

Дерево

ISSN 0011-9008

3/2020 обрабатывающая
промышленность

UNIVERSITY OF TORONTO
Университет Торонто
(г. Торонто, Канада)



University of Toronto

Университет Торонто

Университет Торонто (University of Toronto) – государственный исследовательский университет в Торонто, Онтарио, Канада, расположенный на территории, окруженной Queen's Park. Он был основан королевской хартией в 1827 года как Королевский колледж, первый институт высшего образования в колонии Верхней Канады. Первоначально контролируемый Англиканской церковью, университет принял настоящее имя в 1850 году, став светским учреждением. Как коллегиальный университет, он включает одиннадцать колледжей, которые отличаются по характеру и истории, каждый из которых обладает значительной автономией по финансовым и институциональным вопросам.



Академически Университет Торонто отмечен влиятельными движениями и учебными планами в литературной критике и теории коммуникации, известными коллективно как Школа Торонто. Университет был родиной исследований инсулина и стволовых клеток, а также был местом первого практического электронного микроскопа, развития технологии multi-touch, идентификации первой черной дыры Cygnus X-1 и разработки теории NP-полноты.



Структура университета Торонто

Университет, как правило, считается лучшим канадским университетом, согласно различным крупным публикациям. Структура университета состоит из следующих факультетов: факультет искусств и науки, факультет прикладной науки и техники, факультет архитектуры, ландшафта и дизайна, факультет лесного хозяйства, факультет информации, медицинский факультет, факультет кинезиологии и физического воспитания.

Дерево — 3/2020 обрабатывающая промышленность

ISSN 0011-9008

Учредитель: Редакция журнала
«Деревообрабатывающая промышленность»
Основан в апреле 1952 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по группе научных специальностей 05.21.00 – Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева.

Редакционная коллегия:



Главный редактор
Сафин Руслан Рушанович
д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический
университет»



Зам. главного редактора
Разумов Евгений Юрьевич
д.т.н., профессор

Czech University of Life Sciences Prague,
Faculty of Forestry and Wood Sciences,
Czech Republic

Торопов Александр Степанович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Царев Евгений Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Черных Михаил Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет
им. Калашникова»



Зам. главного редактора
ответственный за
международную ред. коллегию
Štefan Barčík, Prof. ing., Ph.D.

Technical university in Zvolen,
Faculty of environmental and
manufacturing technology,
Slovakia

Сафин Рушан Гареевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Баширов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский
технологический
университет»

Гаспарян Гарик Давидович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»

Григорьев Игорь Владиславович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Арктический государственный
агротехнологический университет»

Мазуркин Петр Матвеевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Романов Евгений Михайлович, д.с.-х.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

Рыкунин Станислав Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Семенов Юрий Павлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Dr. prof. Vlado Goglia
University of Zagreb, Croatia

Dr. prof. Ruzica Beljo Lucic
University of Zagreb, Croatia

Dr. prof. Nencho Delijski
University of Forestry, Bulgaria

Dr. prof. Ladislav Dzurenda
Technical University, Slovakia

Dr. prof. Etele Csanady
University of West Hungary

Dr. prof. Alfred Teischinger
BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
Austria

Marian Babiak, PhD, Dr.h.c.prof.RNDR.
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Адрес редакции:
117303, Москва, ул. Малая
Юшуньская, д. 1, корп. 1,

© «Редакция журнала
«Деревообрабатывающая
промышленность», 2020

journal_woodworking@mail.ru
www.dop1952.ru

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990
Формат бумаги 60x88/8
Тираж 720 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

Кручинин И.Н., Побединский В.В., Шакирзянов Д.И., Данилов В.В.

Система оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий переходного типа лесных автомобильных дорог 3

Побединский В.В., Кручинин И.Н., Шавнина М.В., Шакирзянов Д.И.

Нейронная сеть для оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесных автомобильных дорог 10

Физико-механические процессы в деревообработке

Рублева О.А.

Технология формирования клеевых соединений на прессованные шипы 19

Шейкман Д.В.

Расчет прочности паркетной планки 26

Казаков О.Д., Лукаш А.А., Лукутцова Н.П.

Эффективность комплексной переработки древесины мягких лиственных пород 31

Химическая технология древесины

Буриндин В.Г., Савиновских А.В., Артёмов А.В., Кривоногов П.С., Шкуро А.Е.

Физическая модификация сырья для получения древесного и растительного пластика без добавления связующего 38

Сафин Р.Г., Степанова Т.О., Зиатдинов Р.Р., Рябушкин Д.Г., Петров В.И., Сотников В.Г.

Конструктивный расчет пиролизной зоны установки производства активированного угля 45

Чирков Д.Д., Шкуро А.Е., Каменченко Е.А., Еришова А.С.

Исследование свойств древеснонаполненного полиуретана 55

Сафина А.В., Гизатуллина Л.И., Сафин Р.Г., Зиатдинова Д.Ф., Зиатдинов Р.Р.

Применение биологически активных веществ из лесных ресурсов в комбинированных кормах 62

Илалова Г.Ф., Саерова К.В., Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Сафиуллина А.Х.

Исследование высокотемпературного гидролиза соснового опила сернистой кислотой с целью увеличения выхода редуцирующих веществ 71

Лямина Л.В., Мухаметзянов Ш.Р., Мосина В.А.

Анализ протекания вакуумно-кондуктивной сушки стеновых древесно-стружечных панелей на основе термически обработанного древесного наполнителя 80

Лесоинженерное дело

УДК 625.768.5

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЙ ПЕРЕХОДНОГО ТИПА ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

И.Н. Кручинин, В.В. Побединский, Д.И. Шакирзянов, В.В. Данилов

Рассмотрена проблема совершенствования оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесных автомобильных дорог. В результате нестабильности гранулометрического состава и физико-механических параметров местных, некондиционных материалов, в настоящее время, строить и эксплуатировать подобные покрытия автомобильных дорог из подобных материалов достаточно проблематично. Как показывает практика, для подобных покрытий, чаще всего используются местные некондиционные строительные материалы, состоящие из низкосортных щебеночно-песчаных смесей, песчано-гравийных и некондиционных известняковых щебней. Использование подобных материалов вызывает значительные сложности, как в проектировании, так и в эксплуатации лесных дорог. Целью исследований была разработка методов оценки транспортно-эксплуатационных показателей дорожного покрытия лесных дорог. В задачи исследований входили экспериментальная оценка физико-механических свойств местных некондиционных каменных материалов, а так же проведение комплекса полевых испытаний, по оценке прочностных свойств покрытий, методом упругого прогиба. Упругий прогиб покрытия измерялся с помощью прогибометра, короткобазового. Результатами работы стала созданная методика оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий лесных дорог в виде зависимостей межзерновой пустотности, сдерживающих усилий между частицами, размерами частиц, количества циклов нагружения и модуля упругости покрытия. Учитывая достаточную адекватность полученной модели, она может быть рекомендована для использования в практике проектирования и эксплуатации лесных дорог.

Ключевые слова: лесные дороги, дорожные покрытия, модуль упругости дорожного покрытия, местные каменные материалы.

Введение

Переход к стратегии устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов предусматривает пересмотр методов функционирования системы транспортной обеспеченности лесного хозяйства и лесозаготовок. Лесные дороги должны не только обеспечивать систему лесозаготовок и транспортировки древесины, но и оказывать минимальное отрицательное влияние на экологическую и средообразующую функцию леса. При этом, чтобы обеспечить условия для устойчивого управления лесами, необходимо рассматривать определенные ограничения на выбор технических средств строительства, технологий строительства и эксплуатации лесных дорог. Лесные дороги, в отличие от дорог общего пользования имеют ряд существенных отличий, а именно: типы дорожных покрытий, проезжая часть чаще всего однополосная, низкая интенсивность дорожного движения; односторонняя грузонапряженность, ограниченный скоростной режим; использование однотипного подвижного состава автопоездов, отсутствие обочин и т.д.. Это привело к тому, что и конструкции дорожных одежд существенно отличаются от дорог общего пользования. Что касается возможности использования дорожно-строительных материалов в лесных дорогах, то оказалось, что наиболее применимыми остались только местные некондиционные материалы. Это или отходы промышленного производства, или низкосортные каменные материалы с нестабильным составом, или материалы непригодные для строительства автомобильных дорог общего пользования.

Еще одна особенность лесных дорог заключается в ограниченном сроке службы их покрытия. Причем на этом настаивают действующие нормативно-технические документы [9, 10, 11]. То есть обоснование типа дорожного покрытия лесных дорог рассматривается с позиции оценки интенсивности

дорожного движения, несущей способности дорожного покрытия и затратами на используемый дорожно-строительный материал.

Следует учесть и еще одну особенность лесных дорог, это методы оценки их транспортно-эксплуатационного состояния. В качестве основного критерия оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий переходного типа автомобильных дорог из местных материалов может служить их конструктивный параметр – модуль упругости. Этот параметр относится к любому конструктивному слою дорожной одежды и он является обобщающим параметром конструкций дорожных одежд, их отдельных слоев, а также и грунтов оснований.

Опыт оценки результатов измерения упругих прогибов конструктивных слоев показывает, что они варьируются в довольно широком диапазоне. На них оказывают существенное влияние неоднородность грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожной одежды, метеорологические факторы и др.

В нашем случае, для лесных автомобильных дорог можно воспользоваться нормативными требованиями, рассмотренными в [6]. Требуемый модуль упругости дорожной одежды для покрытий переходного типа должен составлять не менее 75 МПа. При этом модули упругости конструктивных слоев из каменных материалов, не обработанных вяжущими могут изменяться в диапазоне от 275 до 450 МПа [9].

