для охлаждения синтезированных антипиренов в расчете на всю поверхность теплообмена. Примем, что исходная температура охлаждающей воды составляет 10 °С, и то, что в процессе охлаждения продукта синтеза вода нагревается до температуры 40 °С. Тогда масса воды, необходимой для охлаждения 1 кг амидофосфата КМ от 150 °С до 60 °С, составит, кг:

$$m_{\text{в}} = m_{\text{км}} \cdot C_{\text{км}} \cdot \Delta T_{\text{км}} / (C_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{в}}) = 1 \cdot 3,47 \cdot 90 / (4,18 \cdot 30) = 2,49.$$

Масса воды, необходимой для охлаждения 1 кг фосфорамид ФКМ от 125 °С до 60 °С, составит, кг:

$$m_{\text{в}} = m_{\text{фкм}} \cdot C_{\text{фкм}} \cdot \Delta T_{\text{фкм}} / (C_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{в}}) = 1 \cdot 2,62 \cdot 65 / (4,18 \cdot 30) = 1,36.$$

Проведем технологический расчет массы воды, необходимой для охлаждения синтезированных антипиренов до температуры начала процесса растворения,  $M_{\text{в}}$ , для конкретного реактора марки СЭрн 4,0-2 [7] по методике [8].

Исходные данные для расчета:

- номинальная вместимость реактора  $V_{\text{ном}} = 4,0 \text{ м}^3$  [7];
- номинальная площадь поверхности теплообмена  $F_{\text{ном}} = 9,1 \text{ м}^2$  [7];
- коэффициент заполнения реактора по 50 %-му раствору амидофосфата КМ  $k_{\text{км}} = 0,6$  [9];
- коэффициент заполнения реактора по 50 %-му раствору фосфорамид ФКМ  $k_{\text{фкм}} = 0,7$  [2];
- амидофосфат КМ охлаждается от 150 °С до 60 °С;
- фосфорамид ФКМ охлаждается от 125 °С до 60 °С;
- вода нагревается от 10 °С до 40 °С.

При этом объемы 50 %-х растворов антипиренов в реакторе составят,  $\text{м}^3$ :

$$\text{для КМ } V_{\text{р.км}} = k_{\text{км}} \cdot V_{\text{ном}} = 0,6 \cdot 4,0 = 2,4.$$

$$\text{для ФКМ } V_{\text{р.фкм}} = k_{\text{фкм}} \cdot V_{\text{ном}} = 0,7 \cdot 4,0 = 2,8.$$

Тогда масса 50 %-го раствора амидофосфата КМ с плотностью  $\rho_{\text{км}} = 1240 \text{ кг/м}^3$  составит, кг:

$$m_{\text{р.км}} = \rho_{\text{км}} \cdot V_{\text{р.км}} = 1240 \cdot 2,4 = 2976.$$

Масса 50 %-го раствора фосфорамид ФКМ с плотностью  $\rho_{\text{фкм}} = 1251 \text{ кг/м}^3$  составит, кг:

$$m_{p.фкм} = \rho_{фкм} \cdot V_{p.фкм} = 1251 \cdot 2,8 = 3503.$$

В соответствии с рецептурой синтеза амидофосфата КМ с N/P = 3 (мольное соотношение  $H_3PO_4$  и  $(NH_2)_2CO$  1 : 1,5) для получения данного количества антипирена потребуется 912,6 кг 85 %-й  $H_3PO_4$  и 712,3 кг  $(NH_2)_2CO$ . Таким образом, масса реакционной смеси (продукта синтеза)  $m_{км}$  составит 1624,9 кг.

В соответствии с рецептурой синтеза фосфорамида ФКМ с N/P = 3 (мольное соотношение  $NH_4H_2PO_4$ ,  $(NH_2)_2CO$  и  $H_3PO_4$  1 : 2 : 0,67) для получения данного количества антипирена потребуется 695,4 кг  $NH_4H_2PO_4$ , 695,4 кг  $(NH_2)_2CO$  и 424,5 кг 85 %-й  $H_3PO_4$ . Таким образом, масса реакционной смеси (продукта синтеза)  $m_{фкм}$  составит 1815,3 кг.

Для определения  $M_v$  использовали следующее уравнение:

$$M_v = m_v \cdot \tau / \tau',$$

где  $M_v$  – общая масса воды, необходимая для охлаждения продукта синтеза;  $m_v$  – масса воды, заполняющая объем рубашки;  $\tau$  – полное время, за которое происходит охлаждение продукта синтеза;  $\tau'$  – время, за которое масса воды  $m_v$  проходит от входа к выходу.

Время, с, находили как отношение  $Q/N$ , где  $Q$  – количество выделяемой или поглощаемой теплоты, кДж;  $N$  – мощность теплового потока через стенку, кВт.

Количество теплоты, кДж, вычисляли по формуле:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T,$$

где  $m$  – масса компонента, кг;  $C$  – удельная теплоемкость компонента, кДж/(кг·град);  $\Delta T$  – разность конечной и начальной температур компонента, град.

Мощность теплового потока, Вт, рассчитывали по формуле:

$$N = K \cdot F \cdot \Delta T_{ср},$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $F$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;  $\Delta T_{ср}$  – средняя разность температур компонентов, град.

Количество теплоты, выделяемое амидофосфатом КМ, составляет, кДж:

$$Q_{км} = m_{км} \cdot C_{км} \cdot \Delta T_{км} = 1624,9 \cdot 3,47 \cdot (150 - 60) = 507456,3.$$

Количество теплоты, выделяемое фосфорамидом ФКМ, составляет, кДж:

$$Q_{\text{фкм}} = m_{\text{фкм}} \cdot C_{\text{фкм}} \cdot \Delta T_{\text{фкм}} = 1815,3 \cdot 2,62 \cdot (125 - 60) = 309145,6.$$

Данные для расчета мощности теплового потока от амидофосфата КМ к воде  $N_{\text{км}}$ :

$$K_{\text{км}} = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$F_{\text{км}} = k_{\text{км}} \cdot F_{\text{ном}} = 0,6 \cdot 9,1 \text{ м}^2 = 5,46 \text{ м}^2;$$

$$\text{КМ: } 150 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 60 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Вода: } 10 \text{ }^\circ\text{C} \leftarrow 10 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\text{Большая разность температур } \Delta T_{\text{б}} = 150 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C} = 140 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Меньшая разность температур } \Delta T_{\text{м}} = 60 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C} = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{б}}/\Delta T_{\text{м}} = 140 \text{ }^\circ\text{C}/50 \text{ }^\circ\text{C} = 2,8 > 2.$$

Тогда средняя разность температур для теплового потока от КМ к воде составит,  $^\circ\text{C}$ :

$$\Delta T_{\text{ср.км}} = (\Delta T_{\text{б}} - \Delta T_{\text{м}})/(2,3 \cdot \lg(\Delta T_{\text{б}}/\Delta T_{\text{м}})) = (140 - 50)/(2,3 \cdot \lg(140/50)) = 88,0.$$

Мощность теплового потока от амидофосфата КМ к воде составляет, кВт:

$$N_{\text{км}} = K_{\text{км}} \cdot F_{\text{км}} \cdot \Delta T_{\text{ср.км}} \cdot 10^{-3} = 500 \cdot 5,46 \cdot 88 \cdot 10^{-3} = 240,24.$$

Данные для расчета мощности теплового потока от фосфорамиды ФКМ к воде  $N_{\text{фкм}}$ :

$$K_{\text{фкм}} = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$F_{\text{фкм}} = k_{\text{фкм}} \cdot F_{\text{ном}} = 0,7 \cdot 9,1 \text{ м}^2 = 6,37 \text{ м}^2;$$

$$\text{ФКМ: } 125 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 60 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{вода: } 10 \text{ }^\circ\text{C} \leftarrow 10 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{б}} = 125 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C} = 115 \text{ }^\circ\text{C}; \Delta T_{\text{м}} = 60 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C} = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{б}}/\Delta T_{\text{м}} = 115 \text{ }^\circ\text{C}/50 \text{ }^\circ\text{C} = 2,3 > 2.$$

Тогда средняя разность температур для теплового потока от ФКМ к воде составит,  $^\circ\text{C}$ :

$$\Delta T_{\text{ср.фкм}} = (\Delta T_{\text{б}} - \Delta T_{\text{м}})/(2,3 \cdot \lg(\Delta T_{\text{б}}/\Delta T_{\text{м}})) = (115 - 50)/(2,3 \cdot \lg(115/50)) = 78,1.$$

Мощность теплового потока от фосфорамиды ФКМ к воде составляет, кВт:

$$N_{\text{фкм}} = K_{\text{фкм}} \cdot F_{\text{фкм}} \cdot \Delta T_{\text{ср.фкм}} \cdot 10^{-3} = 500 \cdot 6,37 \cdot 78,1 \cdot 10^{-3} = 248,75.$$

Полное время охлаждения амидофосфата КМ составляет, с:

$$\tau_{\text{км}} = Q_{\text{км}}/N_{\text{км}} = 507456,3/240,24 = 2112.$$

Полное время охлаждения фосфорамиды ФКМ составляет, с:

$$\tau_{\text{фкм}} = Q_{\text{фкм}}/N_{\text{фкм}} = 309145,6/248,75 = 1243.$$

Количество теплоты, поглощаемое водой, составляет, кДж:

$$Q_{\text{в}} = m_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{в}} = m_{\text{в}} \cdot 4,18 \cdot (40 - 10) = 125,4 \cdot m_{\text{в}}.$$

Данные для расчета мощности теплового потока от воды к амидофосфату КМ  $N_{\text{в.км}}$ :

$$K_{\text{в}} = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$F_{\text{в}} = F_{\text{ном}} = 9,1 \text{ м}^2;$$

$$\text{КМ: } 150 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 150 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\text{вода: } 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \leftarrow 10 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{м}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta T_{\text{б}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{б}}/\Delta T_{\text{м}} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}/110 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1,3 < 2.$$

Тогда средняя разность температур для теплового потока от воды к КМ составит,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta T_{\text{ср.в.км}} = (\Delta T_{\text{б}} + \Delta T_{\text{м}})/2 = (140 + 110)/2 = 125,0.$$

Мощность теплового потока от воды к амидофосфату КМ составляет, кВт:

$$N_{\text{в.км}} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{ср.в.км}} \cdot 10^{-3} = 800 \cdot 9,1 \cdot 125 \cdot 10^{-3} = 910,0.$$

Данные для расчета мощности теплового потока от воды к фосфорамиду ФКМ  $N_{\text{в.фкм}}$ :

$$K_{\text{в}} = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$F_{\text{в}} = F_{\text{ном}} = 9,1 \text{ м}^2;$$

$$\text{ФКМ: } 125 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 125 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\text{вода: } 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \leftarrow 10 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{м}} = 125 \text{ }^{\circ}\text{C} - 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}; \Delta T_{\text{б}} = 125 \text{ }^{\circ}\text{C} - 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{\text{б}}/\Delta T_{\text{м}} = 115 \text{ }^{\circ}\text{C}/85 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1,4 < 2.$$

