

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674–4.028.9 (043.3)

ГАЙДУК
Сергей Сергеевич

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НАТУРАЛЬНОЙ ДРЕВЕСИНЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕЕВ, АКТИВИРОВАННЫХ
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет»

Научный руководитель **Шетько Сергей Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты: **Врублевская Валентина Ивановна**, доктор технических наук, профессор кафедры деталей машин, путевых и строительных машин учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Гришкевич Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»


Оппонирующая организация Кафедра металлических и деревянных конструкций Белорусского национального технического университета

Защита состоится 25 июня 2014 г. в 15.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, зал заседаний ученого совета, ауд. 240, корп. 4.
Тел.: (8-017) 327-83-41, факс: (8-017) 327-62-17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 24 мая 2014 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



Мохов С. П.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетным направлением развития деревообрабатывающей промышленности является рациональное использование сырья и производство экологически безопасной продукции в соответствии с европейскими нормами. Данные задачи можно решить путем склеивания древесины водно-дисперсионными поливинилацетатными (ПВА) клеями. На предприятиях, где производится склеивание натуральной древесины, в основном используются импортные клеевые материалы, их доля составляет 90–95% от общего объема потребления. Объем выпуска мебельного щита в Республике Беларусь составил около 360 тыс. м³, что потребовало израсходовать 2 тыс. т клея. Отечественные ПВА-клеи, которые в несколько раз дешевле импортных аналогов, не находят широкого применения по причине невысоких физико-механических показателей клеевых соединений на их основе, что обуславливает интерес к исследованиям, направленным на улучшение качественных показателей клееной натуральной древесины. Замена дорогостоящего импортного клея на более дешевый отечественного производства позволит снизить не только себестоимость продукции, но и в значительной мере решить задачу импортозамещения в деревообрабатывающей промышленности.

Перспективными направлениями улучшения физико-механических свойств клеевых соединений древесины являются модификация исходного клеевого материала высокодисперсными частицами и обработка клея в магнитном поле. Как показывает практика, введение даже незначительного количества высокодисперсных добавок приводит к значительному изменению свойств получаемого материала. Введение таких добавок приводит к изменению свойств самой полимерной матрицы и появлению свойств, характерных высокодисперсным частицам.

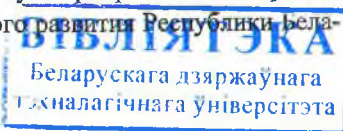
На сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствуют комплексные исследования по установлению влияния высокодисперсных добавок и обработки в магнитном поле на их свойства, а также на физико-механические показатели клеевых соединений древесины.

Из вышеизложенного следует, что актуальными являются исследования по установлению влияния высокодисперсных добавок и обработки клея магнитным полем на свойства клеевых соединений древесины на основе ПВА-клея отечественного производства.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям инновационного и социально-экономического развития Республики Бела-

1834 ар



реть в области импортозамещения и научному направлению кафедры технологии и дизайна изделий из древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет». Диссертация выполнялась в рамках следующих научных тем:

1. Инновационный проект «Разработать и внедрить на предприятиях мебельных и столярно-строительных производств Республики Беларусь технологию изготовления изделий из древесины с применением клеев и материалов для защитно-декоративных покрытий с улучшенными характеристиками за счет использования нанодобавок различного типа» (БС 10-057, № ГР 20101454), утвержденный приказом ГКНТ 06.01.2010 г. № 2, сроки выполнения 2010–2012 гг.

2. Государственная программа научных исследований «Химические технологии и материалы», подпрограмма «Химические технологии, реагенты и материалы», задание 2–39 (Республиканская госбюджетная тема ГБ 11-118 «Создание и исследование импортозамещающих клеевых материалов с улучшенными адгезионными и прочностными характеристиками при модификации отечественных поливинилацетатных продуктов и разработка методики применения новых композиционных клеевых материалов в деревообрабатывающей промышленности», № ГР 20114304, 2011–2013 гг.).

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы являлась разработка технологии получения клеевых соединений древесины в изделиях с высокими показателями прочности и водостойкости поливинилацетатных клеев, модифицированных высокодисперсными добавками или обработанных в магнитном поле.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

– определение возможности использования высокодисперсных частиц, снижающих краевой угол смачивания, в качестве модификатора для поливинилацетатных клеевых материалов с целью повышения прочности и водостойкости получаемых на их основе клеевых соединений древесины;

– разработка способа введения модифицирующей добавки и рецептуры клеевого материала;

– определение реологических свойств полученных клеевых материалов;

– определение возможности использования обработки клеевого соединения в магнитном поле для повышения физико-механических показателей клеевых соединений;

– разработка технологических режимов получения водостойких клеевых соединений древесины;

– определение основных физико-механических свойств клеевых соединений древесины;

– апробация результатов исследований в производственных условиях.

Объект исследования – полимерные водно-дисперсионные поливинилацетатные клеи, применяемые для склеивания древесины, а также технологии их применения.

Предмет исследования – механизм повышения водостойкости и прочности клеевых соединений, операции технологического процесса склеивания древесины.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика повышения физико-механических свойств клеевых соединений за счет введения в клеевой раствор высокодисперсных частиц в количестве 0,025–0,100% по массе.

2. Способ введения высокодисперсных добавок в клеевые материалы, в результате чего достигается равномерное распределение их по всему объему и увеличивается прочность клеевого соединения древесины до 13%, водостойкость – в 2,8–3,5 раза.

3. Метод изменения тиксотропных свойств клеевых материалов за счет введения модифицирующей добавки Na-КМЦ в количестве 2,5%, позволяющий предотвратить возможность склеивания мебельных щитов во время технологической выдержки в стопе.

4. Способ увеличения прочности клеевых соединений древесины на основе клея ДФ 51/15 ВП за счет воздействия статического магнитного поля интенсивностью до 200 кА/м.

5. Технологический режим склеивания древесины модифицированными отечественными ПВА-клеями, позволяющий получить клеевые соединения древесины группы нагрузки D3, существенно снизить себестоимость продукции с годовым экономическим эффектом до 1,7 млрд. рублей при объеме производства мебельного щита 30 тыс. м³ (расчет проведен в ценах на сентябрь 2012 г.).