Известно, что дорожные покрытия лесных дорог представляют собой дискретную среду, в которой ее составные частицы не связаны между собой сильными связями, или же эти связи являются слабыми [4, 15, 12]. В таких покрытиях особую роль играют вяжущие материалы, а при их отсутствии основным параметром будет являться только структурная прочность слоя. Структурная прочность для дискретных сред оценивается величинами взаимодействия между его составными частицами. Это или величина контактов между соседними зернами, или плотность зернистой среды.

Причем, дорожные покрытия будут обладать прочностью, которая зависит от размеров слагаемых частиц, их внешней формы, степени уплотнения и боковых расporов [8, 14]. Влияние фракционного состава на межзерновую пустотность рассмотрено в работе [2]. Интересно, что даже по прошествии полувека предложенные модели получили дальнейшее развитие при разработке нормативных документов для проектирования плотных асфальтобетонных смесей в Российской Федерации [1].

Таким образом, стратегия устойчивого развития лесопромышленного комплекса в значительной степени зависит от эффективности строительства и эксплуатации покрытий лесных дорог. Однако, на сегодняшний день необходимые методики строительства и оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий переходного типа отсутствуют, в основном из-за наличия условий неопределенностей в данных о физико-механических характеристиках некондиционных дорожно-строительных материалов. В этой связи создание новых, достоверных методов строительства и оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий лесных дорог из некондиционных материалов является актуальным направлением исследований.

Методы и материалы

Представленная работа была выполнена в рамках реализации инвестиционных проектов на территории Свердловской области, таких как «Открытие нового лесоперерабатывающего производства в п. Лобва Новолялинского городского округа», а также «Инвестиционный проект развития деревообрабатывающего предприятия Красноярский Леспромхоз ООО «Лесной УралСбыт».

В качестве объекта исследований были рассмотрены маршруты движения древесного сырья, с анализом типов дорожных покрытий. Предмет исследования - покрытия переходного типа, выполненные с использованием местных низкосортных песчано-гравийных смесей и некондиционных известняковых щебней. В процессе исследования были получены основные зависимости изменения зернового состава смеси каменного материала, а также межзерновой пустотности в зависимости от количества и интенсивности внешней нагрузки на материал.

Для оценки эксплуатационной надежности транспортно-эксплуатационного состояний покрытий лесных дорог, из местных низкосортных каменных материалов был предложен метод оценки прочности покрытий методом статического нагружения, с использованием рычажного прогибомера короткобазового ПГ-1Ф, по методике, приведенной в [5].

Фактический модуль упругости любого конструктивного слоя определялся по зависимости:

$$E_{оф} = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{l_{оф}}, \quad (1)$$

где K_q – коэффициент, зависящий от характера передачи нагрузки;

p – давление на дорожное покрытие, МПа;

D – диаметр круглого штампа, эквивалентный следу колеса, в см;

μ – коэффициент Пуассона, для материалов покрытий, $\mu = 0,25$;

$l_{оф}$ – измеренный прогиб покрытия в точке испытания, см.

При теоретических исследованиях рассматривалась модель уплотнения каменных материалов в покрытиях лесных дорог, и изучались процессы изменения несущей способности покрытия в зависимости от вида материала, величины и количества прикладываемых циклов нагружения. При изучении оценки механического взаимодействия между его составными частицами использовалась зависимость между числом контактов и межзерновой пустотностью [16, 17]. В наших работах было дано обоснование, что несущая способность дорожных покрытий автомобильных дорог напрямую зависит от вида используемого материала, конструктивных особенностей слоя, технологии их строительства и видов приложения к покрытию внешней нагрузки [3, 7]. Из представленных работ можно сделать вывод, что модуль упругости дорожного покрытия, есть функция следующих переменных: размер частиц, сдерживающие усилия между частицами, число контактов между частицами, межзерновая пустотность слоя, количество циклов нагружения на покрытие.

Известно, что несущая способность дорожного покрытия лесной дороги будет напрямую зависеть от величины сдерживающих сил, возникающих в точках контакта между частицами. В случае приложения внешнего воздействия на дорожное покрытие, в точках контакта возникают усилия и удерживающая сила между частицами. В работе [3] нами были рассмотрены подобные системы, состоящие из бинарных частиц. Так как в процессе внешнего воздействия, радиус частиц постоянно изменяется, то для возможности оценки контактных усилий между частицами, необходимо задаваться изменением текущего значения среднего радиуса частиц. При этом необходимо контролировать величину содержания мелких частиц в диапазоне от 0,315 до 2,5 мм. Если принять следующие допущения, что частицы равномерно распределены по всему объему слоя; то в этом случае для расчета контактных усилий, возникающих между частицами каменных материалов в покрытиях лесных дорог, средний радиус частиц должен оцениваться только с учетом влажности конструктивного слоя.

В процессе строительства и эксплуатации дорожного покрытия происходит постоянное изменение его физико-механических характеристик [13]. Пример изменения, межзерновой пустотности в диапазоне от 0 до 100 циклов нагружения, для низкопрочного известнякового щебня представлен на рисунке 1 [7].

На основании полученных зависимостей можно оценить сдерживающие усилия между частицами. Но, изменение удерживающих сил происходит по-разному в различных диапазонах количества циклов нагружения. Например, в диапазоне от 0 до 20 циклов происходит активная упаковка частиц с частичным измельчением, в диапазоне от 1000 до 10000 циклов происходит измельчение частиц, с последующим их уплотнением, а на последней стадии измельчения начинается процесс ослабления структурной прочности покрытий лесных дорог и снижения их транспортно-эксплуатационного состояния.

О неоднозначности полученных решений можно судить по структурной схеме оценки транспортно - эксплуатационного состояния покрытия дороги, представленной на рисунке 2.

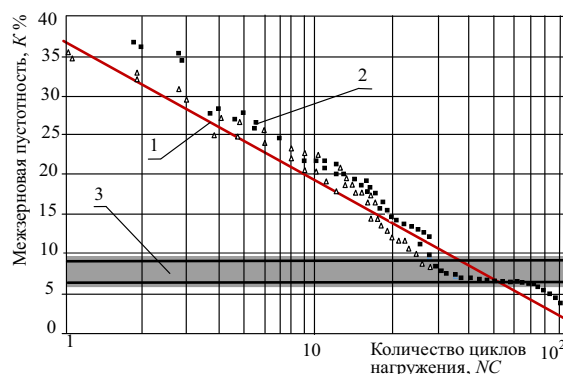


Рис. 1. Изменение межзерновой пустотности в зависимости от количества циклов нагружения: 1– теоретические; 2– экспериментальные ; 3– зона наибольшей плотности слоя



Рис. 2. Структурная схема оценки транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия

Результаты

В результате исследований получены значения изменения транспортно-эксплуатационного состояния покрытий лесных дорог в зависимости от используемых дорожно-строительных материалов в процессе строительства и последующей эксплуатации.

Анализ результатов измерения упругих прогибов покрытий показывает, что они варьируются в довольно широком диапазоне. На них оказывают влияние степень неоднородности грунтов земляного полотна и существенная зерновая нестабильность местных материалов.

В таблице 1 приведены значения измерения упругих прогибов покрытий опытных участков лесных дорог. Как видно почти все участки имеют нормативное значение транспортно-эксплуатационного состояния. Эти значения были получены с использованием технологии строительства подобных покрытий, по методике, изложенной в [3].

Таблица 1 – Результаты измерения модуля упругости конструктивных слоев лесных дорог

Тип покрытия	Нормативный модуль упругости, МПа	Фактический расчетный модуль упругости $E_{\text{оф.р.}}$, МПа
Песчано-гравийная смесь	280	397
Щебень известняковый, марки 400 уложенный по способу заклинки	450	462

Однако по мере эксплуатации покрытий происходит постоянное накопление деформаций в дискретных слоях и снижение транспортно-эксплуатационного состояния дороги. На момент обследования построенных участков годовой объем вывозки составил 17,6 тыс. м³ при средней интенсивности движения до 97 автомобилей в сутки. При обследовании проводились измерения упругих прогибов дорожного покрытия и измерение межзерновой пустотности, с использованием баллонного плотномера ПБД-КМ.

Анализ изменение транспортно-эксплуатационного состояния покрытий лесных дорог, оцениваемое по модулю упругости показал, что он имеет существенную связь с показателями остаточной пустотности. На рисунке 3 представлена расчетно-экспериментальная зависимость модуля упругости конструктивного слоя из низкопрочного известнякового щебня в зависимости от межзерновой пустотности. По результатам опытных данных построен график зависимости модуля упругости от остаточной пустотности материала. График имеет линейный статистический характер. Предложена расчетная формула по определению и назначению модуля упругости дорожной одежды исходя из показателей остаточной пустотности известнякового щебня марки 400 с учетом рекомендаций [7].

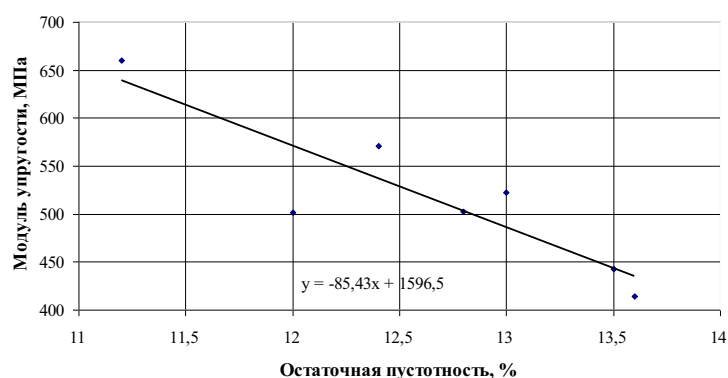


Рис. 3. Расчетно-экспериментальная зависимость модуля упругости конструктивного слоя из низкопрочного известнякового щебня от остаточной пустотности

Заключение

Изучены закономерности уплотнения различных местных каменных материалов при строительстве лесных дорог и разработана методика оценки несущей способности дорожного покрытия с использованием баллонного плотномера и короткобазового прогибомера.