Тогда средняя разность температур для теплового потока от воды к ФКМ составит,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$\Delta T_{\text{ср.в.фкм}} = (\Delta T_{\text{б}} + \Delta T_{\text{м}})/2 = (115 + 85)/2 = 100.$$

Мощность теплового потока от воды к фосфорамиду ФКМ составляет, кВт:

$$N_{\text{в.фкм}} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{в}} \cdot \Delta T_{\text{ср.в.фкм}} \cdot 10^{-3} = 800 \cdot 9,1 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 728,0.$$

Время прохождения массы воды  $m_B$  от входа к выходу в случае амидофосфата КМ составляет, с:

$$\tau'_{\text{КМ}} = Q_B / N_{\text{В.КМ}} = 125,4 \cdot m_B / 910,0.$$

Время прохождения массы воды  $m_B$  от входа к выходу в случае фосфорамида ФКМ составляет, с:

$$\tau'_{\text{ФКМ}} = Q_B / N_{\text{В.ФКМ}} = 125,4 \cdot m_B / 728,0.$$

Тогда масса воды, необходимая для охлаждения 1624,9 кг сухого амидофосфата КМ, составит, кг:

$$M_{\text{В.КМ}} = \tau_{\text{КМ}} \cdot m_B / \tau'_{\text{КМ}} = 2112 \cdot m_B \cdot 910,0 / (125,4 \cdot m_B) = 15326,3.$$

Масса воды, необходимая для охлаждения 1000 кг сухого амидофосфата КМ, составит, кг:

$$15326,3 \cdot 1000 / 1624,9 = 9432,2.$$

Масса воды, необходимая для охлаждения 1815,3 кг сухого фосфорамида ФКМ, составит, кг:

$$M_{\text{В.ФКМ}} = \tau_{\text{ФКМ}} \cdot m_B / \tau'_{\text{ФКМ}} = 1243 \cdot m_B \cdot 728,0 / (125,4 \cdot m_B) = 7216,1.$$

Масса воды, необходимая для охлаждения 1000 кг сухого фосфорамида ФКМ, составит, кг:

$$7216,1 \cdot 1000 / 1815,3 = 3975,2.$$

Повышение температуры воды на выходе из рубашки реактора приведет к сокращению расхода воды на охлаждение синтезированных антипиренов. Данный расчет является основанием для организации технологического процесса охлаждения синтезированного продукта при получении антипиренов амидофосфата КМ и фосфорамида ФКМ. При этом отдельно подлежит решению вопрос о циркуляции и охлаждении воды из рубашки реактора.

### **Выводы**

1. По изменению температуры при охлаждении синтезированных аддуктов определены удельные теплоемкости антипиренов амидофосфата КМ и фосфорамида ФКМ. В частности, рассчитано количество воды, необходимое для охлаждения единицы массы сухих КМ и ФКМ до температуры начала процесса растворения в расчете на всю поверхность теплообмена.

2. Полученные термодинамические характеристики антипиренов и алгоритм теплового расчета распространяются на синтезы в иных стандартных реакторах с учетом масштабного фактора.

3. Конкретным технологическим расчетом установлено, что при синтезе антипиренов в стандартном реакторе (номинальная вместимость 4 м<sup>3</sup>, площадь поверхности теплообмена рубашки 9,1 м<sup>2</sup>) при получении фосфорамид ФКМ для охлаждения единицы массы продукта синтеза до температуры начала процесса растворения требуется в 2,4 раза меньше воды, чем в случае синтеза амидофосфата КМ.

#### Литература:

1. Пат. 517491 Российская Федерация, МКИ<sup>6</sup> 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.

2. Пат. 2172242 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В27 К3/52, 3/34, C07 F9/22. Способ получения антипирена / А.А. Леонович, А.В. Шелоумов. – № 2000113921; Заявл. 31.05.00; Опубл. 20.08.01, Бюл. № 23.

3. Леонович А.А. Новые древесноплитные материалы. – СПб.: Химиздат, 2008. – 160 с.

4. Леонович А.А., Шпаковский В.Г. Древесностружечные плиты: огнезащита и технология: [Монография]. – СПб.: Химиздат, 2012. – 160 с.

5. Шелоумов А.В., Леонович А.А. Термодинамические характеристики процесса синтеза амидофосфата КМ // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. А.А. Леоновича: 18-я Междунар. науч.-практ. конф., 18-19 марта 2015 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С.

6. Шелоумов А.В. Снижение горючести древесных плит с использованием фосфоразотсодержащих аддуктов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГЛТА, 2001. – 19 с.

7. Стальная эмалированная аппаратура: Каталог / Отд-ние НИИ техн.-эконом. иссл. – Черкассы: НИИТЭХИМ, 1989. – 22 с.

8. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Под ред. П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

9. Леонович А.А. Огнезащита древесины и древесных материалов: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 1994. – 148 с.



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

*А.Г. Васичев*  
*Фирма «Грекон»*

*Предложены вниманию контрольно-измерительные приборы и установки для производства древесных плит, приведен принцип их работы и преимущества, которые достигаются с их использованием.*

Современное производство древесных плит сегодня 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 ее 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 установок 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 придется 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 **вес материала на единицу площади**. Специальные стационарные (**BWS 5000**) или траверсные (**BWQ 5000**) рентгеновские установки фирмы «ГреКон» монтируются непо-

средственно внутри форммашины или на соответствующем ленточном транспортере. Результаты измерений могут быть использованы для изменения скорости движения транспортерной ленты или высоты расположения гребенки. Диапазон измерений:  $0 \dots 40 \text{ кг/м}^2$ , погрешность измерений  $\pm 0,25 \%$  конечной величины, разрешающая способность –  $30 \text{ г/м}^2$ .

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 плотности в продольном направлении при регулировании скальпера значительно ниже, чем при регулировании с использованием данных с весов. Систематическая ошибка весов в диапазоне  $250 \dots 400 \text{ г/м}^2$  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  $100 \text{ г/м}^2$ , которые, как правило, корректировке не поддаются. При использовании сканера ковра «Диффензор» плотность формирующей ленты на протяжении всего процесса измеряется и при регулировке скальпера соответствующим образом корректируется вес на единицу площади ковра. Постоянный контроль распределения веса поперек направления технологического потока перед главным прессом обеспечивает возможность оптимизации процесса изготовления продукции. Одновременно это препятствует попаданию ленты пресса под воздействие неравномерности плотности в ковре. При помощи данных измерения можно легко проследить и за протоколировать 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  $2 \dots 4$  года.

**Датчик ContiLog** 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 поперек 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  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  для среднего слоя! Теперь с помо-

щью датчика ContiLog 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 формования 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 замеры 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 распространенной является комбинация из трех 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 приемником. 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 определенное процентное содержание небольших дефектов в пересчете 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.

**Распределение объемной плотности** также является важной характеристикой древесных плит. Установка **StenOgraph 6000** фирмы «ГреКон», использующая в качестве источника излучения рентгеновскую трубку, позволяет получить распределение объемной 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 ведет 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 проводить взвешивание 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, причем надо учитывать, что на весах может находиться только одна плита или (в определенных 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 легких 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 веса плиты. Особенно для производственных установок с очень высокой скоростью конвейера, в стесненных 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 веса 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 ее 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 объемную плотность плит, а также ее 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 плотности изменяется воспринимаемая приемником сила излучения. Она и является мерой массы на единицу площади ( $\text{кг/м}^2$ ). Диапазон измерений составляет от 2 до 40  $\text{кг/м}^2$  при толщине плиты до 50 мм и скорости конвейера до 120 м/мин. Погрешность измерений  $\pm 3,5 \%$  при 2  $\text{кг/м}^2$  и  $\pm 0,2 \%$  при 40  $\text{кг/м}^2$ . Надо отметить, что эти устройства с узким, полосообразным 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. Абсолютная масса плиты, таким образом, дается с определенной 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, причем в зависимости от количества материала и удельного веса 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 вес брутто будет нетто, никакой тары не нужно при этом вычитать. Очень легкие 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 вес 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 поперек плиты анализируется и представляется посредством соответствующих параметров. Результаты измерения ос-

таются 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/м<sup>2</sup> 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» ведет 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 ее ламинированию, приобретает все большее значение. В систему закладываются для различных типов дефектов пороговые значения. При превышении их выдается соответствующее сообщение об ошибке. Типичными ошибками считаются такие дефекты как клеевые пятна, крупные куски щепы, царапины и места сошлифовки. Установку можно смонтировать после пресса или после шлифовального станка. В последнем случае она может оказать существенную услугу в правильной оценке процесса шлифования и предоставить сведения о состоянии шлифлент.

**Распределение объемной плотности** также является важной характеристикой древесных плит. **Лабораторный прибор DAX 6000** фирмы «ГреКон», использующий в качестве источника излучения рентгеновскую трубку, по-

звolyет получить распределение объемной плотности 19-мм образца всего за 5 с. Загрузочный магазин вмещает 7 таких образцов. Диапазон измерения: 400...1500 кг/м<sup>3</sup>, точность измерений +/- 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 транспортерах. После обнаружения и анализа моментально (время открывания форсунки составляет 250...300 мс с 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. еще до того, как появляется огонь. **Производственный процесс при этом может беспрепятственно** продолжаться. Центральный пульт управления принимает и анализирует сигналы тревоги и выдает соответствующие команды автоматике противодействия. В процессе работы происходит регулярное автоматическое тестирование всех датчиков и автоматики противодействия. Тесты, проведенные 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 темные частицы (прим. 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, пероводные 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 производ-

стве – в любом случае в лице фирмы «ГреКон» вы имеете действительно надёжного и компетентного партнёра.

УДК 674.817-41

## **Деформация пропаренной древесины применительно к условиям получения древесного волокна**

**А.А. Багаев, В.В. Васильев**

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

*Определены изменения деформации древесины сосны и осины, пропаренных при температурах 150, 175 и 200 °С, при приложении к ним нагрузки в диапазоне от 0 до 10 МПа. Исследование проведено по оригинальной методике путем фиксирования полной деформации древесины, сжимаемой в гидравлическом прессе. Показано, что увеличение давления и температуры пропарки приводят к росту деформации. Кривые роста деформации можно разделить на три участка. На лабораторном рафинере произведен размол пропаренной щепы из сосны и осины при выбранных режимах процесса. Полученные результаты близки к значениям технологического регламента действующих заводов ДВП после первой ступени размола.*

Процесс получения технического волокна является важнейшим в производстве древесноволокнистых плит, вырабатываемых мокрым и сухим способами, поскольку качество полученного древесного волокна определяет физико-механические свойства плит. Размол древесины должен обеспечивать разделение ее на близкие к анатомическим волокна с сохранением их длины.