Личный вклад соискателя. Соискатель принимал непосредственное участие в формулировании целей и задач исследований, лично осуществлял планирование эксперимента, реализацию его в лабораторных и промышленных условиях, обработку экспериментальных данных. Автор участвовал в разработке рецептуры клеевого состава, технологических режимов склеивания, в обсуждении полученных результатов, подготовке публикаций. Новизна работы подтверждена получением патента Республики Беларусь («Клеевая композиция для древесины (варианты)» пат. 17706 от 08.11.2011).

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований диссертационной работы обсуждены на научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ в Белорусском государственном технологическом университете в 2010–2013 гг., на Республиканской научной

конференции студентов и аспирантов Республики Беларусь «НИРС-2011» (Минск, 2011), в рамках «Ярмарки инновационных идей» (Минск, 2011), на международных научно-технических конференциях «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов» (Минск, 2012) и «Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления» (Минск, 2012), на 19-й международной специализированной выставке «Деревообработка-2012» в рамках научно-практического семинара «Новые подходы, технологии, материалы в деревообрабатывающей отрасли. Задачи работников деревообрабатывающей отрасли по выполнению Национальной программы развития местных и возобновляемых источников энергии на 2011–2015 годы» (Минск, 2012), на Специализированной выставке и республиканском семинаре «Перспективы создания наноиндустрии в Республике Беларусь» (Минск, 2012).

Опубликованность результатов диссертации. По вопросам, относящимся к теме диссертации, опубликовано 13 печатных работ, в том числе: 6 статей в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК (2,12 авторских листа), 4 материала международных научно-технических конференций, 2 тезиса докладов в сборниках, получен 1 патент Республики Беларусь. Разработаны «Технологический регламент на изготовление клееных мебельных щитов на основе модифицированных отечественных поливинилацетатных продуктов (ПВА клеев)» и ТУ РБ 100354659.000–200.100–2012 «Поливинилацетатная дисперсия, модифицированная тиксотропными добавками (ПВАД-МТ)», которые утверждены концерном «Беллесбумпром» в качестве рекомендуемой базы при разработке нормативной базы для мебельных и деревообрабатывающих предприятий (приказ № 124 от 15.05.2014 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Полный объем диссертации 172 с., из них 29 с. занимают 27 иллюстраций и 28 таблиц; 14 с. – список использованных источников, включающий 150 наименований и 13 публикаций соискателя, и приложения на 68 с.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая оценка состояния проблемы. Обоснованы актуальность темы и необходимость проведения исследований.

Первая глава посвящена анализу состояния склеивания древесины в производстве столярно-строительных и мебельных изделий. Как показал обзор, все более широкое применение для склеивания древесины получают поливинилацетатные (ПВА) клеи. Основным фактором для выбора клеевых материалов этой группы является их экологическая безопасность. Однако, как и любые другие материалы, они обладают своими недостатками. Основным недостатком

ПВА-клеи являются невысокая водостойкость клеевых соединений древесины на их основе. Для повышения прочности и водостойкости клеевых соединений древесины проводятся различного рода модификации. Повышения водостойкости можно достигнуть путем введения соединений на основе формальдегида, полиизоцианатов, соединений на основе бора и т. д. В большинстве случаев это приводит к снижению экологической безопасности получаемого клеевого соединения.

Перспективным способом повышения физико-механических свойств клеевых соединений древесины является обработка клеевого материала внешними (электрическим и магнитным) полями. Такой тип обработки приводит к образованию упорядоченной структуры дальнего порядка и, как результат, к повышению адгезионной прочности клеевого соединения. Соответствующие исследования проводились для двухкомпонентных клеев, в то время как в мебельной промышленности Республики Беларусь используются в основном однокомпонентные клеевые материалы.

Повышения физико-механических показателей клеевых соединений древесины можно также достигнуть введением в клей в качестве модификатора высокодисперсных частиц. Для модификации полимеров наиболее часто используются углеродные нанотрубки и нановолокна, оксиды и гидроксиды металлов и т. д. Соответствующие исследования проводились за рубежом с использованием фенольных, бутадиен-стирольных и эпоксидных смол. Наибольший интерес представляют углеродные материалы, которые обладают рядом уникальных свойств.

Кроме физико-механических показателей клеевых соединений древесины важное значение имеют реологические и тиксотропные свойства клеевых материалов. Под тиксотропией понимается способность материала уменьшать вязкость (разжижаться) от механического воздействия и восстанавливать полностью или частично первоначальную вязкость после снятия нагрузки.

На основании анализа литературных данных сформулированы цель, задачи и основные направления исследований по теме диссертационной работы.

Во второй главе диссертационной работы приведена методическая часть, описаны объекты и методы их исследований.

В качестве объекта исследований использовался ПВА-клей отечественного производства марки ДФ 51/15 ВП в соответствии с ГОСТ 18992-80, импортируемые ПВА-клеи, которые наиболее широко представлены на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь: Клейберит 303, Кестокол 330, Йоват Йоваколь 103.10, Акцо Нобель 3359.

В качестве высокодисперсных добавок использовали углеродный материал (УНМ) (Институт тепло- и массообмена НАН Б, ИЧП «Перспективные исследования и технологии» ТУ ВУ 690654933.001–2011) с размером частиц

70 нм, силикатный материал (СНМ) (ГОСТ 13079–93) с размером частиц 400 нм, аэросил А-175 (ГОСТ 14922–77) с размером частиц 40 нм, бентонитовая глина (ГОСТ 7032–75) с размером частиц 600 нм.

Для изменения тиксотропных свойств использовались следующие материалы: аэросил А-175 (ГОСТ 14922–77), жидкое стекло (ГОСТ 13078–81), натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (ТУ 6–55–40–90), древесная мука (ГОСТ 16361–87), бентонитовая глина (ГОСТ 7032–75).

Анализ работ доктора наук Хакимуллина В. Н. показывает, что наиболее сложной технологической операцией при использовании высокодисперсных частиц является их равномерное распределение в клеевом составе. В лабораторных условиях для получения равномерного распределения углеродных (УНМ) и силикатных (СНМ) добавок по объему клея осуществлялась обработка связующего с помощью ультразвукового диспергатора. Этот способ требует сложной ультразвуковой техники, что значительно усложняет его использование в производственных условиях. Для производственных условий лучшим способом является предварительная подготовка суспензии «жидкость – материал» и введение ее в клеевой состав с последующим перемешиванием в диссольвере.