Использование в качестве оценки транспортно-эксплуатационного состояния модуля упругости позволяет оценить работоспособность дорожного покрытия. В то же время, наличие тесной связи между прочностью и межзерновой пустотностью рассмотренных покрытий позволяет контролировать их состояние с использованием лишь одного параметра, а именно межзерновой пустотности слоя. Экспериментальными исследованиями установлено, что для щебеночных покрытий, устроенных по способу заклинки, критическими значениями межзерновой пустотности слоя, после которой покрытия начинают ухудшать свои транспортно-эксплуатационные качества, следует считать диапазон, начиная с 19-20 % и более.

Было выявлено, что для разных типов покрытий, из различных материалов, полученные данные имеют общую тенденцию, которая заключается в этапности изменения удерживающих сил, возникающих при уплотнении материала при строительстве и при дальнейшей эксплуатации.

С использованием предложенной методики были разработаны и внедрены рекомендации по повышению транспортно-эксплуатационных качеств покрытий переходного типа лесных автомобильных дорог.

Литература

1. ГОСТ Р 58406.2-2020 Смеси горячие асфальтобетонные и асфальто бетон. - Введ. 2020-06-01. - М.: Стандартинформ, 2020. - 46 с.
2. Кандауров, И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве / И. И. Кандауров. - Л. : СИ, 1988. - 281 с.

3. Кручинин, И.Н. Повышения технологической эффективности строительства лесовозных автомобильных дорог из низкопрочных каменных материалов [Текст] / И.Н. Кручинин, В.А. Ращектаев // Лесотехнический журнал. - 2018- № 2 (30). - С. 168-176.
4. Малянова Л.И., Салихов М.Г. Изучение влияния модифицированной добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог «Вестник МарГТУ». Серия «Лес. Экология. Природопользование».- Йошкар-Ола: МарГТУ, 2013.- №1.- С.64-70.
5. ОДН 218.1.052-2002 Оценка прочности нежестких дорожных одежд. - Введ. 2002-11-19. - М. : ГП "Информавтодор", 2003- II, 27 с.
6. ПНСТ 265-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. - Введ. 2018-05-15. - М. : Стандартиформ, 2018. - 73 с.
7. Ращектаев В.А., Кручинин И.Н. Моделирование процесса уплотнения оснований дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог из слабых материалов [Текст] / Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук: научный журнал. – Сыктывкар, 2014. – Вып. 2(18). – С.80-82.
8. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. - 213 с.
9. СП 243. 1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивность движения. - Введ. 2015-12-01. - М. : Минтранс РФ, 2015. - 24 с.
10. СП 288.1328000.2016 Дороги лесные.- Введ. 2017-06-17. - М. : Минстрой России РФ, 2016. - 75с.
11. СП 37.13330-2012 Промышленный транспорт.- Введ. 2013-01-01. - М. : Минрегион России РФ, 2012. - 45 с.
12. Hagerty, M. et al. Onedimensional high-pressure compression of granular media [Text] / M. M. Hagerty, D. R. Hite, C. R. Ullrich, & Hag // Journal of Geotechnical Engineering. – 1993. – V 1.- № 119. – P. 1–18.
13. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.
14. John Patrick De Bono 2013 Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures // PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013. – 229 p.
15. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskiene—, Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.
16. Özgan, E. et al. 2015 Multi-faceted investigation and modeling of compaction parameters for road construction / E. Özgan, S. Serin, İ. Vural // Journal of Terramechanics, August . –2015. – Vol. 41. – Issue 4/ Electronic recourse/ mode access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.005>.
17. Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Research and Technology, Jan. –2011. – Vol.4. – No.1. – P. 56–66.

© **Кручинин И.Н.** – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Побединский В.В.** – д-р техн. наук, профессор кафедры сервиса и технической эксплуатации, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: pobed@el.ru; **Шакирзянов Д.И.** – старший преподаватель кафедры инжиниринга технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет» ФГБОУ ВО «УГТУ», e-mail: newkirito@gmail.com; **Данилов В.В.** – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: danilov3576@icloud.com.

UDC 625.768.5

SYSTEM FOR ASSESSMENT OF TRANSPORTATION AND OPERATING STATE OF TRANSITIONAL TYPE OF FOREST AUTOMOBILE ROADS

I.N. Kruchinin, V.V. Pobedinsky D.I. Shakirzyanov, V.V. Danilov

The problem of improving the assessment of the transport and operational state of forest roads is considered. As a result of the instability of the granulometric composition and physical and mechanical parameters of local, substandard materials, at present, it is quite problematic to build and operate such road surfaces from such materials. As practice shows, for such coatings, local substandard building materials are most often used, consisting of low-grade crushed stone-sand mixtures, sand-gravel and substandard limestone crushed stones. The use of such materials causes significant difficulties, both in the design and in the operation of forest roads. The aim of the research was to develop methods for assessing transport and operational indicators of the road surface of forest roads. The tasks of the research included an experimental assessment of the physical and mechanical properties of local substandard stone materials, as well as a complex of field tests, to assess the strength properties of coatings, using the elastic deflection method. The elastic deflection of the coating was measured using a short-base sagmeter. The results of the work were a developed methodology for assessing the transport and operational state of forest road surfaces in the form of intergranular void dependences, restraining forces between particles, particle sizes, the number of loading cycles and the elastic modulus of the coating. Given the sufficient adequacy of the obtained model, it can be recommended for use in the practice of designing and operating forest roads.

Keywords: forest roads, road surfaces, modulus of elasticity of the road surface, local stone materials.

References

1. GOST R 58406.2-2020 [Hot mixes asphalt concrete and asphalt concrete] - Introduction. 2020-06-01. - M.: Standartinform, 2020. - 46 p. (InRuss.).
2. Kandaurov, I.I. [Mechanics of granular media and its application in construction] / L.: SI, 1988. - 281 p. (InRuss.).
3. Kruchinin, I.N. [Improving the technological efficiency of the construction of forest roads from low-strength stone materials] Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry magazine] 2018- No. 2 (30). - pp. 168-176. (InRuss.).
4. Malyanova L.I., Salikhov M.G. [Studying the effect of a modified additive on some properties of asphalt concrete with screenings of crushing limestone for pavement of timber roads] «Vestnik MarGTU». Seriya «Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye [“Bulletin of MarSTU”. Series “Forest. Ecology. Nature management ”]. - Yoshkar-Ola: MarSTU, 2013.- No. 1.- pp.64-70. (InRuss.).
5. ODN 218.1.052-2002 [Evaluation of the strength of non-rigid road pavements] - Introduction. 2002-11-19. - M.: "Informavtodor", 2003 - II, 27 p. (InRuss.).
6. PNST 265-2018 [Public automobile roads. Design of non-rigid road pavements] - Introduction. 2018-05-15. - M.: Standartinform, 2018. - 73 p. (InRuss.).
7. Rashchektayev V.A., Kruchinin I.N. [Modeling the process of compaction of the foundations of road pavements of timber motor roads from weak materials] Izvestiya Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk: nauchnyy zhurnal [Bulletin of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: scientific journal] Syktyvkar, 2014. - Issue. 2 (18). - pp. 80-82. (InRuss.).
8. Rudensky A.V. [Asphalt concrete pavement] M.: Transport [M.: Transport] 1992. -- 213 p. (InRuss.).
9. SP 243.1326000.2015 [Design and construction of highways with low traffic intensity] - Introduction. 2015-12-01. - M.: Ministry of Transport of the Russian Federation, 2015. - 24 p. (InRuss.).
10. SP 288.1328000.2016 [Forest roads] - Introduction. 2017-06-17. - M.: Ministry of Construction of Russia RF, 2016. - 75 p. (InRuss.).
11. SP 37.13330-2012 [Industrial transport] - Introduction. 2013-01-01. - M.: Ministry of Regional Development of Russia RF, 2012. - 45 p. (InRuss.).
12. Hagerty, M. et al. Onedimensional high-pressure compression of granular media [Text] / M. M. Hagerty, D. R. Hite, C. R. Ullrich, & Hag // Journal of Geotechnical Engineering. - 1993. - V 1. - № 119. - pp. 1-18.
13. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. -2015. - Vol. 16. Issue 3. - pp. 268-286.
14. John Patrick De Bono 2013 Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures // PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013. - 229 p.
15. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskien, Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.

16.Özgan, E. et al. 2015 Multi-faceted investigation and modeling of compaction parameters for road construction / E. Özgan, S. Serin, İ. Vural // Journal of Terramechanics, August . –2015. – Vol. 41. – Issue 4/ Electronic recourse/ mode access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.005>.

17.Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Research and Technology, Jan. –2011. – Vol.4. – No.1. – pp. 56–66.

© **Kruchinin I.N.** – Grand PhD in Engineering sciences, associate Professor, Professor of the Department of Transport and Road Construction, «Ural State Forest Engineering University» (USFU), e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Pobedinsky V.V.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Intelligent Systems, USFU, e-mail: pobed@el.ru; **Shakirzyanov D.I.** – Senior Lecturer of the Department of Engineering of Technological Machines and Equipment, «Ukhta State Technical University» (USTU), e-mail newkirito@gmail.com; **Danilov V.V.** – Post-graduate student of the Department of Transport and Road Construction, USFU, e-mail: danilov3576@icloud.com.