Для выполнения этих требований древесную щепу перед размолом подвергают пропарке при 170...190 °С. При этой температуре происходит расстекловывание и размягчение лигнина, который относится к макросетчатым, т.е. пространственно сшитым полимерам, имеющим редкие сшивки [1]. Повышение пластичности лигнина позволяет с наименьшими потерями разделить волокна по срединной пластинке, основным элементом которой является лигнин.

Разрушение срединной пластинки происходит в специальном оборудовании действием размалывающей гарнитуры с определенной частотой ударов. Теоретические расчеты и практика дефибрирования древесины показывают, что число приложения нагрузки к щепе для разделения ее на волокна должно составлять не менее  $10^4$  раз [1]. При каждом приложении нагрузки происходит деформация материала, а после снятия нагрузки макросетчатый полимер не полностью восстанавливает свои размеры, развивается остаточ-



ная деформация. Величина ее зависит от пластичности лигнина, т.е. от температуры его нагрева и присутствия пластифицирующих добавок, а также от частоты приложения нагрузки [1, 2].

В настоящее время актуальной задачей является повышение производительности размольного оборудования. Предположили, что время размола можно сократить при увеличении давления на щепу в процессе размола. В этом случае можно ожидать сокращения числа циклов прилагаемой к щепе нагрузки за счет увеличения величины остаточной деформации древесины после каждого цикла.

Исследование провели путем моделирования условий пропарки древесины и последующего сжатия ее в гидравлическом прессе. Для пропарки была спроектирована и изготовлена специальная лабораторная установка. Схема ее представлена на рис. 1.

Отработку режимов работы установки провели на щепе из лесосечных отходов. Породный состав сырья: сосна 30 %, осина 70 %. Размеры щепы из лесосечных отходов по длине вдоль волокна и толщине соответствовали длине и толщине стандартной щепы (размеру отверстий сит промышленной сортировки 39×39 мм). Количество мелкой фракции щепы 12 %, влажность щепы 58 %.

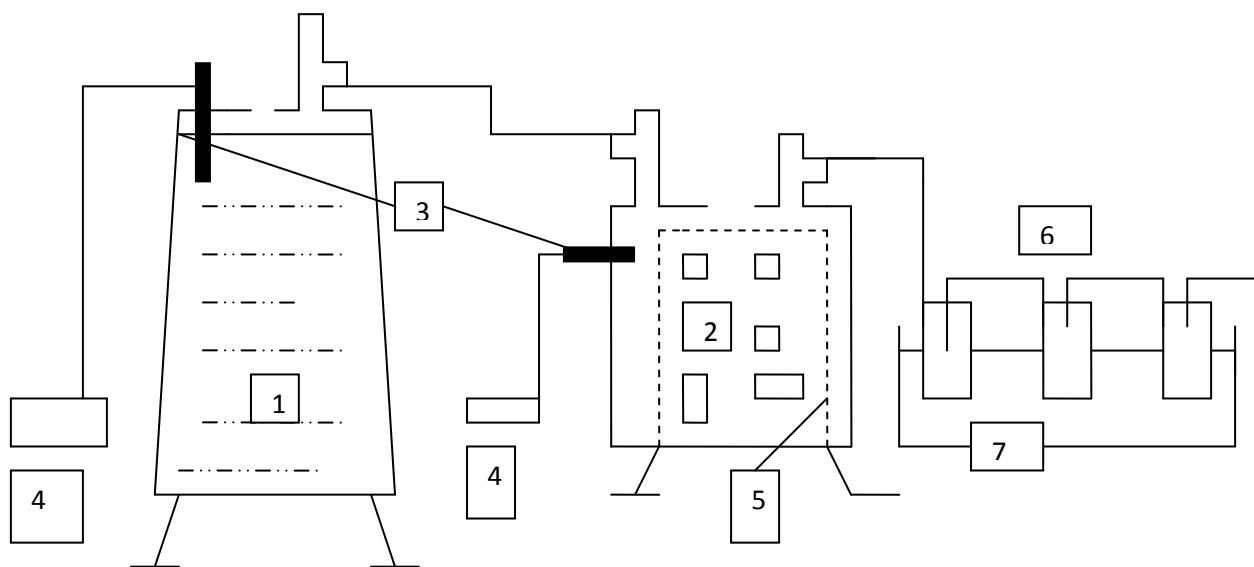


Рис. 1. Схема установки для пропарки древесины: 1 – автоклав-парообразователь; 2 – автоклав-реактор; 3 – регистратор температуры; 4 – блок управления; 5 – сетчатый цилиндр с образцами древесины; 6 – конденсоры; 7 – ванна с холодной водой.

Пропарку лесосечных отходов провели при трех значениях температуры 150, 175 и 200 °С и при давлении в автоклаве-парообразователе и в автоклаве-реакторе 0,5; 0,9; 1,6 МПа соответственно. Изменение температуры регулировали при помощи блока управления.

При отладке системы установили:

- автоклав-парообразователь позволяет обеспечить температуру водяного пара равную 200 °С и давление 1,8 МПа;

– автоклав-реактор также способен выдержать указанные параметры температуры и давления;

– конденсоры позволяют полностью собрать конденсируемую часть отработанной парогазовой смеси, что позволит проводить соответствующие исследования по летучим веществам, образующимся при гидротермической обработке древесины;

– время разогрева автоклава-реактора до 200 °С составило 60 мин. Пропарку лесосечных отходов при температурах 150 и 175 °С проводили при последовательном охлаждении автоклава. Время достижения заданной температуры составило 20 мин;

– оптимальная температура пропарки лесосечных отходов установлена в диапазоне 175...185 °С. Пропарка лесосечных отходов при температуре 200 °С показала увеличение количества жидкости в конденсоре и снижение значения рН до 3,5...3,8, что может быть объяснено ускорением реакции гидролиза гемицеллюлоз. Таким образом, повышение температуры пропарки древесины до 200 °С приводит к снижению выхода древесины после размола и соответственно увеличению ее расхода на 1 т волокна.

Исследование поведения пропаренной древесины под давлением провели новым методом путем нагружения древесины в гидравлическом прессе. Объектом исследований были образцы свежесрубленных сосны и осины размером 150×40×10 мм. Абсолютная влажность древесины составила 85 % для сосны и 120 % для осины, плотность 624 и 875 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Пропарку образцов осуществляли на установке, приведенной на рис. 1, при температурах 150, 175 и 200 °С, продолжительность пропарки во всех опытах была одинакова и составляла 60 мин.

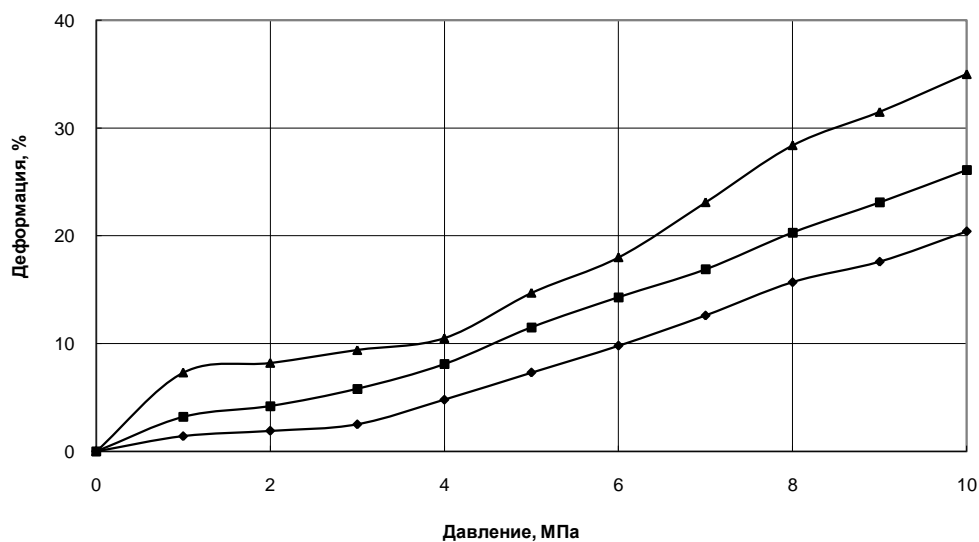


Рис. 2. Изменение деформации при нагружении древесины сосны, пропаренной при разных температурах. Температура пропарки, °С: ♦ – 150; ■ – 175; ▲ – 200.

После окончания процесса пропарки образцы древесины теплоизолировали алюминиевой фольгой и асбестовой тканью. Для определения реологических свойств использовали ручной гидравлический пресс с возможностью регулирования давления прессования с интервалом 1,0 МПа. В качестве индикатора изменения толщины образцов использовали электронный штангенциркуль с точностью 0,01 мм. Нагружение образцов производили со скоростью 0,1 МПа/с. Результаты экспериментов представлены на рис. 2 и 3.

Результаты эксперимента показывают, что увеличение давления и температуры пропарки приводят к росту деформации древесины. Кривые роста деформации можно разделить на три участка. На первом при изменении давления от 0 до 1 МПа наблюдается интенсивный рост деформации от 0 до 2...8 % в зависимости от температуры пропарки. На втором участке в диапазоне давления от 1 до 3,0...3,5 МПа деформация древесины не наблюдается или происходит относительно в небольшом интервале. При повышении давления на древесину выше 3,0...3,5 МПа рост деформации увеличивается практически прямолинейно с увеличением прикладываемого давления.

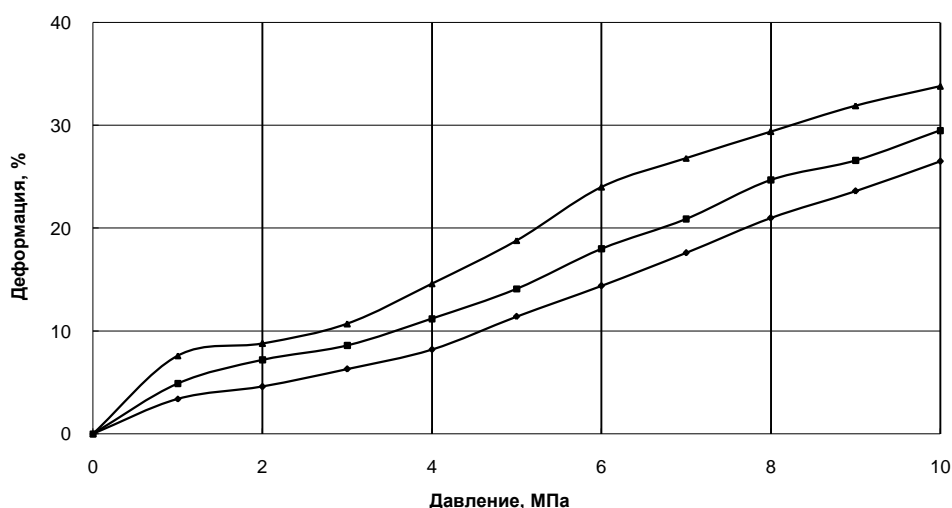


Рис. 3. Изменение деформации при нагружении древесины осины, пропаренной при разных температурах. Температура пропарки, °C:  $\blacklozenge$  – 150;  $\blacksquare$  – 175;  $\blacktriangle$  – 200.