Расчетное количество суспензии вводилось в клей, и смесь перемешивалась 15 минут в диссольвере.

При проведении испытаний по определению прочности и водостойкости клеевых соединений древесины и реологических свойств количество высокодисперсных частиц в клее составляло: 0,025, 0,050 и 0,100%. В случае использования меньшего, чем 0,025%, количества добавки значительно усложняется процесс равномерного распределения материала по всему объему клея, использование же больше, чем 0,100%, не приводит к улучшению физико-механических свойств получаемых клеевых соединений. Модифицирующие добавки для изменения тиксотропных свойств вводились в клеевой материал методом прямого введения с последующим перемешиванием в диссольвере.

Основными показателями для изделий из клееной древесины являются прочность (ГОСТ 15613.1–84) и водостойкость (ГОСТ 17005–82) клеевых соединений. Эти стандарты предусматривают проведение испытаний на образцах древесины сосны (прочность сосны – 6,5 МПа), что не позволяет в полной мере оценить прочность клеевого соединения (должна быть более 10 МПа). Поэтому сотрудниками кафедры технологии и дизайна изделий из древесины и соискателем разработана «Методика определения технологических свойств поливинилацетатных продуктов на основе модифицирующих добавок», в основу которой легли нормативы прочности водостойкости клеевых соединений древесины на сдвиг в соответствии с DIN EN 205. Для исследования прочности и водостойкости клеевых соединений использовались заготовки из древесины бука.

Выбор древесины этой породы для испытаний обусловлен ее равноплотностью, однородностью и высокими показателями прочности (12 МПа). Для производства мебельных щитов используются клеи марки D3.

За водостойкость клеевого соединения при определении группы нагрузки D3 принимается прочность клеевого соединения после выдержки в холодной воде на протяжении 4 суток.

Для склеивания образцов использовался гидравлический пресс ПСУ-50, а для испытания образцов – разрывная машина РМ-0,5.

Оценка краевого угла смачивания производилась по форме капли (прибор – бинокулярная лупа М-24).

Обработку клеевой прослойки магнитным полем производили в приборе УИМС-1.

Исследование реологических свойств клеев проводилось с использованием ротационной вискозиметрии (реометр Physica MCR 301) при непрерывной деформации в диапазоне скоростей сдвига $0,01\text{--}3000\text{ с}^{-1}$. В качестве измерительной ячейки использовалась система коаксиальных цилиндров.

Для подтверждения наличия или отсутствия тиксотропных свойств в клеях проводилось испытание на тиксотропность в 3 интервалах: покой – сдвиг – покой. Параметры измерения для первого и третьего интервала идентичны (скорость сдвига составляла $0,25\text{ с}^{-1}$). Первый интервал позволяет получить эталонное значение для свойств образца в состоянии покоя. Во втором интервале материал подвергается интенсивному сдвигу (скорость сдвига составляла 3000 с^{-1}), в третьем наблюдается восстановление структуры образца после деформации.

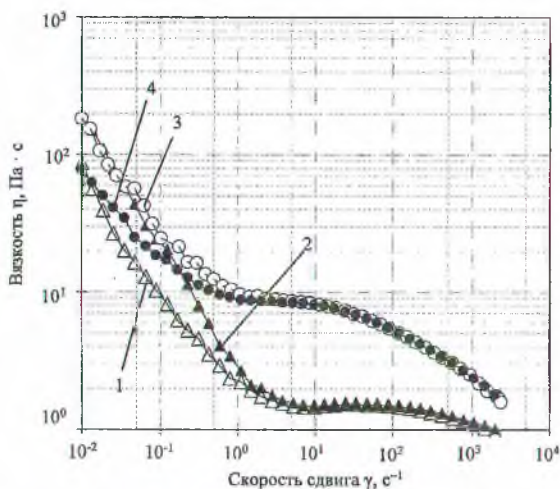
Экспериментальные результаты обрабатывались статистически с применением ЭВМ. Погрешность измерений при определении вязко-пластических свойств – 3%, в остальных исследованиях – не более 5%.

В третьей главе приведены результаты исследований влияния высокодисперсных добавок на вязко-пластические свойства клеевого материала, а также влияние добавок на тиксотропные свойства клеевого материала.

Для исследования вязко-пластических свойств использовались клеи ДФ 51/15 ВП и Клейберит 303. Выбор клея Клейберит 303 обоснован тем, что клеевое соединение на его основе обладает высокими физико-механическими показателями. В качестве модифицирующей добавки использовались углеродный высокодисперсный материал марки «Суспензия» (ТУ ВУ 690654933.001-2011) в количестве 0,05 мас. %, который вводился с последующим перемешиванием в ультразвуковом диспергаторе.

Известно, что для описания течения неньютоновских жидкостей, обладающих пределом текучести, Чеушнером была получена экспериментальная модель, которая наиболее точно описывает поведение этих жидкостей.

Анализируя реограммы (зависимости эффективной вязкости от скорости сдвига), представленные на рисунке 1, видно, что образцы имеют участки с постоянной вязкостью, т. е. течение близко к ньютоновскому. В случае клея ДФ 51/15 ВП – это участок $3,0-220 \text{ с}^{-1}$, в случае клея Клейберит 303 – $1,0-11 \text{ с}^{-1}$.



1 – клей ДФ 51/15 ВП; 2 – клей ДФ 51/15 ВП с углеродной добавкой; 3 – клей Клейберит 303; 4 – клей Клейберит 303 с углеродной добавкой

Рисунок 1 – Реограммы образцов ПВА-клеев

Для оценки соответствия экспериментально полученных данных предложенной модели реологического поведения жидкости проведена математическая обработка. Модель имеет следующий вид:

$$\tau = \tau_0 + b\gamma + c\gamma^n \quad (1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па;

τ_0 – условный предел текучести, Па;

b и c – параметры реологической модели, Па · с и Па · сⁿ;

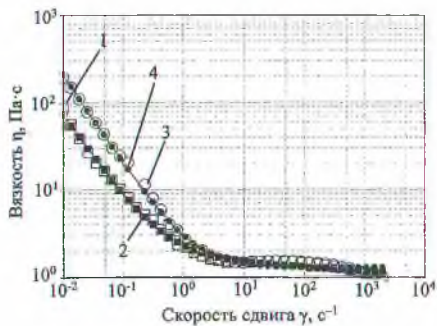
γ – скорость сдвига, с⁻¹;

n – показатель, характеризующий степень неньютоновского поведения материала.