УДК 625.768.5(004.89)

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, М.В. Шавнина, Д.И. Шакирзянов

Рассмотрена проблема совершенствования лесных автомобильных дорог путем использования методики оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытия. Для таких дорог в основном используются территориально расположенные местные некондиционные строительные материалы из низкосортных щебеночно-песчаных смесей, песчано-гравийных и некондиционных известняковых щебней. Материалы отличаются нестабильностью их фракционных составов, а также неопределенностью физико-механических параметров. Это вызывает значительные сложности, как в проектировании, так и в эксплуатации дорог из подобных материалов. Несмотря на ряд проведенных экспериментальных исследований, задача создания достоверной методики остается нерешенной. Таким образом, решить проблему позволит соответствующая методика оценки параметров дорожных покрытий с учетом условий неопределенностей в данных, что и составило цель настоящей работы. Целью исследований была разработка оценки динамического модуля упругости дорожного покрытия на основе интеллектуальной системы в виде нейронечеткой сети. В работе решались следующие задачи: 1) выполнение постановки задачи в содержательном виде оценки физико-механических свойств местных некондиционных материалов и транспортно-эксплуатационных качеств лесных дорог; 2) формирование обучающих выборок для настройки нейронной сети для оценки физико-механических свойств покрытий лесных дорог; 3) разработка нейронечеткой сети в среде MATLAB; 4) обучение нейронечеткой сети; 5) проверка адекватности модели по тестовым примерам. Результатами работы была созданная интеллектуальная система в виде нейронечеткой сети для оценки основного параметра дорожных покрытий динамического модуля упругости покрытия в зависимости от сдерживающих усилий между частицами состава, среднего радиуса частиц, межзерновой пустотности, количества циклов нагружения покрытия. Учитывая достаточную адекватность модели, она может быть рекомендована для использования в практике проектирования и эксплуатации лесных дорог.

Ключевые слова: лесные дороги, дорожные покрытия, динамический модуль упругости дорожного покрытия, параметры песчано-гравийной смеси, нейронечеткая сеть.

Введение

Устойчивое развитие Российской Федерации вызывает необходимость разработки новых методов функционирования транспортной системы лесного хозяйства и лесозаготовок. Лесные дороги при обеспечении транспортировки заготавливаемой древесины должны оказывать минимальное ущерб для экологии. При строительстве лесных дорог для устройства дорожных покрытий на сегодня остались наиболее применимыми только местные некондиционные материалы. К таким материалам относятся

отходы промышленного производства, низкосортные местные каменные материалы, а также материалы непригодные для строительства автомобильных дорог общего пользования.

Существенным недостатком этих материалов является нестабильность их составов, что делает невозможным достаточно обоснованное проектирование лесных дорог. В этом процессе опираются на нормативно-техническую документацию (СП 288.1328000.2016. Дороги лесные; СП 37.13330-2012. Промышленный транспорт; СП 243.1326000.2015. Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения), которые указывают в качестве основного критерия оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий переходного типа автомобильных дорог конструктивный параметр - модуль упругости [2]. Этот параметр удобный в проектировании и достаточно информативный, т.к. является обобщающим для конструкций дорожных одежд, их отдельных слоев и даже грунтов оснований. Однако опыт показывает, что модуль упругости изменяется в широких пределах в зависимости от неоднородности, нестабильности материалов дорожного полотна, грунтов земляного полотна, климатических факторов и т.д. Оперативно производить измерения статического модуля упругости в процессе производства работ достаточно трудоемко, поэтому измерение прочности конструктивных слоев в некоторых случаях производят по другому показателю - по динамическому модулю упругости. Динамический модуль упругости является функцией величины осадки штампа при его ударном нагружении и фактически оценивает степень жесткости дорожной конструкции. При этом, он имеет лишь статистическую связь со статическим модулем упругости. В результате неопределенность в оценке динамического модуля упругости покрытий не позволяет решить проблему эффективности строительства и эксплуатации лесных дорог, а вместе с ней и обеспечить условия для устойчивого развития лесопромышленного комплекса [2].

В настоящее время существуют методы учета факторов неопределенности [1, 15], позволяющие решать такой класс задач в любых сферах деятельности человека, производства, природных явлений и других областях, но в дорожном строительстве, проектировании, эксплуатации дорог подобные работы практически отсутствуют.

В этой связи создание новых методов оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий лесных дорог при строительстве из некондиционных материалов с учетом условий неопределенности является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Целью исследований была разработка оценки динамического модуля упругости дорожного покрытия на основе интеллектуальной системы в виде нейронечеткой сети.

В работе решались следующие задачи: 1) выполнение постановки задачи в содержательном виде оценки физико-механических свойств местных низкосортных щебеночно-песчаных смесей, песчано-гравийных и некондиционных известняковых щебней и транспортно-эксплуатационных качеств лесных дорог; 2) формирование обучающих выборок для настройки нейронной сети для оценки физико-механических свойств покрытий лесных дорог; 3) разработка нейронечеткой сети в среде MATLAB; 4) обучение нейронечеткой сети; 5) проверка адекватности модели по тестовым примерам.

Методы и материалы

Представленная работа была выполнена в рамках обеспечения интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «УГЛУ» и включает в себя экспериментальные и теоретические исследования.

Для постановки задачи использованы материалы большей частью экспериментальных исследований. Они проводились согласно требованиям нормативно-технической документации по строительству автомобильных дорог, действующих на 01.06.2019 год. Также использовалось оборудование, сертифицированное в системе «Росдорстройсертификация» для испытаний физико-механических свойств строительных материалов. Для оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий лесных дорог, из местных низкосортных каменных материалов был предложен метод оценки прочности покрытий методом динамического нагружения, с использованием легкого прибора с падающим грузом ZFG – 3000-10GPS. В экспериментальных исследованиях были использованы теория многофакторного эксперимента и методы обработки статистических данных.

Разработка нейронечеткой сети выполнялась на основе методов интеллектуальных систем [1, 15] и в среде MATLAB [11].

Результаты

Постановка задачи в содержательном виде

Для обоснования входных и выходных параметров модели оценки транспортно - эксплуатационного состояния дорожной одежды, основных характеристик, специфических особенностей для различных условий следует выполнить постановку задачи в содержательном виде. Как было указано, основным параметром для этой цели следует считать конструктивный параметр - модуль упругости [2,6]. Нужно различать модуль упругости двух типов. Один – это статический модуль упругости и второй – это динамический модуль упругости. В данном случае рассмотрим динамический модуль упругости дорожной одежды.

Оценку выходного параметра динамического модуля упругости дорожной одежды для покрытий переходного типа лесовозных автомобильных дорог предлагают нормативные документы: СП 243.1326000.2015. Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивность движения и ОДМ 218.2.024-2012. Методические рекомендации по оценке прочности нежестких дорожных одежд.

В ранее проведенных нами теоретических исследованиях [3, 5, 11] было обосновано, что несущая способность дорожных покрытий автомобильных дорог зависит от технологии строительства, видов приложения к покрытию внешней нагрузки, вида используемого материала, конструктивных особенностей слоя. Эти исследования позволили сделать вывод, что динамический модуль упругости дорожного покрытия, E , достаточно адекватно может быть описан следующей функцией:

$$E = f(F, R, p, NC) \quad (1)$$

где F – сдерживающие усилия между частицами, $F=f(R, C, p)$, кН;

R – радиус частицы, $R = f(k, p)$, мм;

C – контактное число, или число контактов между частицами, $C=f(p)$;

p – межзерновая пустотность, $p=f(R, N)$, %;

NC – количество циклов нагружения на покрытие.

Также рассматривая модель уплотнения каменных материалов в покрытиях от параметров, приведенных в уравнении (1), была исследована зависимость между числом контактов и межзерновой пустотностью при моделировании механического взаимодействия [8]. В этом случае дорожные покрытия лесных дорог более корректно будет рассматривать как дискретную среду, в которой ее составные частицы имеют слабые связи [5, 9, 10, 11]. При отсутствии вяжущих механические параметры будут определять структурная прочность самих материалов [4, 12, 14, 18].

В свою очередь, структурная прочность сложно определяемый параметр, т.к. в дискретных средах она зависит от взаимодействия между его составными частицами. Следовательно, дорожные покрытия будут обладать прочностью, которая зависит от размеров слагаемых частиц, их внешней формы, величины контактов между соседними зернами, степени уплотнения зернистой среды и боковых расщепов [16]. В условиях такой неопределенности построить математическую модель традиционными средствами практически невозможно. Об этом же свидетельствует тот факт, что при разработке современных нормативных документов для проектирования плотных асфальтобетонных смесей (ГОСТ Р 58406.2-2020. Смесей горячие асфальтобетонные и асфальтобетон) использованы модели полувековой давности Фуллера и Андреасена [16] влияния зернового состава на межзерновую пустотность.

В некоторой степени решать проблему позволяет использование еще одного параметра - величины удерживающих сил, возникающих в точках контакта между частицами. От него несущая способность дорожного покрытия лесной дороги имеет прямую зависимость. Механизм действия этого параметра, рассмотренный нами в подобных системах, состоящих из бинарных частиц [3, 17], следующий. В процессе внешних воздействий на дорожное покрытие в точках контакта возникают усилия в виде удерживающих сил F между частицами. При динамическом характере процесса внешних воздействий размеры (радиус) частиц изменяется, поэтому для оценки контактных усилий между частицами следует отслеживать текущее значение среднего радиуса частиц и в нашем случае с учетом содержание мелких частиц размером от 0,315 до 2,5 мм, которые являются следствием или приводят к деструкции смеси.