Древесина представляет собой вязко-упругое тело, и приложенная нагрузка вызывает в ней ряд сложных деформаций. Древесину также можно рассматривать как сложную систему природных полимеров как кристаллического, так и аморфного характера. Такие системы при приложении нагрузки получают полную деформацию, которая может быть представлена как сумма следующих видов деформаций: мгновенная упругая, запаздывающая упругая и дополнительная деформация, вызванная частичной кристаллизацией при выпрямлении полимерных молекул в параллельно расположенных цепях, и медленного вязкого течения [1, 2].

Кроме того, древесина – это капиллярно-пористое тело, в котором доля воздушного пространства капилляров и пор высока. Расчет пористости древесины производится по следующей формуле [1]:

$$V_{\text{пор}} = 100(1 - \rho/\rho_{\text{др}}),$$

где  $V_{\text{пор}}$  – доля объема пор, %;  $\rho$  – плотность древесины,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{др}}$  – плотность древесинного вещества, равная  $1530 \text{ кг/м}^3$ .

При плотности абсолютно сухой сосны и осины  $470 \text{ кг/м}^3$  пористость их составляет 69,3 %. В нашем случае использованы образцы свежесрубленной древесины с высокой влажностью, которая дополнительно увеличилась при пропарке. Плотность пропаренной сосны составила 730, а осины –  $890 \text{ кг/м}^3$ . В результате пористость пропаренной сосны стала 52,3, а осины – 45,8 %, то есть половина объема пропаренной древесины – это частично сохранившиеся пустоты (поры и капилляры), заполненные воздухом.

Анализируя кривые деформации пропаренной древесины можно предположить, что на первом этапе приложения нагрузки при давлении от 0 до 1 МПа происходит интенсивная упрессовка в результате сжатия крупных пор древесины и люменов клеток. Кроме того, поскольку лигнин срединной пластинки размягчен после пропарки, то древесные волокна могут перемещаться относительно друг друга по этой своеобразной смазке. На втором этапе прирост деформаций невелик, поскольку образовалась устойчивая структура уплотненной древесины, хорошо сопротивляющаяся прилагаемой нагрузке. При увеличении давления выше 3,0...3,5 МПа начинается смятие древесины, сопровождающееся дальнейшим уплотнением пор и капилляров, а также разрушением древесных волокон. Размол древесины целесообразно осуществлять при давлении не выше этого порога.

Температура пропарки оказывает значительное влияние на уровень полной деформации древесины. При  $150^\circ\text{C}$  деформации оказываются наименьшими как для сосны, так и для осины. Если деформацию древесины при температуре  $150^\circ\text{C}$  принять за единицу, то деформация сосны при  $175^\circ\text{C}$  увеличивается в 2,3 раза, а при  $200^\circ\text{C}$  – в 3,8 раза. Для осины этот же ряд выглядит следующим образом: 1 – 1,5 – 1,7. Для обеспечения высокой скорости размола древесины целесообразно осуществлять ее пропарку при температурах около  $175^\circ\text{C}$ . При температуре  $150^\circ\text{C}$  древесина еще не приобрела достаточную пластичность, а при температуре  $200^\circ\text{C}$  начинается активное разрушение компонентов древесины, как было показано нами ранее.

Деформация пропаренной древесины зависит не только от уровня температуры, но и от породы древесины. Осина показала большую пластичность по сравнению с сосной. В связи с этим, для древесины осины можно рекомендовать температуру пропарки  $175...180^\circ\text{C}$ , а для сосны –  $180...190^\circ\text{C}$ .

Размол пропаренной щепы древесины сосны и осины проводили на лабораторном рафинере с двумя вертикальными дисками. Один диск неподвижный, второй вращается с числом оборотов  $10 \text{ с}^{-1}$ . Диаметр размалываю-

щих дисков 300 мм. Зазор между дисками составлял 0,1 мм, удельное давление прижима дисков поддерживали на уровне 2,5...3,5 МПа. Для волокна, полученного на рафинере, определяли степень размола на приборе СР-2. Волокно, полученное из древесины сосны, имело среднюю степень размола 9,6 ° ШР, для древесины осины – 10,3 ° ШР. Полученные результаты близки к значениям технологического регламента действующих заводов ДВП после первой ступени размола.

Таким образом, предложена методика определения полной деформации пропаренной древесины путем сжатия ее в гидравлическом прессе с дискретной фиксацией изменения толщины анализируемого материала. Определено изменение деформации древесины сосны и осины, пропаренных при температурах 150, 175 и 200 °С, при приложении к ним нагрузки в диапазоне от 0 до 10 МПа. Показано, что увеличение давления и температуры пропарки приводят к росту деформации древесины. Кривые роста деформации можно разделить на три участка: первый – при изменении давления от 0 до 1 МПа наблюдается интенсивный рост деформации; на втором в диапазоне давления от 1 до 3,0...3,5 МПа деформация древесины не наблюдается или происходит относительно в небольшом интервале; на третьем участке при давлении выше 3,0...3,5 МПа рост деформации увеличивается практически прямолинейно с увеличением прикладываемого давления. Можно рекомендовать следующие режимы размола древесины: давление – не выше 3,5 МПа, температура пропарки осины 175...180°С, сосны – 180...190 °С. На лабораторном рафинере произведен размол пропаренной щепы из сосны и осины при выбранных режимах процесса. Полученные результаты близки к значениям технологического регламента действующих заводов ДВП после первой ступени размола.

#### Литература

1. Леонович А.А. Физико-химические основы образования древесных плит. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2003. – 192 с.
2. Ласкеев П.Х. Производство древесной массы. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 581 с.

## **Использование состава и свойств отходов в качестве квалификационных признаков и прогнозирования способов их переработки**

***И.М. Грошев, Ю.В. Дойлин***

*ОАО «Витебскдрев»*

*Сообщается о необходимости товарной оценки отходов для решения общей задачи ресурсосбережения и их использования в качестве реального материального резерва промышленности.*

Республика Беларусь – страна с развитой промышленностью. В большинстве это энерго- и ресурсоемкие производства. Интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства с крупными животноводческими комплексами, загрязнение радионуклидами 1/5 территории Республики из-за аварии на ЧАЭС, высокоразвитая сеть транспортных магистралей, трансграничное загрязнение территории выбросами, накопление и хранение на открытых необорудованных площадках отходов, малые объемы их переработки, сброс в водоемы до 10 % недостаточно очищенных сточных вод, крайне нерациональное использование природных ресурсов и энергии, обуславливает сложную экологическую обстановку. Несовершенная технология добычи полезных ископаемых также приводит к значительным загрязнениям окружающей среды.

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого развития Республики Беларусь одним из факторов экономической безопасности страны является внедрение новых ресурсосберегающих технологий, а также технологий по использованию и переработке всех отходов. Использование отходов в качестве вторичного сырья – это важная экологическая и экономическая необходимость. Например, использование 30 % отходов производства равноценно введению в экономику страны ресурсов на сумму около 2,5 млрд. долл. США.

Переход на путь экологического развития предполагает сокращение техногенной нагрузки на окружающую среду за счет разработки и внедрения новых инновационных проектов переработки и использования образующихся отходов. Это единственно возможный путь развития экономики в условиях ограниченности материально-технических и материальных ресурсов

Переработка и использование вторичных ресурсов (отходов) не возможна без оценки эколого-экономической эффективности технологических процессов в целях устойчивого природопользования и экономической заинтересованности предприятий в эффективном использовании природных ресурсов и охране окружающей среды. Эколого-экономическая оценка в области обращения с отходами включает в себя планирование, платежи за природопользование, экологическое стимулирование и предусматривает наиболее полную оценку затрат, выгод и рисков с соблюдением следующих критериев:

- никакая практическая деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ущерба;
- ущерб окружающей среде от любой деятельности должен быть на самом низком уровне, какой может быть только достигнут;
- учет экологических расходов и издержек в экономической деятельности с тем, чтобы цены отражали нехватку и полную стоимость ресурсов и способствовали предотвращению ухудшения состояния окружающей среды и эффективному способу оценки важной роли окружающей среды, как источника природного капитала и приемника побочных продуктов сопутствующих человеческой деятельности;
- приоритетное субсидирование природоохранных мероприятий, в т.ч. для кредитования работ по переработке и другим формам использования отходов.

Структурная перестройка экономики на основе внедрения экологически безопасных, энерго-, и ресурсосберегающих технологий, позволит обеспечить улучшение экологической обстановки в Республике Беларусь с максимальным привлечением научно-технического потенциала страны для решения всего цикла проблем ресурсосбережения от научного исследования до внедрения научно-технических проектов и реализации Государственных программ по экологии. Из-за отсутствия инвестиций в ближайшие годы маловероятно всеобъемлющее использование новейших технологий. Более реалистичен путь модернизации и технического перевооружения действующих производств на основе мало- и безотходных технологий.

Сегодня ресурсосберегающие технологии, технологии по переработке отходов – товар на рынке. От них требуется полной завершенности разработки, патентной защиты и сертификации, наличие комплекса «ноу-хау». Доведение ресурсосберегающих технологий до готовности и их использование требует значительных средств. Тем более важно, в условиях рыночной экономики, получение быстрой и высокой прибыли от их внедрения.

В сфере обращения с отходами в Республике Беларусь доминирует их удаление с неизбежным накоплением на полигонах, общая площадь которых более 3 тыс. гектар, без учета подъездных путей и несанкционированных свалок. Эксплуатационные мощности более 40 % полигонов уже исчерпаны, требуют замены и расширения. Актуальность в сфере обращения с отходами обусловлена двумя причинами: во-первых отходы, как правило, содержат полезные вещества и материалы – вторичные ресурсы, неэффективное использование которых означает их потерю для экономики, во-вторых они загрязняют окружающую природную среду.

Для нашей страны проблема бережного отношения к ресурсам является достаточно важной, т.к. ресурсоемкость отечественного ВВП около 65 %. Она имеет и стратегическое значение, т.к. в основном мы вывозим сырье и энергетические ресурсы, а расходуем на производство единицы продукции в 2...3 раза больше, чем экономически развитые страны. Поэтому экономия и бережливость – главные факторы экологической безопасности нашего государства.