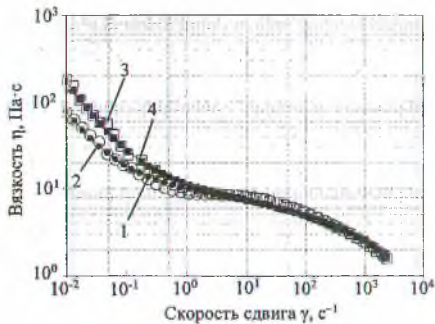
Результаты экспериментальных данных и результаты математической обработки представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, реограммы, полученные экспериментально (кривые 1 и 3) и путем математической обработки (кривые 2 и 4), совпадают, что подтверждает соответствие экспериментальных данных математической моде-

ли. Также следует отметить, что введение углеродной добавки в клей ДФ 51/15 ВП увеличивает предел текучести с 0,7 до 1,9 Па, что даже превышает предел текучести клея Клейберит 303 (1,6 Па).



1, 2 – клей ДФ 51/15 ВП; 3, 4 – клей ДФ 51/15 ВП с углеродной добавкой



1, 2 – клей Клейберит 303 с углеродной добавкой; 3, 4 – клей Клейберит 303

Рисунок 2 – Реограммы образцов ПВА-клеев, полученные экспериментальным путем (кривые 1 и 3) и с помощью аппроксимации полученных данных моделью Чеушнера (кривые 2 и 4)

На втором этапе исследований вязко-пластических свойств добавка вводилась в виде предварительно подготовленной суспензии «жидкость – материал» с последующим перемешиванием клеевой композиции в диссольвере.

Анализ кривых (рисунок 3) показывает, что с увеличением скорости сдвига снижается вязкость клея. Это известно из литературных источников, однако изменения эти нелинейны на разных скоростях сдвига. Для производственных условий наиболее интересен интервал скоростей сдвига от 0,1 до 10 с⁻¹. Для построения математической модели, описывающей экспериментальные данные, использовались уравнения Каро (2) или Каро – Галайтнера (3):

$$\eta = \frac{\eta_0 - \eta_{\text{inf}}}{(1 + (a \cdot \gamma)^2)^p} + \eta_{\text{inf}}, \quad \eta_0 - \eta_{\text{inf}} > 0 \quad (2)$$

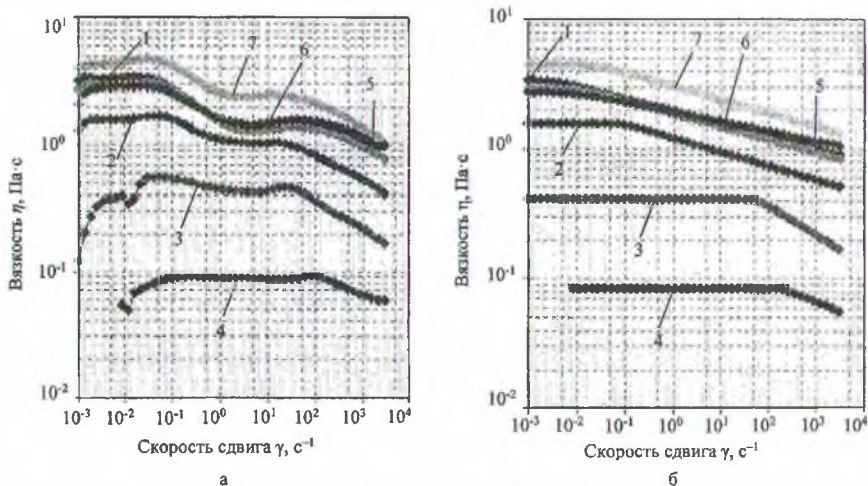
$$\eta = \frac{\eta_0 - \eta_{\text{inf}}}{(1 + (a \cdot \gamma)^b)^p} + \eta_{\text{inf}}, \quad \eta_0 - \eta_{\text{inf}} > 0 \quad (3)$$

где η_0 , η_{inf} – вязкость при нулевой скорости сдвига и скорости сдвига, стремящейся к бесконечности, Па · с;

γ – скорость сдвига, с⁻¹;

a – параметр консистенции материала, с;

b, p – параметры реологической модели.



1 – клей ДФ 51/15 ВП; 2 – клей ДФ 51/15 ВП + 0,025% УНМ;
 3 – клей ДФ 51/15 ВП + 0,050% УНМ; 4 – клей ДФ 51/15 ВП + 0,100% УНМ;
 5 – клей ДФ 51/15 ВП + 0,050% аэросил; 6 – клей ДФ 51/15 ВП + 0,050% бентонит;
 7 – клей ДФ 51/15 ВП + 15% клея Кестокол 330

Рисунок 3 – Реограммы модифицированных ПВА клеев, полученные экспериментально (а) и путем математической обработки (б)

Анализ кривых на рисунке 3 подтверждает соответствие экспериментальных данных математической модели с высокой степенью достоверности (0,93–0,97). Обобщая полученные экспериментальные данные, можно заключить, что введение в клей ДФ 51/15 ВП бентонита и аэросила практически не меняет его эффективную вязкость η . Введение в клей ДФ 51/15 ВП модификатора в виде клея Кестокол 330, напротив, повышает вязкость композиции в 1,4–1,7 раза. Углеродные добавки уменьшают эффективную вязкость композиции, что снижает технологические свойства клея.

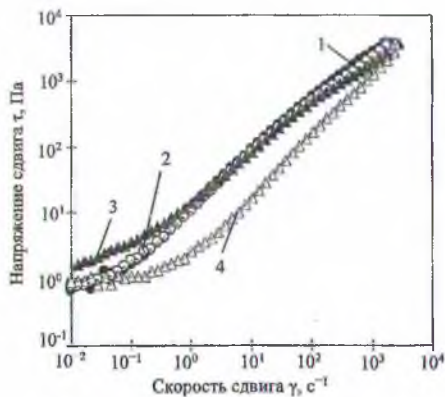
Исследования влияния температуры на вязко-пластические свойства модифицированного ПВА-клея показали, что полученные данные согласуются с общепринятыми представлениями о влиянии температуры на вязкость большинства жидкодисперсных материалов, а именно с повышением температуры вязкость снижается. Нагревание всех образцов (как с добавками, так и контрольного) до 60–80°C показало, что при таких температурах образцы начинают полимеризоваться. Таким образом, введение добавок не влияет на температуру отверждения клеевого материала, что в свою очередь не требует усложнения технологического процесса склеивания.