Еще один существенный параметр для оценки динамического модуля упругости дорожной одежды будет параметр межзерновой пустотности. Физико-механические характеристики дорожного покрытия в процессе строительства (уплотнения конструктивных слоев) и эксплуатации постоянно изменяются.

Например, для низкопрочного известнякового щебня межзерновая пустотность, p , в диапазоне от 0 до 100 циклов нагружения описывается следующей логарифмической зависимостью [5]

$$p = - 8,41 \ln NC + 45,155 \quad (2)$$

С учетом формул (1), (2) можно оценивать сдерживающие усилия между частицами. Однако эти усилия количества, NC , циклов нагружения изменяются в различных диапазонах по-разному.

В диапазоне от 0 до 20 циклов будет происходить интенсивная упаковка частиц и частичное измельчение. Поэтому для указанных выше материалов межзерновая пустотность определяется из выражения

$$F = 21,295 NC^2 - 257,47 \cdot NC + 1532,9. \quad (3)$$

Для другого диапазона циклов от 1000 до 10000, в котором будет область ослабления структурной прочности и снижения их транспортно-эксплуатационного состояния, справедлива формула вида

$$F = 5E + 6 \cdot NC^{-1,687} \quad (4)$$

Из вышеприведенного видно, что задача оценки транспортно-эксплуатационного состояния по динамическому модулю упругости является чрезвычайно сложной, с взаимозависимыми параметрами и характеризуется неопределенностью в данных. Поэтому для решения именно такого класса задач следует использовать методы на основе интеллектуальных систем [7, 15].

Разработка интеллектуальной системы в виде нейронечеткой сети

На основании постановки задачи в содержательном виде, приведенных зависимостей (1-4), положений, экспериментальных данных можно определить входные и выходные параметры интеллектуальной системы.

Выходным параметром является динамический модуль упругости конструктивного слоя, который будет изменяться в диапазоне от 20 до 60 МПа. В наших исследованиях, для настройки нейронной сети были использованы данные, полученные при полевых испытаниях дорожных покрытий из гравийных материалов с использованием легкого прибора с падающим грузом ZFG – 3000-10GPS.

Входным параметром принимаем сдерживающие усилия, F , в диапазоне варьирования от 0,5 до 10,0 кН.

Другим важным параметром будет средний радиус частиц, наиболее преобладающих в составе смеси дорожного покрытия R , мм от 2,5 до 20,0 мм. В данном случае рассмотрим дорожное покрытие из низкопрочного известнякового щебня. Еще одним параметром будет межзерновая пустотность p от 10 до 30 %. Также принимается параметр количества циклов нагружения на покрытие NC от 10 до 10000. Для удобства вместо количества циклов примем показатели степени (в таблице в скобках), т.е. значения от 1 до 4 (табл. 1) Обучающие выборки со значениями принятых параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры обучающих выборок нейросети

№	Сдерживающие усилия между частицами, F кН	Средний радиус частиц, R мм	Межзерновая пустотность, p	Количество циклов нагружения (степень), NC	Динамический модуль упругости, E , МПа
1	8,6	18,2	0,25	10 (1)	25,3
2	4,2	7,2	0,14	100 (2)	43,7
3	2,3	6,3	0,11	1000 (3)	40,1
4	0,8	2,5	0,10	10000 (4)	28,6

В общем виде сформулированная постановка задачи будет в соответствии с выражением (1) и с параметрами, приведенными в таблице.

Разработка нейронной сети

Для разработки интеллектуальной системы используем адаптивную нейронечеткую продукционную сеть типа ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Эта сеть имеет свойства продукционных нечетких систем на основе базы правил и свойства простых нейронных сетей поэтому относится к системам гибридного типа. Систему строим в среде MATLAB [13]. Для задания исходных данных создается файл в виде матрицы с исходными данными (рис. 1). В интерфейсе программы задается схема методики сети, она показана на рис. 2. После загрузки исходных данных и определения параметров лингвистических переменных для входных и выходной переменных, генерируется структура сети (рис. 3) с базой правил. В данном случае для четырех входных переменных с тремя терммножествами их лингвистических переменных получено 81 правила. Созданная таким образом сеть настраивается или обучается, как это общепринято называть.

mDin.dat – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

8.6	18.2	0.25	1	25.3
4.2	7.2	0.14	2	43.7
2.3	6.3	0.11	3	40.1
0.8	2.4	0.10	4	28.6

Рис. 1. Файл исходных данных

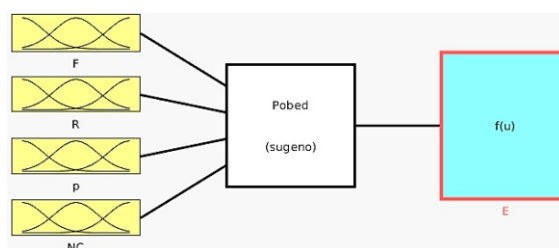


Рис. 2. Схема метода нечеткого вывода (Сугено) в сети

После обучения сеть выдавала результаты расчетов с точностью не менее 1 %. Для проверки адекватности задавались тестовые примеры, которые выводятся в процедуре «Rule Viewer» программы (рис. 4). Результаты расчетов для тестовых примеров по нейросети приведены в таблице 2. Судя по результатам расчетов модель интеллектуальной системы является достаточно адекватной реальным объектам.

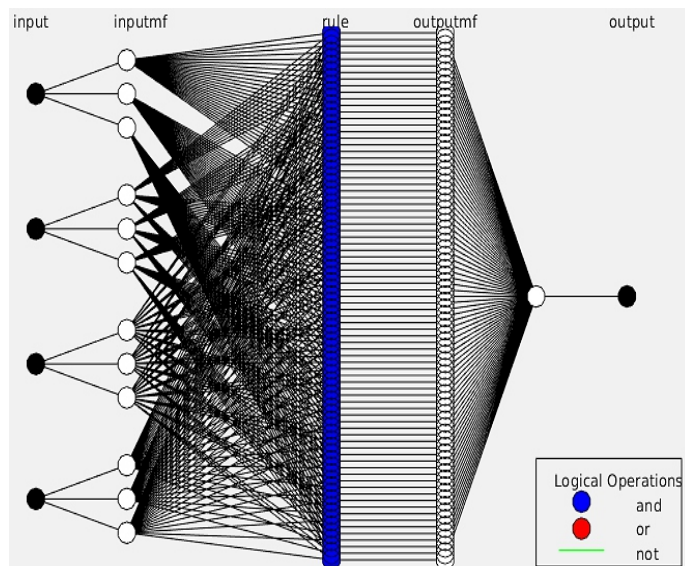


Рис. 3. Структура нейронечеткой сети

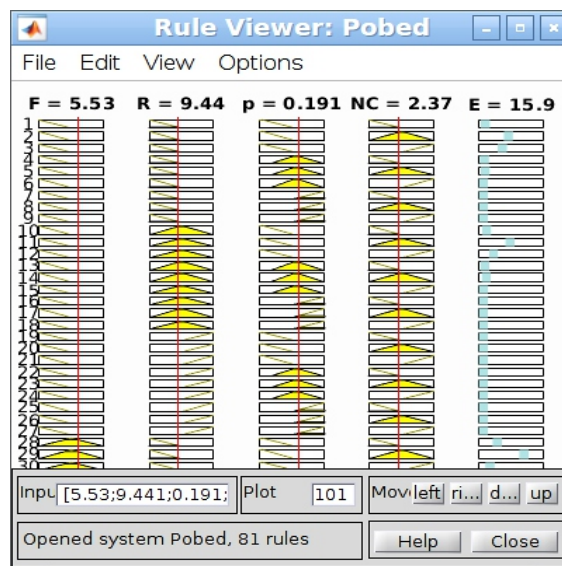


Рис. 4. Нечеткий вывод в сети

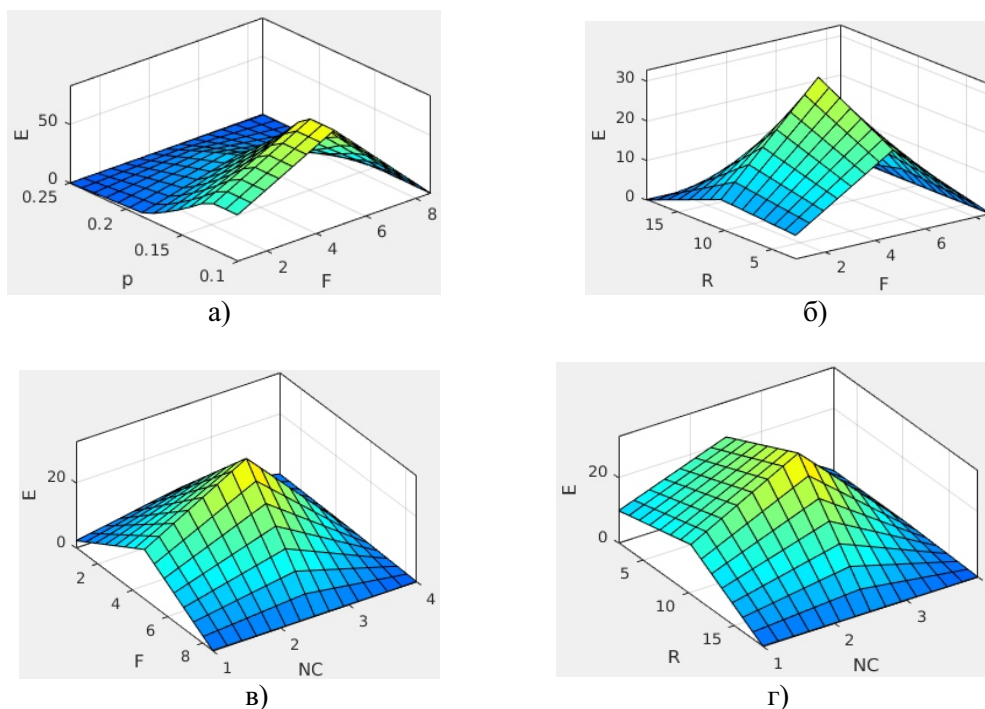


Рис. 5. Полученные зависимости: а) $E=f(p, F)$; б) $E=f(R, F)$; в) $E=f(NC, F)$; г) $E=f(R, NC)$