Наряду с высокой энергоемкостью и материалоёмкостью продукции в стране недостаточно полно используются вторичные материальные ресурсы (ВМР) и отходы производства. Рост объемов накопления отходов ведет к экологической дестабилизации и представляет серьёзную угрозу здоровью населения.

Использование отходов в качестве вторичного сырья – это важное для государства экологическая и экономическая необходимость. Разработка и внедрение энергосберегающих технологий, рациональное использование местных ресурсов и отходов является важнейшим механизмом обеспечения роста конкурентоспособности выпускаемой продукции, импортозамещения и сокращения материалоёмкости продукции.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «Об обращении с отходами» №271-З от 20.07.2007 г. «отходы – вещества или предметы, образующиеся в процессе осуществления экономической деятельности и жизнедеятельности человека, но не имеющие определенного предназначения по мету их образования либо утратившие полностью или частично свои потребительские свойства». В Республике ведется определенная работа по обращению с отходами, связанная с предотвращением вредного воздействия отходов на окружающую среду и здоровье человека, а также на максимальное вовлечение отходов в оборот в качестве вторичного сырья. Ресурсосберегающая политика является одним из приоритетов Государственной политики.

Одним из факторов, сдерживающих учёт, сбор, переработку отходов и затрудняющих их классификацию является большая номенклатура образующихся отходов. На сегодняшний день, как в нашей, так и в других странах отсутствует общепринятая научная классификация отходов, в т.ч. отходов производства, которая охватывала бы их многообразие. Классификация базируется в основном на происхождении, агрегатном состоянии, степени опасности, стадии производственного цикла, вида отхода, направлении и эффективности использования, величине запаса и объёма образования, степени изученности и разработанности технической переработки и других квалификационных признаках.

В Республике Беларусь свыше 700 наименований отходов. Ежегодно образуется более 26 млн. т отходов. Объём их наполнения превышает 745 млн. т, в т.ч. токсичных – 23 млн. Уровень переработки и использования отходов составляет всего 15...17 % (в развитых странах 30...75 %).

В соответствии с Классификатором об отходах №85 от 8.11.2007 г. все отходы Беларуси подразделяются на 6 групп.

Особый интерес представляют текстильные отходы как сырьё для производства продукции различного назначения, в т.ч. в смеси с отходами других производств, например, древесными. На текстильных предприятиях Республики Беларусь образуется около 4 тыс. т отходов в год, а утилизируется менее 10 %, остальные не имеют технологических решений по переработке в своей отрасли. Их в основном складировуют и затем вывозят на полигон для дальнейшего захоронения. Поэтому использование таких отходов в качестве



вторичных материальных ресурсов – важная экологическая, экономическая и социальная проблема для нашей страны.

Все текстильные отходы могут быть распределены на 4 основные группы. Первые две группы используются на предприятиях, где они образуются или передаются на предприятия по переработке вторичного сырья. Отходы третьей группы, состоящие из смеси химических, хлопковых и смешанных волокон (например, отходы коврового производства), частично используются в качестве обтирочного материала и других целей или просто хоронятся на Полигонах ТБО. Четвёртая группа отходов – низкосортные отходы производства, такие как волокно искусственного меха невозвратное, короткое, от стрижки и других технологических операций (34 % от используемого сырья), которые практически не пригодны для переработки. Мы их относим к группе «неутилизируемых» отходов.

Текстильные отходы по своей физической структуре, химическим свойствам обладают механическими, акустическими, теплофизическими и другими полезными свойствами.

Переработка «неутилизированных» текстильных отходов позволит снизить количество первичных сырьевых ресурсов, расширить ассортимент выпускаемой продукции, снизить материалоемкость продукции, снизить количество отходов, подлежащих захоронению и обезвреживаю, что, в свою очередь, снизит отрицательную нагрузку на окружающую среду, перевести предприятия в разряд ресурсосберегающих, мало- и безотходных.

Целью и задачами работы является определение структуры и свойств «неутилизируемых» отходов текстильной промышленности, жидких и твёрдых отходов деревообрабатывающей промышленности, разработка дополнительных квалификационных признаков для классификации «неутилизируемых» отходов и прогнозирования на их основе изготовления новых видов продукции, а также товароведная оценка отходов и изделий.

В качестве дополнительных требований при классификации и товароведной экспертизе отходов мы предлагаем следующие: химические и физические свойства, технологичность, безопасность, экономичность, санитарно-гигиенические, экологические свойства и совместимость отходов с другими компонентами при переработке.

На отходы и продукцию, выпускаемую из отходов, в обязательном порядке необходимо разрабатывать ТНПА. С ними проводятся все операции, как с продукцией, изготовленной из первичного сырья, для продвижения на потребительском рынке.

Коротковолокнистые отходы текстильной промышленности, как и исходное сырьё, представляют собой высокомолекулярные соединения (полимер), свойства которых определяются их строением и надмолекулярной структурой. Зависимость свойств полимеров от физической и химической структуры, позволит предвидеть получение из них материалов с заранее заданными свойствами и регулировать параметры в процессе технологического процесса. Например, при изготовлении из отходов изоляционного материала можно регулировать объёмную массу, температуру прессования, длитель-

ность прессования, применение вспомогательных веществ, давление, влажность и другие.

Строение и структура полимеров, равно как и отходов, определяют неплохие теплорегулирующие свойства, высокую теплопроводность, твёрдость и экологичность, лёгкость и прочность, прозрачность и окрашиваемость, химическую стойкость, специфические электрические свойства, технологичность при проработке в материалы и изделия, доступность и низкая цена сырья в виде отходов. Такое разнообразие свойств позволяет при их разнообразном сочетании в процессе переработки получать материалы различного назначения.

Недостатки отходов: низкая теплостойкость, хрупкость, жесткость и другие, влияющих на качество изделий, легко устраняются введением в композицию специальных добавок, подбором оптимальных параметров технологического процесса. Важное значение при этом составляет подбор композиционной смеси из отходов, имеющих различные свойства. При этом в процессе производства можно получать необходимый результат.

Аналогичные исследования проведены нами с «неутилизируемыми» жидкими и твёрдыми отходами деревообрабатывающей промышленности, а так же волокнистосодержащих материалов, полученных с использованием текстильных отходов в смеси с древесными отходами. Результаты исследований неоднократно докладывались на предыдущих научно-практических конференциях в г. Балабаново, г. Обнинске и г. Санкт Петербурге.

Таким образом, химическая и физическая структура текстильных отходов, их механические свойства, совместимость, технологичность и другие потребительские свойства являются, на наш взгляд, необходимыми требованиями при классификации отходов, товароведной оценке, создании энерго-, ресурсосберегающих технологий всех видов «неутилизируемых» отходов, прогнозировать получение из них изделий и материалов с заданными свойствами. Перенести «неутилизируемые» отходы из группы потенциальных ВМР в реальные как резерва материальных ресурсов промышленности, для которых созданы методы и мощности переработки и обеспечен рынок сбыта.

**Тонкодисперсный препарат гидролизного лигнина  
как сорбент формальдегида**

***И.В. Тимофеев, Д.В. Иванов, А.А. Леонович***

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

*Сообщается о способности препаратов гидролизного лигнина сорбировать формальдегид для снижения токсичности древесных плит на карбамидоформальдегидном связующем. Разработана методика определения связывающей способности акцептора в водной среде.*

Исходя из общей концепции минимизации содержания свободного формальдегида ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) в древесных плитах [3], представляется возможным в качестве акцепторов использовать вещества, являющиеся сорбентом  $\text{CH}_2\text{O}$ . Благодаря развитой полярной поверхности они способны связывать образующийся в ходе горячего прессования формальдегид по механизму сорбции, снижая, тем самым, его содержание в готовых плитах.

В качестве сорбента был использован гидролизный лигнин Кировского биохимического завода; для увеличения внутренней поверхности его модифицировали путём различных обработок. Полученные тонкодисперсные препараты лигнина в зависимости от способа измельчения обозначали как *ультрадисперсный лигнин (УДЛ)* и *мелкодисперсный лигнин (МДЛ)*. УДЛ, или *микронизованный лигнин* по терминологии [1], получен измельчением на роторной установке до размеров порядка 5 нм. МДЛ, или *паровзрывной лигнин* по терминологии [2] получен при обработке паром в автоклаве под давлением 3,2 МПа при температуре 235 °С с последующим резким сбросом давления. Источником для препарата МДЛ послужил лигнин, взятый с производства и из отвала.

Препараты УДЛ и МДЛ получены обработкой образцов гидролизных лигнинов из одной партии, что позволяет оценить влияние обработки более корректно, тогда как данные по лигнину из отвала в большей степени носят ориентировочный характер. Неизвестно при каких условиях лигнин находился на полигоне, какому воздействию он подвергался во время хранения, и как оно повлияло на его физико-химические свойства.

Для определения способности тонкодисперсных препаратов лигнина связывать формальдегид разработана методика, основанная на их взаимодействии с  $\text{CH}_2\text{O}$  в водной среде. В коническую колбу при постоянном перемешивании загружали расчётное количество воды, формальдегида и лигнина. Колбу подключали к обратному холодильнику, приготовленную смесь нагревали на электрической плитке до 100 °С. По истечении одного часа с момента закипания воды смесь снимали с плитки и охлаждали до комнатной температуры. Содержание  $\text{CH}_2\text{O}$  определяли фотометрическим методом с использо-

ванием ацетилацетона [4]. Определение проводили два раза: до кипячения смеси и после; разница полученных величин указывала на количество связанного формальдегида. Результаты нормировались в расчёте на 1 г препарата лигнина и интерпретировались как связывающая способность (С, мг/ 1 г).

Удельную поверхность ( $S_{уд}$ , м<sup>2</sup>/г) частиц каждого препарата лигнина рассчитывали с определённым допущением через эффективный диаметр частиц. В процессе использования препаратов лигнина, вводимых в карбамидоформальдегидное связующее, активная поверхность, на которой протекает процесс взаимодействия конкретного препарата лигнина с формальдегидом, может оказаться меньше геометрической, рассчитанной в предположении, что реальная частица изоморфна идеально геометрическому телу, в частности шару. Однако методика определения в данной работе происходит из того, что соприкосновение фаз случается многократно и, следовательно, получаемый результат является предельным вариантом взаимодействия. Размеры частиц исходного лигнина взяты из [1], а препарата УДЛ из [2]. Для препарата МДЛ условно приняли, что размеры частиц в результате паровзрывной обработки уменьшается на порядок.

В расчётах расхода гидролизного лигнина на конкретный опыт исходили из предполагаемого взаимодействия 1 моля  $CH_2O$  с условной единицей ФПЕ. В качестве основной ФПЕ была принята гваяцилпропановая единица с молекулярной массой 166 а.е.м. Определение связывающей способности различных препаратов гидролизного лигнина сведены в таблицу.