Актуальной проблемой при использовании клея ДФ 51/15 ВП на производстве является склеивание мебельных щитов между собой во время технологической выдержки в стопе. При использовании импортируемого клея Кесто-

кол 330 такого явления не наблюдалось. Склеивание щитов между собой в стопе происходит из-за уменьшения вязкости клея в процессе механического воздействия в момент его нанесения. Импортируемый клей Кестокол 330, в отличие от отечественного ДФ 51/15 ВП, практически сразу после нанесения возвращает исходную вязкость, что препятствует его стеканию с вертикальной поверхности и образованию подтеков на границе склеиваемых поверхностей. Поэтому времени выдержки под давлением в прессе достаточно для полного отверждения клея Кестокол 330 на границах поверхностей. В свою очередь, из-за подтеков клея ДФ 51/15 ВП этого времени недостаточно, что приводит к склеиванию щитов во время технологической выдержки в стопе.

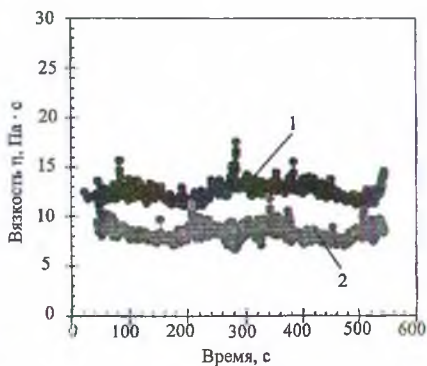
Для определения тиксотропных свойств клеев ДФ 51/15 ВП и Кестокол 330 были проведены испытания. Как видно из рисунка 4, кривые течения клея Кестокол 330, полученные путем нарастания (кривая 1) и путем убывания (кривая 2) скорости сдвига, совпадают, что означает отсутствие тиксотропных свойств. Кривые течения клея ДФ 51/15 ВП при нарастании (кривая 3) и убывании (кривая 4) скорости сдвига образуют петлю гистерезиса, что свидетельствует о наличии тиксотропных свойств.

Для подтверждения наличия тиксотропных свойств проведен 3-х интервальный тест, результаты которого представлены на рисунке 5.



1, 2 – клей Кестокол 330;
3, 4 – клей ДФ 51/15 ВП

Рисунок 4 – Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига



1 – клей Кестокол 330;
2 – клей ДФ 51/15 ВП

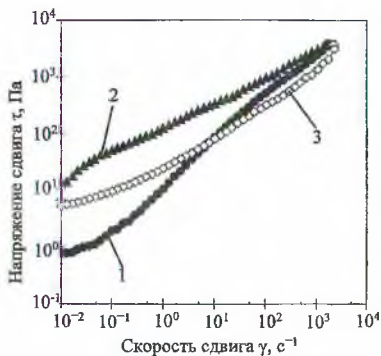
Рисунок 5 – Результаты испытания на тиксотропность в 3-м интервале

На первом этапе 3-интервального теста получено эталонное значение вязкости клея, которое составило порядка 12 Па·с. На третьем этапе исследования показали, что через 60 с после приложенной деформации образец клея ДФ 51/15 ВП восстановился только на 70% (кривая 2, рисунок 5) по сравнению

со значениями его эффективной вязкости в конце интервала покоя; через 500 с процент восстановления не увеличился и по-прежнему оставался на уровне 70%. Таким образом, за время, отведенное на проведение теста (550 с), восстановления образца клея ДФ 51/15 ВП так и не произошло.

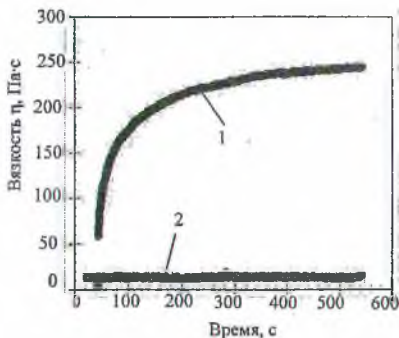
Для изменения тиксотропных свойств в клей ДФ 51/15 ВП в разном количестве вводились следующие добавки: Na-КМЦ, древесная мука, жидкое стекло, порошковая КМЦ, бентонит и аэросил.

Проведенные исследования показали, что наилучшими свойствами обладает клей, модифицированный 2,5 мас. % Na-КМЦ. Результаты определения напряжения сдвига представлены на рисунке 6, результаты 3-интервального теста – на рисунке 7.



1, 2 – кривые течения клея ДФ 51/15 ВП + 2,5% Na-КМЦ, снятые при нарастании и убывании скорости сдвига;
3 – кривая течения клея Кестокол 330

Рисунок 6 – Кривые течения модифицированного ПВА-клея



1 – клей ДФ 51/15 ВП + 2,5% Na-КМЦ;
2 – клей Кестокол 330

Рисунок 7 – Результаты испытания на тиксотропность в 3-м интервале для образцов ПВА-клеев

Кроме увеличения вязкости, добавка Na-КМЦ улучшает технологические свойства клея. Введение добавки, обладающей гелеобразующими свойствами, привело к появлению у клея пластичных свойств: τ_0 находится на уровне 5–7 Па (без модификатора – менее 1 Па). При этом при высоких скоростях сдвига вязкость модифицированного клея близка к вязкости клея Кестокол 330.

В четвертой главе приведены результаты исследований влияния высокодисперсных добавок и обработки клевого соединения в магнитном поле на физико-механические показатели клееной древесины (прочность и водостойкость клевого соединения), а также технологический режим склеивания модифицированным клеем.

Для определения влияния высокодисперсных частиц на физико-механические свойства клеевых соединений древесины (прочности и водостойко-

сти) использовались следующие добавки: углеродные (УНМ) и силикатные (СНМ), введенные прямым способом с дальнейшей обработкой в ультразвуковом диспергаторе, а также аэросил и бентонит, введенные в виде предварительно подготовленной суспензии «жидкость – материал» с последующим перемешиванием в диссоolverе.

Для комплексной оценки в эксперимент также были включены импортруемые ПВА-клеи, которые наиболее широко используются на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь.