Таблица 2 – Результаты расчетов по нейросети

№	F	R	p	NC, степень (циклов)	E
1	5,53	9,44	0,191	2,37 (234)	15,90
2	6,68	14,8	0,145	3,23 (1700)	7,16
3	4,70	10,3	0,175	2,50 (316)	32,80
4	7,52	6,7	0,210	3,14 (1380)	2,03
5	2,38	15,3	0,165	2,37 (234)	8,49

Заключение

В заключении можно указать следующее:

– из-за неоднородности структуры строительных материалов, недостаточности статистических данных, неопределенности описания взаимного влияния исходных параметров, возникают значительные сложности при проектировании дорожных покрытий, и в большинстве случаев эти задачи решаются недостаточно корректно;

– разработанная интеллектуальная система, построенная в виде нейронечеткой сети для оценки динамического модуля упругости дорожного покрытия и его транспортно-эксплуатационного состояния, учитывает основные параметры материалов, условий эксплуатации и технологии строительства, поэтому может быть рекомендована для использования в практике проектирования и эксплуатации лесных дорог с использованием местных некондиционных материалов.

Литература

1. Джонс, М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс: пер. с англ. Осипов А.И. – М.: ДМК Пресс, 2018.-312 с. ISBN 978-5-97060-579-0.
2. Кандауров, И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве / И. И. Кандауров. - Л.: СИ, 1988. - 281 с.
3. Кручинин, И.Н. Повышения технологической эффективности строительства лесовозных автомобильных дорог из низкопрочных каменных материалов [Текст] / И.Н. Кручинин, В.А. Рашектаев // Лесотехнический журнал. - 2018- № 2 (30). - С. 168-176.

4. Малянова, Л.И., Салихов, М.Г. Изучение влияния модифицированной добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог «Вестник МарГТУ». Серия «Лес. Экология. Природопользование». - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2013. - №1. - С.64-70.
5. Рашектаев, В.А., Кручинин, И.Н. Моделирование процесса уплотнения оснований дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог из слабых материалов [Текст] / Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук: научный журнал. – Сыктывкар, 2014. – Вып. 2(18). – С.80-82.
6. Руденский, А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. – 213 с.
7. Шакирзянов Д.И., Кручинин И.Н. Информационное обеспечение технологии строительства дорожных покрытий лесных дорог применительно к условиям республики КОМИ. [Текст] / Цифровые технологии в лесном секторе. Материалы Всероссийской научно-технической конференции Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 169 - 171.
8. Hagerty, M. et al. Onedimensional high-pressure compression of granular media [Text] / M. M. Hagerty, D. R. Hite, C. R. Ullrich, & Hag // Journal of Geotechnical Engineering. – 1993. – V 1.- № 119. – P. 1–18.
9. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.
10. John Patrick De Bono 2013. Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures // PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013. – 229 p.
11. Kruchinin, I.N. 2016 “Obosnovaniye primeneniya kamennykh materialov pri stroitel'stve osnovaniy i pokrytiy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog ransliteration”, Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry engineering journal], No. 2(22), 2016, pp. 84-90.
12. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskien –, Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.
13. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a. - URL: <http://www.mathworks.com>.
14. Özgan, E. et al. 2015 Multi-faceted investigation and modeling of compaction parameters for road construction / E. Özgan, S. Serin, İ. Vural // Journal of Terramechanics, August . –2015. – Vol. 41. – Issue 4/ Electronic recourse/ mode access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra. 2015.02.005>.
15. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables/ Andrzej Piegat. –Heidelberg; New York: Physic-Verl, 2001. – 760 с.
16. Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Research and Technology, Jan. –2011. – Vol.4. – No.1. – P. 56–66.
17. Sweere, G.T.H. Unbound granular bases for roads [Text] / PhD Dissertation, Delft University of Technology, the Netherlands. – 1990. –127 p.
18. Wolff, H. and Visser, A.T. 1994 Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design / H. Wolff, A.T. Visser // Transportation Engineering. – 1994. –Vol. 105. – P. 259–272.

© **Побединский В.В.** – д-р техн. наук, профессор кафедры сервиса и технической эксплуатации, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: pobed@el.ru; **Кручинин И.Н.** – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Шавнина М.В.** – канд. техн. наук, доцент кафедры сервиса и технической эксплуатации транспортных и технологических машин, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: shavnina444@mail.ru; **Шакирзянов Д. И.** – старший преподаватель кафедры инжиниринга технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», e-mail: newkirito@gmail.com

UDC 625.768.5(004.89)

NEURAL NETWORK FOR ASSESSING THE TRANSPORT AND OPERATIONAL STATE OF FOREST HIGHWAYS

V.V. Pobedinsky, I.N. Kruchinin, M.V. Shavnina, D.I. Shakirzyanov

The problem of improving forest highways by using the methodology for assessing the transport and operational condition of the surface is considered. For such roads, local substandard construction materials from low-grade crushed stone-sand mixtures, sand-gravel and substandard limestone rubble are mainly used. Materials are characterized by instability of their fractional compositions, as well as uncertainty of physical and mechanical parameters. This causes significant difficulties both in the design and operation of roads made of such materials. Despite a number of experimental studies, the task of creating a reliable methodology remains unsolved. Thus, the problem can be solved by an appropriate method for evaluating the parameters of road surfaces, taking into account the conditions of uncertainty in the data, which is the purpose of this work. The aim of the research was to develop an estimate of the dynamic modulus of elasticity of the road surface based on an intelligent system in the form of a neural network. The following tasks were solved: 1) implementation of the problem statement in the form of a meaningful assessment of the physical and mechanical properties of local substandard materials and transport and operational qualities of forest roads; 2) formation of training samples for setting up a neural network to assess the physical and mechanical properties of forest road surfaces; 3) development of a neural network in MATLAB; 4) training of a neural network; 5) checking the adequacy of the model using test examples. The results were created by an intelligent system in the form of a neuro network to estimate the main parameter of the pavement, dynamic modulus of the coating depending on deterrent efforts between the particles of the composition, average radius of particles, intergranular voidness, the number of loading cycles of the coating. Given the sufficient adequacy of the model, it can be recommended for use in the practice of designing and operating forest roads.

Key words: forest roads, road surfaces, dynamic modulus of elasticity of the road surface, parameters of the sand-gravel mixture, neural network.

References

1. Jones, M.T. [Programming of artificial intelligence in applications] / M. Tim Jones: TRANS. from English. Osipov A. I. – M.: DMK Press, 2018.-312 p. ISBN 978-5-97060-579-0.
2. Kandaurov, I.I. [Mechanics of granular media and its application in construction] / I.I. Kandaurov.- L.: SI, 1988. - 281 p.
3. Kruchinin, I.N. [Improving the technological efficiency of construction of logging roads from low-strength stone materials] [Text] / I.N. Kruchinin, V.A. Raschektaev // Forest engineering journal. - 2018- № 2 (30). - Pp. 168-176.
4. Malianova, L.I., Salikhov, M.G. [Study of the influence of a modified additive on some properties of asphalt concrete with limestone crushing screenings for covering logging roads] "Vestnik Margtu". Series "Forest. Ecology. Nature management».- Yoshkar-Ola: Marstu, 2013.- No. 1.- P. 64-70.
5. Resected, V.A. Kruchinin, I.N. [Modeling of compaction process of bases of road pavements of forest roads from weak materials [Text]] / Proceedings of the Komi science center, Ural division, Russian Academy of Sciences: scientific journal. – Syktyvkar, 2014. – Issue 2(18). –P. 80-82.
6. Rudensky, A.V. [Road asphalt concrete coatings] / A.V. Rudensky. – M.: Transport, 1992. - 213 p.
7. Shakirzyanov D.I., Kruchinin I.N. [Information support of technology for construction of road surfaces of forest roads in relation to the conditions of the KOMI Republic. [Text]] / /Digital technologies in the forest sector. Materials of the all-Russian scientific and technical conference St. Petersburg state forest engineering University named after S. M. Kirov; St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great- St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2020. Pp. 169 - 171.
8. Hagerty, M. et al. [Onedimensional high-pressure compression of granular media [Text]] / M. M. Hagerty, D. R. Hite, C. R. Ullrich, & Hag // Journal of Geotechnical Engineering. – 1993. – V 1.- № 119. – P. 1–18.
9. Joao, S. et al. 2015 [A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By] / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.
10. John Patrick De Bono 2013. [Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures] // PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013. – 229 p.