Таблица – Количество связанного формальдегида

Препарат тонкодисперсного лигнина	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г (х)	С, мг/1г препарата (у)
Исходный лигнин	0,15	2±0,4
Мелкодисперсный лигнин из отвала	0,69	6±2,4
Мелкодисперсный лигнин с завода	0,69	9±2,0
Ультрадисперсный лигнин	1,4	27±1,2

Экспериментальные данные приведены на рисунке; их обрабатывали методом линейной корреляции с нахождением коэффициента корреляции  $r$  и уравнения прямой регрессии. Коэффициент корреляции находили по формуле (1), в которую подставляли обработанные экспериментальные значения, полученные по десяти параллельным образцам ( $n = 10$ ).

$$r = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{1}{s_x s_y} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (1)$$

тогда  $r = 0,88$ .

Уравнение регрессии находили по формуле (2).

$$y = y_{cp} + r \cdot \frac{s_y}{s_x} \cdot (x - x_{cp}). \quad (2)$$

$$y = 0,88x + 1,23$$

Из данных обработки следует, что связывающая способность препаратов лигнина на 88 % определяется удельной поверхностью частиц, а на 12 % – сторонними факторами, которые предстоит выявить в последующей работе.

Исходный гидролизный лигнин не годен для связывания  $\text{CH}_2\text{O}$  по причине низкой удельной свободной поверхностной энергии частиц.

Препараты ультрадисперсного и мелкодисперсного лигнина способны связывать формальдегид и в этом ряду препарат УДЛ существенно превышает препарат МДЛ благодаря удвоенной удельной поверхности. Вероятно, процедура получения на роторной установке не только приводит к возрастанию удельной поверхности, но и к раскрытию новых функциональных групп [1].

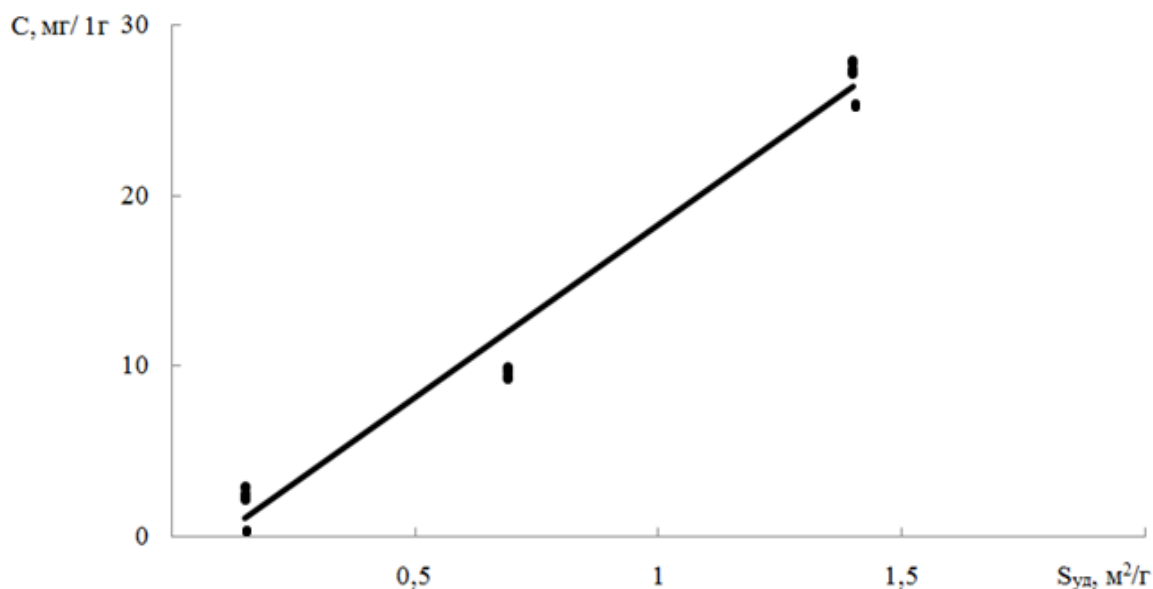


Рисунок. Корреляция удельной поверхности тонкодисперсных препаратов лигнина и их связывающей способности по отношению к формальдегиду

Таким образом, тонкодисперсные препараты гидролизного лигнина способны выступать в качестве сорбента формальдегида благодаря измельчению, которое обуславливает высокую удельную свободную поверхностную энергию частиц. При этом не исключается возможность его дальнейшего химического взаимодействия с  $\text{CH}_2\text{O}$  при горячем прессовании древесных плит на карбамидоформальдегидном связующем. Применение препарата УДЛ является предпочтительным, т.к. он имеет наибольшую связывающую способность из изученных препаратов лигнина. Его использование позволит проводить модифицирование карбамидоформальдегидного связующего, что в свою

очередь позволит избежать его негативного влияния на наполняемую модификатором смолу без ухудшения прочности клеевого шва.

### **Выводы**

1. Процесс модифицирования гидролизного лигнина позволяет получить тонкодисперсные препараты, обладающие технически приемлемой способностью связывать выделяющийся при отверждении карбамидоформальдегидного связующего формальдегид.

2. Связывающая способность лигнина по отношению к формальдегиду зависит от его удельной поверхности, определяемой степенью диспергирования его частиц.

Препараты лигнина любезно предоставлены доцентом Крутовым С.М. за что авторы приносят ему глубокую благодарность.

### **Литература:**

1. Ипатова Е.В., Крутов С.М., Евтюгин Д.В. Расщепление технических лигнинов в щелочной среде // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 208. С. 152–161.

2. Крутов С.М., Гравитис Я.А., Ипатова Е.В., Ахмадуллина А.Р., Анджс М.М., Тупчаускас Р.Р., Пранович А.В., Васильев А.В. Экстрактивные вещества технических лигнинов после паро-взрывных обработок // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. 2016. №1(89). С. 18-25.

3. Леонович А.А., Иванов Д.В. К вопросу минимизации содержания формальдегида в древесных плитах // Древесные плиты: теория и практика: 20-я Междунар. Науч.-прак. конференция, 15-16 марта 2017 г. – СПб, 2017 г. С. 27-31.

4. Роффээль Э. Выделение формальдегида из древесностружечных плит: Пер. с нем. А.П. Шетембаха и В.Б. Семеновой / Под редакцией А.А. Эльберта. – М.: Экология, 1991 г. – 160 с.

УДК.815/817.41

### **Перспективы выработки энергии для производства древесных плит**

***Д. Керсэбилк, А. Туганов***

*Vyncke N.V.*

*Сообщается краткая история развития компании Vyncke, опыт и перспективы обеспечения предприятий древесных плит оборудованием для выработки энергии, в частности фирменными энергетическими установками.*

Vyncke N.V. является семейной компанией с центральным офисом в Харлбеке, Бельгия. В течение 103 лет своего существования предприятие

превратилось в поистине глобальный бизнес с годовым оборотом 100 млн. евро и численностью сотрудников 400 человек.

В 1912 г. кузнец Луи Винке основал бизнес по ремонту паровых угольных котлов. Теперь уже четвертое поколение семьи – Питер и Дитер Винке являются соуправляющими и собственниками бизнеса, принадлежащего им с 2002 года. Братья купили его у своего отца, Дирка Винке, следуя семейной традиции.

Без малого 400 сотрудников компании Vynske, известных по всему миру как «Винкениры», гордятся принадлежностью к большой семье Vynske.

Первоначально Луи выполнял работы по ремонту котлов, работающих на угле, а затем начал их собственное производство. Позднее, в силу развитого льняного производства в регионе, он начал производство котлов, топливом для которых являлись отходы производства льна и текстильной промышленности.

Таким образом, сам того не подозревая в то время, он положил начало продолжительной приверженности компании Vynske концепции превращения биомассы в энергию, которая, по нашему мнению, соответствует сегодня последнему слову техники.

Ближневосточный топливный кризис 1972 г. дал Vynske повод задуматься о биомассе как об источнике энергии: ископаемое топливо для котлов значительно подорожало и его доступность значительно уменьшилась. Вследствие этого древесные отходы и остатки производства мебельных фабрик (ранее складированных), стали основным источником топлива для котлов компании Дирка Винке. Производимая ими энергия использовалась для обогрева предприятий.

В 1950-х и 60-х гг., был отмечен рост производства древесных плит в Бельгии, основным сырьем для производства плит служили волокна льна (иногда с примесью древесины). Такие компании как Unilin, Linopan, Interlin и другие использовали это местное сырье. Таким образом, было положено начало участия Vynske в бизнесе предприятий-изготовителей плит, в том числе поставки энергетической системы бельгийскому производителю древесных плит Agglo (ныне Norbord).

В 1978 г. Дирк Винке поставил первый котел на предприятие деревообработки в Сингапур, и открыл там первый зарубежный офис компании. По мере того как тамошние деревообрабатывающие предприятия перебазировались в другие страны Юго-Восточной Азии, экспортные поставки Vynske переместились вслед за ними. В дальнейшем, в 1980-х гг. остатки производства пальмового масла и рисовая шелуха стали новыми видами биотоплива для водогрейных и паровых котлов, которые компания стала поставлять в Африку, Азию и Латинскую Америку.

В середине 90-х гг. компания Vynske активизировалась в секторе производства древесных плит на рынке Юго-Восточной Азии. В качестве топлива для энергетических установок на биомассе была использована кора каучукового дерева, более 70 % котлов в этой отрасли были поставлены бель-

гийской компанией, в это же время коллектив предприятия был усилен дополнительными инженерными ресурсами.

В начале 2000-х гг. началось бурное развитие производства древесных плит в Китае. Vyncke China Ltd была открыта в Сучжоу, Китай, в 2007 г. Подразделение имеет свой офис, местный инженерно-технический персонал и производственные помещения. В 2012 г. силами китайского предприятия была спроектирована и изготовлена первая энергетическая установка для компании Vanachai в Suraburi, Таиланд. Затем Vyncke открывает в Китае совместное предприятие с итальянским производителем транспортёров компанией Trasmec. На этом предприятии Trasmec изготавливает конвейеры для различных отраслей промышленности и Vyncke зачастую является его клиентом по закупке транспортеров для подачи биомассы и удаления золы для своих энергетических систем.

Первое совместное предприятие Forbes Vyncke было создано в Индии в 2007 г. На сегодняшний день более 80 энергоустановок, работающих на биомассе (древесные и сельскохозяйственные отходы) поставлено в Индию и соседние страны для широкого спектра отраслей промышленности. Новые производственные мощности Forbes Vyncke в Индии были построены и запущены в работу в 2013 г.

Компания Vyncke Sdn Bhd в Куала-Лумпуре была создана 20 лет назад, и в настоящее время коллектив состоит из 25 человек: менеджеры по продажам, менеджеры по проектам, инженеры-дизайнеры.