Результаты проведения испытаний по определению прочности и водостойкости клеевых соединений древесины представлены в таблице.

Таблица – Прочность клеевых соединений древесины на основе поливинилацетатных клеев

Состав клеевой композиции	Прочность клеевого соединения при продольном скальвании, МПа, при выдержке после склеивания		
	7 суток на воздухе при $20 \pm 2^\circ\text{C}$	7 суток на воздухе, затем 4 суток в воде при $20 \pm 2^\circ\text{C}$	7 суток на воздухе, затем 4 суток в воде, затем 7 суток на воздухе при $20 \pm 2^\circ\text{C}$
Минимальное значение	10	2	4
Клей ДФ 51/15 ВП	9,45	0,44	5,20
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,025% УНМ	10,98	1,28	7,75
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,05% УНМ	9,87	1,35	8,06
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,025% СНМ	10,16	1,42	8,55
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,05% СНМ	10,62	1,46	8,62
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,025 % бентонит	10,43	1,35	5,48
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,050% бентонит	10,68	1,43	5,70
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,100 % бентонит	10,38	1,34	5,40
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,025 % аэросил	10,75	1,34	6,52
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,050% аэросил	10,20	1,24	5,72
Клей ДФ 51/15 ВП + 0,100% аэросил	10,15	1,24	5,81
Клей Клейберит 303	10,95	2,07	8,85
Клей Кестокол 330	10,80	2,04	8,75
Клей Йоват Иовакол 103.10	9,46	–	–
Клей Акцо Нобель 3359	8,65	1,01	6,65

Эксперимент показал (таблица), что модификация клея ДФ 51/15 ВП высокодисперсными частицами увеличивает прочность в 1,10–1,13 раза и водостойкость в 2,8–3,25 раза. Повышение физико-механических показателей клеевых соединений древесины, выполненных клеевым составом с высокодисперсными добавками, происходит в результате того, что многократно увеличивается

степень развитости контакта фаз (происходит изменение краевого угла смачивания (с 60 до 30°), т.е. за счет активации клея).

В соответствии с методикой испытаний наиболее важным и труднодостижимым показателем является прочность клеевого соединения после выдержки в холодной воде в течение 4 суток (водостойкость). Следует отметить, что необходимая нормативная водостойкость в результате этого эксперимента так и не была достигнута, поэтому были проведены дополнительные испытания для увеличения водостойкости и интенсификации процесса склеивания, путем изменения параметров технологического процесса.

Основными параметрами технологического режима склеивания являются давление, расход клея, продолжительность открытой выдержки, температура и продолжительность склеивания. В целях оптимизации технологических параметров склеивания древесины был реализован двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемых были выбраны факторы, в наибольшей степени влияющие на физико-механические показатели клееной древесины (прочность и водостойкость клеевого соединения): температура плит пресса (X_1 , °C) и продолжительность склеивания (X_2 , мин).

Для проведения испытаний использовались следующие клеевые композиции:

- клей ДФ51/15ВП + 0,030% УНМ + 2,5% Na-КМЦ;
- клей ДФ51/15ВП + 0,063% аэросил + 2,5% Na-КМЦ.

В результате реализации матрицы планирования эксперимента получены адекватные уравнения регрессии физико-механических свойств клеевых соединений. Соответственно экспериментальные модели для определения прочности (y_1) и водостойкости (y_2) клеевых соединений древесины модифицированным клеем имеют вид

$$y_1 = -0,877 + 0,064X_1 + 0,301X_2 - 0,00038X_1^2 - 0,002X_1X_2 - 0,02X_2^2;$$

$$y_2 = -1,03 + 0,246X_1 + 1,411X_2 - 0,002X_1^2 + 0,0166X_1X_2 - 0,21X_2^2.$$

Так как наиболее труднодостижимым показателем является водостойкость (y_2), то определение оптимального режима проводилось по этому показателю. Для определения оптимальных параметров склеивания была построена поверхность отклика (рисунок 8).

В результате анализа поверхности отклика (рисунок 8) установлено, что оптимальным режимом склеивания древесины модифицированным ПВА-клеем является следующий: температура плит пресса – 80°C, продолжительность склеивания – 1,8 мин, время открытой выдержки – 5 мин, расход клея – 200–250 г/м², давление прессования – 1 МПа.

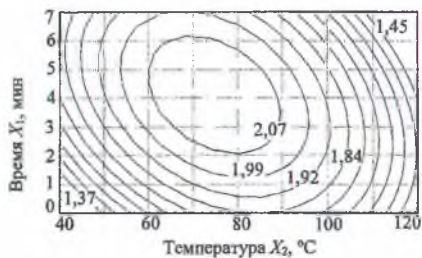


Рисунок 8 – Влияние температуры и продолжительности склеивания на водостойкость клеевых соединений древесины

Результаты лабораторных испытаний показали, что разработанный технологический режим позволяет получить клеевые соединения сопоставимые по физико-механическим свойствам с группой нагрузки D3. На основе этого режима был разработан технологический регламент и на ОАО «Могилевдрев» осуществлен выпуск опытно-промышленной партии мебельных щитов в объеме 1,5 м³ для изготовления мебели.

Результаты лабораторных испытаний показали, что разработанный технологический режим позволяет получить клеевые соединения сопоставимые по физико-механическим свойствам с группой нагрузки D3. На основе этого режима был разработан технологический регламент и на ОАО «Могилевдрев» осуществлен выпуск опытно-промышленной партии мебельных щитов в объеме 1,5 м³ для изготовления мебели.

По результатам проведенных исследований получен патент Республики Беларусь на клеевую композицию, содержащую силикатные или углеродные высокодисперсные добавки.

Проведенные исследования под руководством доктора наук Попова В. И. показали, что повышения прочности клеевого соединения можно достигнуть путем обработки клеевого шва магнитным полем. Анализ результатов показывает, что при интенсивности постоянного магнитного поля до 200 кА/м наблюдается увеличение прочности клеевых соединений на 5,3% по сравнению с образцом без обработки. Дальнейшее увеличение интенсивности поля не приводит к увеличению физико-механических показателей клеевых соединений древесины.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения в производство клееных изделий из натуральной древесины с применением модифицированного (высокодисперсными добавками) отечественного поливинилацетатного клея взамен импортного составляет 1,7 млрд. рублей при объеме производства 30 тыс. м³ мебельного щита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что высокодисперсные частицы, вводимые в состав ПВА-клея в дозировке от 0,025 до 0,100%, повышают физико-механические свойства клеевых соединений на их основе за счет активации клея [3, 4, 8, 9, 10, 13].