11. Kruchinin, I.N. 2016 [Obosnovaniye primeneniya kamennykh materialov pri stroitel'stve osnovaniy i pokrytiy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog ransliteration] // Lesotekhnicheskij zhurnal [Forestry engineering journal], No. 2(22), 2016, pp. 84-90.

12. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskien –, Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.

13. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a. - URL: <http://www.mathworks.com>.

14. Özgan, E. et al. 2015 Multi-faceted investigation and modeling of compaction parameters for road construction / E. Özgan, S. Serin, İ. Vural // Journal of Terramechanics, August . –2015. – Vol. 41. – Issue 4/ Electronic recourse/ mode access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.005>.

15. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables/ Andrzej Piegat. –Heidelberg; New York: Physic-Verl, 2001. – 760 c.

16. Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Research and Technology, Jan. –2011. – Vol.4. – No.1. – P. 56–66.

17. Sweere, G.T.H. Unbound granular bases for roads [Text] / PhD Dissertation, Delft University of Technology, the Netherlands. – 1990. –127 p.

18. Wolff, H. and Visser, A.T. 1994 Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design / H. Wolff, A.T. Visser // Transportation Engineering. – 1994. –Vol. 105. – P. 259–272.

©**Pobedinsky V.V.** –Grand PhD in Engineering sciences, professor of the Department of Service and Technical Operation, Ural State Forest Engineering University (USFU), e-mail: pobed@el.ru; **Kruchinin I.N.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Transport and Road Construction, USFU, e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Shavnina M.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Service and technical operation of transport and technological machines, USFU, **Shakirzyanov D.I.** – Senior Lecturer of the Department of Engineering of Technological Machines and Equipment, Ukhta State Technical University, e-mail: newkirito@gmail.com.

Физико-механические процессы в деревообработке

УДК 674.028.9+674.049.2

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРЕССОВАННЫЕ ШИПЫ

О.А. Рублева

Для сращивания древесины по длине наряду с зубчатыми шипами могут успешно применяться прямоугольные шипы. Наиболее распространенным способом формообразования профиля шипов является фрезерование. К недостаткам способа относятся высокая стоимость фрезерного инструмента, затраты на его периодическую заточку; высокая энергоемкость процесса фрезерования, конструктивные ограничения по геометрическим параметрам и прочности шипов. Технология формирования элементов шиповых соединений способом холодного торцового местного прессования позволяет устранить указанные недостатки и при использовании простого по конструкции и стойкого инструмента, без отходов в виде стружки, обеспечить высокую точность изготовления шипов и достаточную прочность клеевого соединения по длине. Комплексные исследования процесса формирования клеевых соединений на прессованные шипы позволили установить перечень основных технологических этапов и требований к реализации процесса в производственных условиях; значения режимных параметров процесса и достигаемые значения показателей прочности соединений. Сформулированные в работе требования к процессу и найденные режимные параметры рекомендуется использовать для внедрения технологии в производственные условия.

Ключевые слова: прессование древесины, шиповые соединения, сращивание по длине, прямоугольные шипы, режимные параметры.

Введение

Клеевые соединения древесины при условии соблюдения комплекса требований к процессу их изготовления имеют высокие технологические, прочностные, эстетические характеристики. В связи с этим клеевые соединения древесины на шипы различных форм и размеров широко применяются для изготовления клеевых полуфабрикатов, мебельных и столярно-строительных изделий. Для соединений по длине в основном применяют зубчатые шипы с относительно острым или затупленным профилем [1, 2]; для этих же целей могут быть использованы прямоугольные шипы [3-6].

Наиболее распространенным способом формообразования профиля шипов является фрезерование [1, 2]. Недостатками данной технологии являются высокая стоимость фрезерного инструмента, затраты на его периодическую заточку; увеличенная энергоемкость процесса фрезерования, связанная с необходимостью удаления стружки; конструктивные ограничения по геометрическим параметрам шипов [7] и обусловленное этим снижение прочности. Острые зубчатые шипы с минимальным затуплением, имеющие наиболее высокую прочность до 75-83 % [1, 8], затруднительно получить в производственных условиях по причине перегрева острых кромок инструмента. Это не позволяет выполнить рекомендации по длине клеевого шва, равной 10 - 15 толщинам заготовки [1], и соответствующей уклону (углу перерезания волокон), равному $1/10 - 1/15$ (от $5,7^\circ$ до $3,8^\circ$). Часто угол перерезания волокон значительно больше: например, шипы с параметрами $10 \times 3,8 \times 0,8$ мм (длина $\times$ шаг шипа $\times$ затупление) имеют угол перерезания волокон более $8,5^\circ$, а шипы с параметрами $12 \times 6,2 \times 0,8$ мм ещё больший угол $12,7^\circ$ [9].

Фрезерование шипов прямоугольной формы также имеет ряд особенностей. При изготовлении прямоугольных шипов, предназначенных для сращивания по длине, критичным показателем является точность их формирования. Малейшие отклонения размеров шипов в несколько десятых долей миллиметра, вызванные неточностью сборки или заточки, могут существенно снизить плотность посадки и прочностные показатели соединений [10-12].

Частично устранить указанные недостатки позволяет применение комбинированного способа формирования зубчатых шипов с использованием процесса холодного или горячего штампования по

местам предварительных пропилов [13]. При использовании данного способа снижены затраты на подготовку режущего инструмента и на транспортировку отходов. Вместе с тем, имеются следующие недостатки: затраты энергии на нагрев инструмента, усложнение технологического процесса за счет введения дополнительной операции предварительного пропиливания, а также ограничения по форме и размерам шипов, зависящие от деформативных свойств древесины поперек волокон [2]. Для большинства деловых пород максимальное значение деформации при сжатии поперек волокон не превысит 70 % [13, 14]; это не дает возможности сформировать относительно острые и длинные шипы [13]. В связи с этим способ штампования зубчатых шипов по местам предварительных пропилов ориентирован в основном на изготовление соединений неконструкционного назначения.

Технология формирования элементов шиповых соединений способом холодного торцового местного прессования, предложенная автором [5], позволяет обеспечить высокую точность размеров и формы шипов [15], получить соединение с достаточной длиной клеевого шва и соответственно высокой прочностью [6], устранить появление отходов в виде стружки [5], используя простой по конструкции, недорогой и стойкий инструмент [15, 16]. Инструмент изготавливается из конструкционной углеродистой стали [17], стоек в эксплуатации, не требует заточки.

Сущность способа холодного торцового прессования элементов шиповых соединений состоит в следующем. В торец заготовки, вдоль волокон древесины, внедряется металлический пуансон с профилем, соответствующим форме профиля соединения. Участки древесины, расположенные под рабочими поверхностями пуансона, начинают пластически деформироваться. При продвижении пуансона в глубь заготовки формируются поверхности скольжения боковых граней инструмента, образующие грани проушины. По завершении процесса под каждым из рабочих торцов пуансона в древесине заготовки сформировано дно проушины и под ним – «пробка» из спрессованной древесины. Размеры «пробки» соразмерны глубине проушины [15]. Упругое восстановление деформированного участка составляет не более 4%. Полученные отпечатки имеют высокую точность и качество поверхности [15].

Промышленное внедрение рассматриваемого способа сдерживается отсутствием комплексных рекомендаций по назначению режимных параметров. Целью настоящей работы является разработка рекомендаций по режимным параметрам для внедрения технологии формирования клеевых соединений на прессованные шипы в производственные линии.

Методы и материалы

Исследования проведены для трех типичных пород: хвойной (сосны), лиственной рассеяннососудистой (березы), лиственной кольцесосудистой (дуба). Заготовки изготавливали из сухих пиломатериалов смешанной распиловки, заготовленных в средней полосе России. Для экспериментальных исследований отбирали заготовки, не содержащие сучков и трещин в зоне прессования и имеющие преимущественно тангенциально ориентированную пласт. Размеры сечения заготовок – 25х40 мм, влажность от 5 до 9%.

Формирование шиповых соединений осуществляли в прессах П-10 (ЗИМ) и Т61210М (АЕ&Т), дополненных комплектом специально изготовленной оснастки для базирования, фиксации и обжима заготовок, путем внедрения в древесину пуансонов с профилями, соответствующими профилям шиповых соединений (рис. 1 а, б). Использовали пуансоны различных конструкций (цельные и сборные) и различных типоразмеров (толщина шипа от 2 до 4 мм, длина шипа от 5,5 до 20 мм, зазор (натяг) в соединении шип-паз от -0,1 до 0,2 мм).

Склеивание по длине (рис. 1 в) осуществляли на клеи на основе поливинилацетатной дисперсии марок ПВА Супер (ПАО «Акрон»), Момент Столяр (ООО «Хенкель Рус»), Titebond II Premium (Franklin International).