Затем Питер Винке создает еще одно совместное предприятие – Callens Vyncke. Эта компания предоставляет своим заказчикам решения по когенерации, где в качестве топлива используется пригородный газ.

Компания также насчитывает семь региональных отделений, большинство из которых мы уже упоминали – в Бельгии, Чехии, Китая, Бразилии, Малайзии, Таиланде и Германии.

Vyncke также имеет долю в совместном предприятии XANT, находящемся в Бельгии. Компания производит ветряные турбины мощностью до 300 кВт, которые могут транспортироваться в 40-футовом контейнере и легко монтироваться в полевых условиях. Это решение нацелено на клиентов, находящихся в удаленных районах. Таким образом XANT стал частью диверсификации энергетического бизнеса компании.

Около 30...40 % оборота Vyncke генерируется на рынке деревообработки, в основном с производителями древесных панелей, около 40 % в секторе сельского хозяйства и пищевой промышленности, в то время как рынок энергетики, где топливом для котлов является биомасса, является еще одним быстрорастущим рынком.

Важным шагом в стратегии глобализации производства стала аренда производственного цеха возле г. Фридек-Мистек в Чехии. Vyncke стала первой компанией, которая зарегистрировала офис продаж в Праге в 1992 г. Этот филиал компании поставил около 30 котлов в 1990-х гг. в Чехии и Словакии, после чего был сделан вывод о том, что бизнес нуждается в собственном локальном производстве. Таким образом, в 2000 г. был арендован произ-



водственный цех и уже в 2001 г. начался выпуск оборудования Vyncke чешского производства. Одним из первых крупных проектов этого восточноевропейского филиала был энергоцентр для клиента в Чили мощностью 40 МВт.

Начиная с 2007 г. чешский филиал Vyncke осуществляет полный цикл работ по дизайну энергетических установок на биомассе, первым таким проектом стала установка для производителя древесных плит компании Duratex в Бразилии.

К этому времени подразделение в Чехии было полностью укомплектовано, только инженерный отдел состоял из 25 человек, а в 2007...2008 гг. была достигнута новая технологическая высота: спроектирована и изготовлена своими силами установка мощностью 90 МВт для производителя MDF в Германии.

Производство в Чехии было уже хорошо организовано. В 2014 г. семь новых проектов находилось в стадии выполнения и потребности в расширении производства в Чехии стали очевидными. Новый цех был построен рядом с существующим зданием, что привело к увеличению производственных площадей с 3200 до 5400 м<sup>2</sup>.

На сегодняшний день компания располагает в Чехии полностью укомплектованным штатом инженерных сотрудников в количестве 60 человек. Работая в постоянном тесном контакте с офисом компании в Бельгии, наши специалисты разрабатывают и изготавливают энергетические установки для производителей древесных панелей по всему миру.

Производственные мощности в Фридек-Мистек (Чехия) являются наиболее важными в группе Vyncke с точки зрения роста производства, в то время как завод компании в Сучжоу (Китай) занимает второе место, оставив Харлбеке (Бельгия) на третьем месте.

### **Энергетические установки Vyncke**

Компания располагает своими базовыми технологиями сжигания, опираясь на которые она изготавливает соответствующее оборудование в своих собственных мастерских, в то время как стандартные стальные конструкции могут быть предоставлены нашими поставщиками по месту для экономии транспортных расходов при реализации зарубежных проектов. Однако динамические колосниковые решётки с водяным охлаждением – это сердце энергосистемы, и они всегда изготавливаются только на своем производстве.

Возможность использования более одного вида топлива с различным гранулометрическим составом и различным содержанием влаги является важным фактором в достижении гибкости работы энергетических установок и является их значительным преимуществом. Другим моментом, который нужно учитывать, является ужесточение регулирования выбросов парниковых газов, особенно в Европе. Контроль выбросов также является частью нашей компетенции.

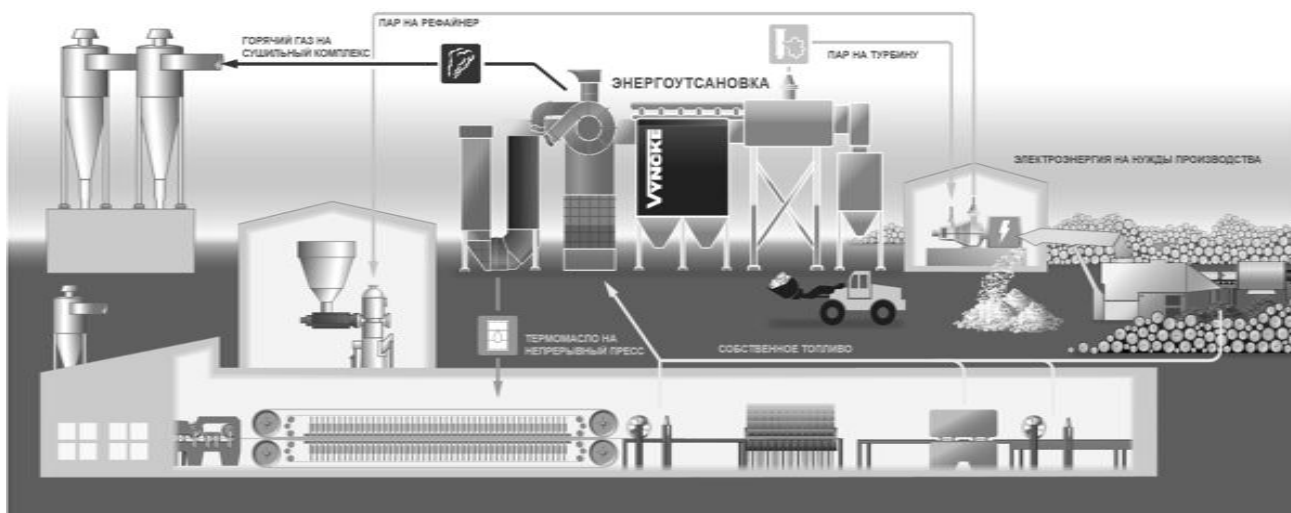


Рис. 1. Многосредная установка на различных видах топлива.

Энергоустановка является ключевым компонентом в составе линии производства древесных панелей и ее надежность рассматривается Vyncke как принципиальный момент. Компоненты динамических колосниковых решеток с водяным охлаждением, оборудование и материалы топочных камер сжигания, системы охлаждения являются важнейшими элементами для достижения надежности энергоустановок.

Водяное охлаждение рамы и ступеней колосниковой решетки предотвращает нарастание шлаков на колосниках и на стенках камеры сжигания, которое, например, может возникнуть в случае наличия в топливе меламина (ламинированные панели), плавящегося при высоких температурах. Решение подобных проблем может быть очень затратным для предприятий, производящих древесные панели; именно поэтому Vyncke предлагает свою систему сжигания на динамичной колосниковой решётке с водяным охлаждением, особенно для топлив с высокими значениями теплотворной способности.

По сравнению со стоимостью непрерывного пресса, формирующей машины или установки обрезки и раскроя готовой продукции, энергосистема линии производства древесных плит рассматривается как относительно небольшая инвестиция, однако в случае ее отказа вся производственная линия древесных панелей будет остановлена соответственно.

Все компоненты энергоустановки Vyncke спроектированы для достижения максимальной загруженности и обеспечения непрерывной работы основных производственных линий предприятий-производителей древесных плит. Реализация передовых инженерных решений позволяет безостановочно поставлять энергию для нужд производства только с одной остановкой в год для проведения очистки, обследования технического состояния и проведения плановых ремонтных работ.

На сегодняшний день самой крупной динамичной колосниковой решёткой, изготовленной на производстве Vyncke в Чехии для португальского производителя MDF SONAE, стала установка из двух блоков, каждый массой

65 тонн. Горячая вода, образующаяся при охлаждении динамической колосниковой решетки, используется для нагрева первичного и вторичного воздуха.



Рис. 2. Динамическая колосниковая решётка с водяным охлаждением

Одним из последних реализованных проектов в Европе для сектора производства древесных плит и деревообработки стали энергоцентры для Swedspan/Ikea Industries в Словакии, Pfleiderer и Tartak в Польше и другие. За пределами рынка производства древесных панелей, последними проектами по обеспечению промышленных клиентов Российской Федерации установками с чистой энергией стали предприятия – лидеры агропромышленного рынка, какими являются Cargill и DeltaWilmar .

Vyncke также выбрана компанией Kronospan как поставщик энергетической установки для новой линии MDF в Болгарии, в Велико Тырново. В настоящий момент ведутся работы по монтажу данной установки мощностью 60 МВт на строительной площадке. Запуск производства запланирован на август 2017 г. 50 МВт общей тепловой энергии будет получено на динамической колосниковой решетке энергоцентра. Система сжигания древесной пыли будет генерировать дополнительно до 28 МВт тепловой энергии. Суммарная тепловая мощность ограничена 63 МВт и позволит генерировать 60 МВт полезной мощности, таким образом, КПД установки составляет 95 %. Полезная мощность 60 МВт распределена между двумя теплоносителями в соотношении 50/50: ими являются термомасло и горячий газ.

### **Промышленность древесных плит**

Vyncke накопила многолетний опыт работы в древесной плитной промышленности. Разработки компании полностью сосредоточены на энергоустановках и на применении различных видов топлива для генерации энергии.

Среди производителей плит существует тенденция перейти от решения под ключ (завода по производству древесных плит целиком) к отдельным поставкам отдельных компонентов производственной линии. Например, Ikea Industries (в прошлом SWEDSPAN) разместила заказ на энергетическую установку напрямую у Vyncke, исключив ее из комплектной поставки прессы и сушилки.

Некоторые производители древесных плит не имеют достаточного количества своего топлива на территории предприятия. Vyncke обладает достаточным опытом для проектирования и изготовления установок, работающих на различных видах биомассы, в том числе по древесным отходам, содержащим значительное количество загрязняющих веществ и имеющих высокое содержание влаги. В данном случае наиболее целесообразным будет использование динамической колосниковой решетки DWS с водяным охлаждением и привлечение специалистов по сжиганию для разработки эффективного контроля выбросов загрязняющих веществ.

Есть три основных параметра, которые следует учитывать при выборе получаемого стороннего топлива:

- влажность;
- характеристики плавкости золы (поскольку зола с низкой температурой плавления приводит к образованию шлаковых наростов);
- размерность топлива.



Рис. 3. Общий вид установки Vyncke

В зависимости от этих факторов Vyncke предлагает различные типы динамических колосниковых решеток: с воздушным охлаждением, наполо-

вину водяным охлаждением и гибридную модель с водяным охлаждением или наполовину водяным охлаждением. Гибридная модель колосниковой решетки наиболее хорошо подходит для плитной промышленности в случае использования различных видов топлива.