2. Разработан эффективный способ введения высокодисперсных добавок в ПВА-клей, включающий предварительную подготовку суспензии состава «жидкость – материал» с последующим введением ее в клеевой состав и перемешиванием композиции в диссольвере, который позволяет увеличить прочность клеевых соединений древесины до 13%, а водостойкость – в 2,8–3,5 раза [1, 2, 7, 11, 12].

3. Установлено, что модифицирующая добавка Na-КМЦ в количестве 2,5% увеличивает вязкость клеевого материала, предотвращает образование подтеков клея на границах склеиваемых поверхностей и исключает возможность склеивания мебельных щитов во время технологической выдержки в столе [5].

4. Установлено, что обработка клея ДФ 51/15 ВП в постоянном магнитном поле интенсивностью до 200 кА/м приводит к увеличению прочности клеевых соединений древесины на 5,3% [6].

5. Разработан технологический регламент склеивания древесины отечественными модифицированными ПВА-клеями, обеспечивающий повышение прочности и водостойкости клеевых соединений древесины до группы нагрузки D3, который позволил значительно снизить себестоимость продукции с годовым экономическим эффектом 1,7 млрд. рублей при объеме производства мебельного щита 30 тыс. м³ (расчет проведен в ценах на сентябрь 2012 г.), что решает проблему импортозамещения в инновационном производстве мебели и столярно-строительных изделий.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанная на основе регламента технология получения клеевых соединений в изделиях из натуральной древесины с улучшенными показателями прочности и водостойкости до группы нагрузки D3 на основе отечественного ПВА-клея, модифицированного высокодисперсными добавками, рекомендуется к использованию на деревообрабатывающих предприятиях, занимающихся склеиванием древесины при производстве мебельных и столярно-строительных изделий. При этом рекомендуется предварительная подготовка способом «жидкость – материал» с последующим введением в клеевую композицию и перемешиванием в диссольвере.

На ОАО «Могилевдрев» по разработанному «Технологическому регламенту на изготовление клеевых мебельных щитов на основе модифицированных отечественных поливинилацетатных продуктов (ПВА-клеев)» выпущена опытно-промышленная партия мебельных щитов в объеме 1,5 м³. Полученные изделия отвечали всем необходимым требованиям качества на данный вид продукции и характеризовались высокими показателями прочности и водостойкости клеевых соединений древесины и были поставлены на экспорт.



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи

1. Барташевич, А.А. Повышение водостойкости поливинилацетатных клеев / А.А. Барташевич, С.С. Гайдук, Н.А. Бедик // Труды БГТУ. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2011. – № 2. – С. 148–150.

2. Гайдук, С.С. Аэросил и бентонит как средство модификации поливинилацетатных клеев / С.С. Гайдук // Архитектура и строительные науки. – 2012. – № 2–3. – С. 51–53.

3. Гайдук, С.С. Исследование прочности и водостойкости клеевых соединений на основе ПВА дисперсий / С.С. Гайдук // Труды БГТУ. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2012. – № 2. – С. 172–174.

4. Гайдук, С.С. Реологические характеристики модифицированных поливинилацетатных клеев / С.С. Гайдук, Н.А. Бедик // Труды БГТУ. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2012. – № 2. – С. 175–178.

5. Гайдук, С.С. Исследование тиксотропных свойств клеевых материалов на основе поливинилацетата / С.С. Гайдук // Труды БГТУ. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2013. – № 2. – С. 130–134.

6. Исследование влияния внешних полей на прочностные показатели модифицированных клеев для древесины / Н.А. Бедик, В.А. Кузьмин, Е.В. Коробко, А.Н. Казак, М.А. Барташевич, С.С. Гайдук // Тепло- и массоперенос-2012. – 2013. – С. 58–63.

Материалы конференций

7. Барташевич, А.А. Модификация поливинилацетатных клеев / А.А. Барташевич, Л.В. Игнатович, С.В. Шетько, С.С. Гайдук // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды VI международного евразийского симпозиума / под научной ред. М.В. Галеева. – Екатеринбург, 2011. – С. 92–95.

8. Барташевич, А.А. Нанотехнологии в деревообработке / А.А. Барташевич, Л.В. Игнатович, С.В. Шетько, Л.М. Бахар, С.С. Гайдук // Современные проблемы переработки древесины: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 25–26 марта 2010 г. / Гос. лесотехн. акад. им. С.М. Кирова; редкол.: В.И. Онегин [и др.]. – СПб, 2011. – С. 39–44.

9. Гайдук, С.С. Ресурсосберегающая технология клеевых деревянных изделий / С.С. Гайдук, Е.В. Коробко, Н.А. Бедик // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 23–24 ноября 2011 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2011. – С. 176–178.

БІБЛІЯТЭКА
Беларускага дзяржаўнага
тэхналагічнага ўніверсітэта

1834 ар
17

10. Барташевич, А.А. Новые подходы технологии деревообработки на основе наноматериалов / А.А. Барташевич, С.С. Гайдук, Л.В. Игнатович, С.В. Шетько, Е.В. Коробко // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 ноября 2012 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.А. Левицкий [и др.]. – Минск, 2012. – Ч. 2. – С.140–143.

Тезисы докладов

11. Гайдук, С.С. Модификация поливинилацетатных клеев наноматериалами / С.С. Гайдук 76-я науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава Белорус. гос. технол. ун-та: тез. докл. 76-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 февраля 2012 г. [Электронный ресурс] / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 62.

12. Гайдук, С.С. Основные направления модификации поливинилацетатных клеев / С.С. Гайдук // НИРС-2011: сб. тезисов докладов, Минск, 18 октября 2011 г. / Белорус. гос. ун-т [и др.]; редкол.: С.В. Абламейко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 374.

Патент

13. Клеевая композиция для древесины (варианты): пат. 17706 Респ. Беларусь, МПК 7 С 09 J 131/04, С 09 J 11/00 / А.А. Барташевич, С.В. Шетько, Л.В. Игнатович, С.С. Гайдук, Н.Р. Прокопчук, Н.А. Бедик, Е.В. Коробко, З.А. Новикова; заявители Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Б и Белорус. гос. технол. ун-т. – № а20111490; заявл. 08.11.2011; опубл. 30.06.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 24.

РЕЗЮМЕ

Гайдук Сергей Сергеевич

Изготовление изделий из натуральной древесины с использованием клеев, активированных высокодисперсными добавками

Ключевые слова: высокодисперсные добавки, поливинилацетатный клей, композиция, рецептура, реологические свойства, предел текучести, эффективная вязкость, течение, тиксотропия, клеевое соединение, прочность, водостойкость, технологический режим

Цель работы: разработка технологии получения клеевых соединений древесины с высокими показателями прочности и водостойкости путем использования поливинилацетатных клеев, модифицированных высокодисперсными добавками или обработанных в магнитном поле.

Методы исследования: В процессе экспериментальных исследований были использованы следующие методы: ротационной вискозиметрии (реометр Physica MCR 301), определения прочности и водостойкости клеевых соединений древесины по методике, разработанной сотрудниками кафедры технологии и дизайна изделий из древесины и соискателем; определения тиксотропных свойств.

В ходе исследований установлено, что введение высокодисперсных добавок в композиции на основе поливинилацетатного клея наиболее целесообразно в виде предварительно подготовленной суспензии «жидкость – материал» с дальнейшим перемешиванием в диссольвере. Введение высокодисперсных добавок в поливинилацетатный клей в дозировке 0,025–0,100% приводит к увеличению прочности и водостойкости клеевых соединений древесины. Обработка клея в постоянном магнитном поле интенсивностью до 200 кА/м приводит к увеличению прочности клеевых соединений. Введение натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы в количестве 2,5% приводит к снижению вытекания клея на границе склеиваемых поверхностей, и тем самым к исключению возможности склеивания мебельных щитов в стопе во время технологической выдержки.

Область применения: производство изделий из клееной древесины с использованием поливинилацетатных клеев.

РЭЗІЮМЭ
Гайдук Сяргей Сяргеевіч

Вытворчасць вырабаў з драўніны з выкарыстаннем клеяў, актываваных
высокадысперснымі дабаўкамі

Ключавыя словы: высокадысперсныя дабаўкі, полівінілацэтатны клей, кампазіцыя, рэцэптура, рэалагічныя ўласцівасці, мяжа цяжучасці, плынь, тыксатрапія, клеявое злучэнне, трываласць, вадаўстойлівасць, тэхналагічны рэжым

Мэта работы: распрацоўка тэхналогіі атрымання клеявых злучэнняў драўніны з высокімі паказчыкамі трываласці і вадаўстойлівасці шляхам выкарыстання полівінілацэтатных клеяў, якія мадыфікаваны высокадысперснымі дабаўкамі ці апрацаваны у магнітным полі.

Метады даследавання: Падчас эксперыментальных даследаванняў былі выкарыстаны наступныя метады: ратацыйнай вісказіметрыі (рэометр Physica MCR 301); вызначэння трываласці і вадаўстойлівасці клеявых злучэнняў драўніны, распрацаваны супрацоўнікамі кафедры тэхналогіі і дызайну вырабаў з драўніны і суіскальнікам; вызначэння тыксатропных уласцівасцей.

Падчас даследаванняў устаноўлена, што ўвядзенне высокадысперсных дабавак у кампзіцыі на аснове полівінілацэтатнага клея найбольш мэтазгодна ў выглядзе папярэдне падрыхтаванай суспензіі «вадкасць – матэрыял» з далейшым перамяшваннем у дысольверы. Увядзенне высокадысперсных дабавак у полівінілацэтатны клей у колькасці 0,025-0,100% прыводзіць да павелічэння трываласці і вадаўстойлівасці клеявых злучэнняў драўніны. Апрацоўка клею ў пастаянным магнітным полі інтэнсіўнасцю да 200 кА/м прыводзіць да павелічэння трываласці клеявых злучэнняў. Увядзенне натрыевай солі карбоксиметылцэлюлозы ў колькасці 2,5% прыводзіць да зніжэння выцякання клею на мяжы паверхняў, якія склейваюць, і тым самым да выключэння магчымасці склейвання мэблявых шчытоў у стапе падчас тэхналагічнай вытрымкі.

Галіна выкарыстання: вытворчасць вырабаў з клеаснай драўніны з выкарыстаннем полівінілацэтатных клеяў.

SUMMARY

Sergey S Haiduk

Manufacturing of natural wood products with usage of fine-grained additives activated bonding materials.

Keywords: fine-grained additives, a polyvinyl acetate adhesive, composition, formulation, rheological properties, tensile strength, apparent viscosity, flow point, effective viscosity, flowing stream, thixotropy, adhesive joint, resistance, water resistance, production cycle.

Objective: development of technology for wood adhesive joints with high resistance and water resistance by the use of polyvinyl acetate bonding materials modified with fine-grained additives or processed in H field.

Research Methods: The following methods: rotational viscometry (flow meter Physica MCR 301), resistance and water resistance of the adhesive joints of wood evaluation according to the method developed by the staff of The Department of Technology and Design of Wooden Articles and the applicant; evaluation of the thixotropic properties have been used In the course of experimental researches

During research work it was found that it is the most appropriate to append additives in compositions based on polyvinyl acetate bonding material as a previously prepared slip «fluid-material» with further mixing dissolving drum.

Appending of fine-grained additives in the polyvinyl acetate bonding material in a dose of 0,025-0,100% provides increase resistance and water resistance of wood adhesive joints. Processing of bonding material in a constant H field intensity up to 200 kA/m leads to adhesive joints resistance increase. Appending of the sodium salt of carboxymethyl cellulose in an amount of 2,5% reduces the leakage of bonding material on the edge bonding surfaces, thereby eliminating the possibility of bonding to furniture panels in the stack during the production seasoning.

Field of Application: glued wood product manufacturing with usage of polyvinyl acetate bonding materials.

Научное издание

Гайдук Сергей Сергеевич

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НАТУРАЛЬНОЙ ДРЕВЕСИНЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕЕВ, АКТИВИРОВАННЫХ
ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.21.05 – древесиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

Ответственный за выпуск С. С. Гайдук

Подписано в печать 23.05.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.
Тираж 60 экз. Заказ 169 .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014
ЛПТ № 02330/12 от 30.12.2013.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.