Моделирование процесса сжигания является основой – колосниковая решетка, топка, подача воздуха, подача топлива, охлаждение и контроль выбросов. Специально обученные инженеры Vyncke используют программное обеспечение Power Plan Simulation and Design (PPSD) для моделирования процессов энергоустановки и ее дизайна.

Многие предприятия плитной промышленности вырабатывают не прямой пар для рефайнера посредством термомасляного парогенератора. Напротив, Vyncke предлагает производство прямого пара, в дополнение к нагреву термомасла, а также горячего воздуха для сушки, если это требуется.

Для производственного процесса древесноволокнистых плит требуется горячий газ и пар одновременно: Vyncke разработала концепцию такой установки.

Подразделение компании в Южной Америке получило новые заказы от компаний Berneck, Guararapes, Duraplay, Masisa и PlacadoBrazil. Несколько проектов в настоящее время находятся в стадии реализации в регионе Юго-Восточной Азии. Vanachai MDF, Metro PB, Metroply, SPB – это текущие проекты.

## Алфавитный список авторов

**Багаев Анатолий Алексеевич** – доцент кафедры технологии древесных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: wood-plast@mail.ru)

**Бардонов Василий Андреевич** – генеральный директор ООО ЦСЛ "Лессертика", к.т.н., академик РАПК, г. Балабаново (E-mail: lessertika@ya.ru)

**Бардонов Игорь Васильевич** – главный инженер ООО ЦСЛ "Лессертика", г. Балабаново (E-mail: lessertika@ya.ru)

**Бирман Алексей Романович** – профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, д.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: tlzp@inbox.ru)

**Благодарная М.А.** – магистрант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург

**Васильев Виктор Владимирович** – доцент кафедры Технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: victorvasil@mail.ru)

**Васичев Алексей Геннадьевич** – руководитель филиала фирмы «ГреКон» в РФ и странах СНГ, г. Москва, тел. (499) 128-87-97, факс (499) 128-94-39, (E-mail: Alexey.Vasichev@grecon.ru)

**Гамова Ирина Александровна** – доцент кафедры технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: wood-plast@mail.ru)

**Грошев Иван Михайлович** – начальник ЦЗЛ ОАО «Витебскдрев», доцент кафедры Стандартизации УО «ВГТУ», к.т.н., г. Витебск, Республика Беларусь (E-mail: lab@vitebskdev.com)

**Денисова Дарина Владимировна** – инженер Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, (E-mail: darina.1991@yandex.ru)

**Дойлин Юрий Владимирович** – зам. Генерального директора ОАО «Витебскдрев» по сбыту, маркетингу и снабжению, г. Витебск, Республика Беларусь (E-mail: drev@vitebsk.by)

**Дэвид Керсэбилк** – инженер-технолог по производству древесных панелей компании Vyncke, г. Харелбеке, Королевство Бельгия (E-mail: ATU@vyncke.com)

**Иванов Даниил Валерьевич** – аспирант кафедры Технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург (E-mail: ivanov.d.v.SPVB@74.ru)

**Каменков Сергей Дмитриевич** – доцент кафедры технологии древесных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: wood-plast@mail.ru)

**Кислый Виктор Васильевич** – директор фирмы «МП» ДОМ», к.т.н., тел./факс 8 48438 22 999, (E-mail: mpdom@mail.ru)

**Князев Алексей Сергеевич** – директор Инжинирингового химико-технологического центра, д.х.н., (E-mail: knyazev@ect-center.com)

**Лаевский Сергей Игоревич** – магистр кафедры технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ имени С.М. Кирова

**Леонович Адольф Ануфриевич** – заведующий кафедрой технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства Санкт-Петербурга, Заслуженный работник высшей школы РФ, академик МАНЭБ, г. Санкт-Петербург (E-mail: woodplast@mail.ru)

**Лукин Владимир Геннадьевич** – доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТУ им. С.М.Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: wllu@yandex.ru)

**Мальков Виктор Сергеевич** – старший научный сотрудник Национального исследовательского Томского государственного университета, к.х.н., г. Томск, (E-mail: malkov.vics@gmail.com)

**Меркулова Александра Федоровна** – инженер кафедры Технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ, бакалавр, г. Санкт-Петербург (E-mail: merkulova.sasha@yandex.ru)

**Перминова Дарья Алексеевна** – аспирант, младший научный сотрудник Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, (E-mail: vyatkinadasha@gmail.com)

**Пивоварова А.А.** – магистрант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург

**Русаков Дмитрий Сергеевич** – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: dima-ru25@mail.ru)

**Соколова Виктория Александровна** – доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: sokolova\_vika@inbox.ru)

**Угрюмов Сергей Алексеевич** – профессор ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», д.т.н., г. Йошкар-Ола (E-mail: ugr-s@yandex.ru)

**Тимофеев Илья Витальевич** – магистрант кафедры технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ, бакалавр, г. Санкт-Петербург (E-mail: timfeev.ilya.v@gmail.com)

**Туганов Алексей** – менеджер по развитию бизнеса компании Vyncke в России и Восточной Европе, г. Харелбеке, Королевство Бельгия (E-mail: ATU@vyncke.com)

**Турдаков Алексей Николаевич** – магистр кафедры технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ имени С.М. Кирова

**Хоссейни Сейедех Захра** – аспирант кафедры Технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ, магистр, г. Санкт-Петербург (E-mail: seyedehzahrahoseini@yahoo.com)

**Цой Юрий Иванович** - профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, д.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: tsoi-yuriy@yandex.ru)

**Шалашов Александр Петрович** – Генеральный директор ЗАО «ВНИИДРЕВ», к.т.н., г. Балабаново, (E-mail: vniidrev@pochta.ru)

**Шелоумов Андрей Валентинович** – доцент кафедры технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии СПбГЛТУ имени С.М. Кирова, к.т.н., г. Санкт-Петербург (E-mail: wood-plast@mail.ru)



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i> .....	3
<i>Обращение к учёным и специалистам по производству, применению и контролю древесноплитных материалов</i> .....	4
<i>А.П. Шалашов.</i> Состояние и перспективы развития производства древесных плит в России. ....	6
<i>А.А. Леонович.</i> О древесных композиционных материалах ближайшего будущего .....	11
<i>В.В. Кислый.</i> Об экологических проблемах применения древесноплитных материалов в малоэтажных жилых зданиях. ....	17
<i>В.А. Бардонов, И.В. Бардонов.</i> Особенности сертификации древесных материалов в Европе, России, США. ....	18
<i>А.А. Леонович, Д.В. Иванов.</i> К вопросу минимизации содержания формальдегида в древесных плитах .....	27
<i>И.А. Гамова, А.Н. Турдаков.</i> Теплоизоляционные материалы из отходов древесины и пенополистирола. ....	31
<i>Д.А. Перминова, В.С. Мальков, Д.В. Денисова, А.С. Князев.</i> Влияние модификатора МД-219 на процесс отверждения карбамидоформальдегидной смолы. ....	37
<i>С.Д. Каменков, С.И. Лаевский.</i> Карбамидофенолоформальдегидная смола на основе карбамидоформальдегидного концентрата. ...	42
<i>А.Р. Бирман, Ю.И. Цой, В.Г. Лукин, В.А. Соколова.</i> Возможности улучшения технология склеивания древесины холодным способом .....	45
<i>С.А. Угрюмов.</i> Структура и свойства фенолформальдегидных смол, модифицированных фурфурол-ацетоновым мономером, применительно к производству плитных древесных материалов. ....	48
<i>Д.С. Русаков, А.А. Пивоварова, М.А. Благодарная.</i> Применение побочных продуктов сульфатно-целлюлозного производства для склеивания фанеры. ....	52
<i>С.З. Хоссейни, В.В. Васильев.</i> Изменение качества поверхности древесностружечных плит в зависимости от влажности микростружки .....	56

<b><i>В.В. Васильев, С.З. Хоссейни.</i></b> Современные требования к древесным плитам для отделки . . . . .	62
<b><i>М.И. Кравченко, Е.В. Нестерова.</i></b> Изучение процесса сушки влагона- сыщенной сосновой коры в лабораторных условиях. . . . .	71
<b><i>А.Ф. Меркулова, В.В. Васильев.</i></b> Определение содержания минеральных примесей и металла в древесных частицах для производства древесностру- жечных плит. . . . .	76
<b><i>А.А. Леонович, А.В. Шелоумов.</i></b> Синтез фосфоразотсодержащих анти- пиренов: процесс охлаждения на заключительной стадии . . . . .	80
<b><i>А.Г. Васичев.</i></b> Производство древесных плит с использованием совре- менных контрольно-измерительных приборов и установок фирмы «Грекон». . . . . . .	88
<b><i>А.А. Багаев, В.В. Васильев.</i></b> Деформация пропаренной древесины при- менительно к условиям получения древесного волокна. . . . .	95
<b><i>И.М. Грошев, Ю.В. Дойлин.</i></b> Использование состава и свойств отходов в качестве квалификационных признаков и прогнозирования способов их пе- реработки. . . . .	101
<b><i>И.В. Тимофеев, Д.В. Иванов, А.А. Леонович.</i></b> Тонкодисперсные препа- раты гидролизного лигнина как сорбенты формальдегида . . . . .	106
<b><i>Д. Керсэбилк, А. Туганов.</i></b> Перспективы выработки энергии для произ- водства древесных плит. . . . .	109
<b>Алфавитный список авторов.</b> . . . . .	117

## **ДРЕВЕСНЫЕ ПЛИТЫ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

**20-я Международная научно-практическая конференция  
15-16 марта 2017 г.**

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

---

Подписано в печать \_\_.\_\_.2017. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 6,19. Тираж 120 экз. Заказ xxx.

---

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного организаторами конференции,  
в типографии Издательства Политехнического университета.  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.



# АО НИИПлесдрев

Научно-исследовательский и проектный институт  
г. Тюмень

## Лауреат премии “ Российский лес - 2005 “

- Высококвалифицированные кадры
- Полная ориентация на рынках технологий, оборудования
- Современные компьютерные технологии
- Гарантия качества

### Проектируем :

с 1960 года предприятия:  
лесозаготовительные, лесопильно-  
деревообрабатывающие,  
по производству плит ДСП, МДФ, OSB,  
фанеры, мебели;  
жилые, общественные,  
административные здания и сооружения.

В 2013 году выполнен проект Томского  
завода ДСП мощностью 300 т.кбм,  
введен в эксплуатацию -2016 г.

### Разрабатываем:

- технологическую и  
конструкторскую документацию
- инвестиционные проекты, бизнес-планы.



Внедрена система менеджмента качества  
в соответствии со стандартами ИСО серии 9001 - 2011

625026 г. Тюмень, Одесская 52а

Тел. (3452) 20-45-10, 32-03-81 т/ф 32-16-98, 28-04-77 E-mail: [niiples@yandex.ru](mailto:niiples@yandex.ru)