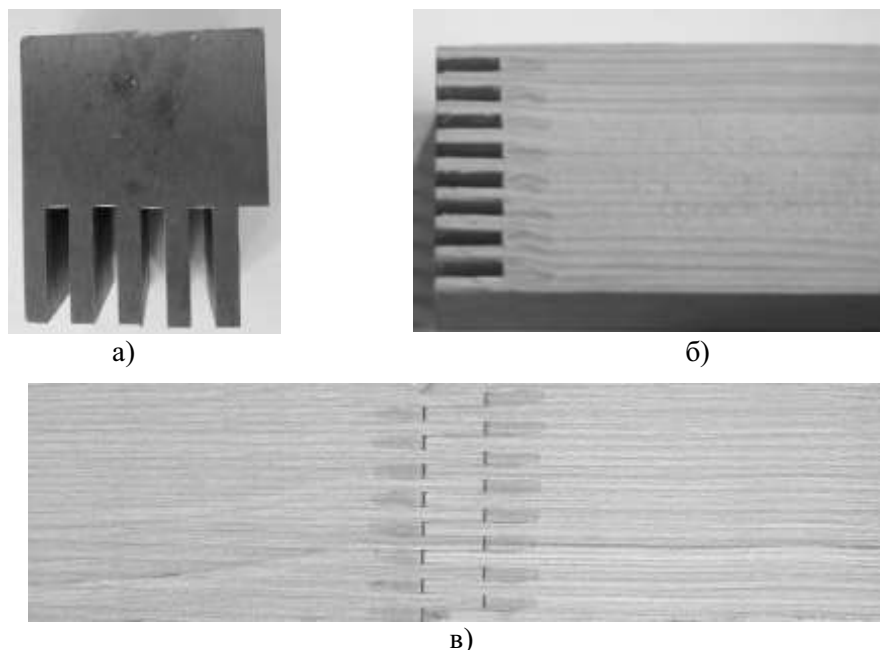


Рис. 1. Инструмент для прессования элементов шиповых соединений и обработанные заготовки: а – пуансон для формирования шипов длиной 20 мм, толщиной 4 мм; б – образец заготовки из древесины сосны с шипами длиной 10 мм, толщиной 2 мм; в – фрагмент клеевого соединения по длине на прессованные шипы длиной 10 мм, толщиной 2 мм, заготовки из древесины березы

Для исследования структуры пластически деформированной древесины [15], оценки точности и качества отпечатков применяли методы электронного сканирования, макро- и микросъемки на сканере HP ScanJet 2380 и растровом микроскопе JSM-6510 LV (JEOL).

Оценку напряженного состояния древесины и материала инструмента проводили на основе метода конечных элементов в системе КОМПАС-3D.

Для получения математических моделей, описывающих процесс прессования и показатели качества сформированных проушин, использовали методики планирования экспериментов, в частности, постановку экспериментов по полным факторным планам типа 2^3 и планам Бокса-Бенкена [15, 16]. Статистический анализ полученных данных проводили с доверительной вероятностью 95 % при помощи программных пакетов Microsoft Excel и Statistica.

Поиск рациональных значений параметров процесса прессования выполнили по методу обобщенного приведенного градиента в программном пакете Microsoft Excel с использованием надстройки «Поиск решений».

Показатели прочности соединений определяли в соответствии с ГОСТ 15613.4–78 и ГОСТ 15613.5–78 на универсальной испытательной машине УММ-5 (ЗИМ) и разрывной машине Р-5 (ЗИМ). Для исследования взаимосвязи данных по параметрам и прочности соединений применяли методику ANOVA [6].

Более полное описание характеристик исследуемых материалов и оборудования, методик исследований приведено в [6, 7, 15, 16].

Результаты

Проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований [6, 7, 15, 16-17] позволило обосновать возможность формирования качественных шиповых соединений деталей из древесины на основе технологии торцового прессования. Ниже изложены ключевые полученные результаты.

1) Исследования макро- и микроструктуры древесины в зоне пластически деформированных участков древесины под дном проушин позволили установить минимальное влияние процесса прессования на структуру древесины вне зон деформации. «Пробка» из пластически деформированной древесины может быть рассмотрена как более плотное включение по типу сучка, незначительно влияющее на физико-механические свойства основного объема древесины заготовки [15].

2) Оценка напряженного состояния материала инструмента и заготовок подтвердила возможность изготовления пуансонов, предназначенных для серийной обработки заготовок, из доступного распространенного материала СтЗсп [17].

3) Получены регрессионные модели для расчета усилия прессования прямоугольной проушины в образцах из древесины сосны F_{es} , березы F_{eb} , дуба F_{ed} , Н:

$$F_{es} = 9625,88 - 928,03W - 1430,17h_n + 2068,89B + 28,97W^2 + 61,40h_n^2 + 45,76Wh_n - 68,03WB, \quad (1)$$

$$F_{eb} = 5129,73 - 788,40W + 1814,73B + 70,12Wh_n - 56,53h_nB, \quad (2)$$

$$F_{ed} = 4716,61 + 346,0W + 1382,70h_n - 1007,01B - 239,01Wh_n + 357,66WB + 2,90Wh_nB, \quad (3)$$

где W – влажность древесины, %;

h_n – глубина проушины, мм;

B – ширина проушины, мм.

Адекватность моделей подтверждена путём проверки по F -критерию Фишера [15], а их качество – высокими значениями коэффициентов детерминации R^2 , превышающими величину 0,99. Для определения усилия прессования многократных проушин результат, полученный при расчете по моделям (1) – (3), необходимо умножить на число формируемых проушин.

4) Определены рациональные значения параметров процесса (влажности W , глубины h_n и ширины B проушин), обеспечивающие высокое качество отпечатков при минимальных энергозатратах, и ожидаемые значения выходных параметров (усилия прессования F_e , увеличения твердости дна проушин HRL (HRM) и глубины деформированной зоны h_3). Значения параметров составили:

– для образцов из древесины сосны: $W = 8 \%$, $h_n = 11$ мм, $B = 4$ мм; $F_{es} = 5,8$ кН, $HRL_s = 165 \%$, $h_{3s} = 33\%$;

– для образцов из древесины березы: $W = 9,5 \%$, $h_n = 8$ мм, $B = 4$ мм; $F_{eb} = 8,4$ кН, $HRM_b = 196 \%$, $h_{3b} = 75 \%$;

– для образцов из древесины дуба: $W = 7\%$, $h_n = 9$ мм, $B = 4$ мм; $F_{ed} = 11,2$ кН, $HRM_d = 182 \%$, $h_{3d} = 65 \%$.

При этом установлено, что целевая оптимизационная функция имеет потенциал в направлении уменьшения ширины проушин до 2 мм. Полученные данные были использованы на следующем этапе исследований с целью совершенствования конструкционных и прочностных показателей соединений.

5) Проведена экспериментальная оценка прочности склеивания по длине на прямоугольные прессованные шипы [6]. Установлено соответствие требованиям ГОСТ 20850–2014, ГОСТ 33080–2014, ГОСТ 33081–2014 к прочности пиломатериалов класса С30 и клееных деревянных конструкций класса К36. Это подтверждает возможность применения прессованных прямоугольных шипов для изготовления соединений в столярно-строительных и других изделиях в соответствии с ГОСТ 24700–99, ГОСТ 30972–2002.

На основании представленных результатов исследований определен состав и последовательность этапов технологического процесса, технологические требования и рекомендуемые режимы формирования соединений на основе технологии прессования шипов.

Первая группа технологических операций по продольному и поперечному раскрою сухих пиломатериалов с вырезкой дефектов проводится по типовым режимам и не отличается от подготовки заготовок, предназначенных для сращивания по длине.

Далее производится группа технологических операций, представленная в таблице 1. Здесь приведены этапы обработки заготовок, начиная с их сортировки и заканчивая сборкой соединения. Обработка проводится при влажности древесины, соответствующей эксплуатационной влажности изделий, при нормальной температуре и влажности производственного помещения.

После сборки соединений заготовки подвергают механической обработке в соответствии с назначением, например, двух- или четырехстороннему фрезерованию и другим последующим операциям по типовым режимам изготовления клееных изделий.

Таблица 1 – Режимные параметры технологических операций формирования клеевых соединений на прессованные шипы

Основные этапы технологического процесса	Технологические требования и режимы
Сортировка и отбор заготовок	Наклон волокон не более 15 % для образцов из древесины сосны, не более 10 % – из березы и дуба.
	Отсутствие трещин и сучков в зоне прессования.
	Преимущественно тангенциально ориентированная плоть.
	Влажность заготовок 6 - 12 %.
Обжим заготовки в оснастке	Двух- или четырехсторонний обжим заготовок
	Направление усилия двустороннего обжима – со стороны кромок заготовки.
	Усилие обжима 0,8 – 1 кН для образцов древесины сосны, 0,9 – 1,2 кН из березы и дуба.
Формирование шипов прессованием	Материал пуансона – Ст3сп.
	Точность инструмента – 11 квалитет.
	Скорость прессования 2 – 4 мм/с.
	Температура заготовки, инструмента и окружающей среды 18 – 25 °С.
	Величина усилия прессования по формуле (1). (На примере заготовок из древесины сосны сечением 25х40 мм: 28 – 30 кН).
	Глубина проушины 9 – 11 мм.
	Ширина проушины 2 – 4 мм.
Нанесение клея	Рекомендуемые клеи – на основе ПВА-дисперсии.
	Двустороннее нанесение
	Расход 95 – 140 г/м ² .
Сборка и запрессовка соединения	Натяг в соединении шип-проушина от 0,1 до 0,2 мм.
	Усилие запрессовки 8,8 – 11,7 кН.
	Время выдержки под давлением 10 – 20 с.
Время технологической выдержки после склеивания	В зависимости от типа используемого клея от 5 до 20 мин.

Перспективами применения технологии являются изготовление закрытых (рис. 2 а) и полузакрытых (рис. 2, б) соединений по длине. Типовые угловые соединения на прямоугольные ящичные шипы (рис. 2 в) также могут быть получены способом прессования.



а)



б)



в)

Рис. 2. Экспериментальные образцы заготовок соединений, изготовленных с применением способа торцового прессования: а – детали соединения по длине закрытые шипы длиной 10 мм, толщиной 2 мм; б – детали соединения по длине на полузакрытые шипы длиной 20 мм, толщиной 4 мм; в – угловое соединение на открытые прямоугольные шипы длиной 10 мм, толщиной 2 мм

Заключение

Технология формирования элементов шиповых соединений способом холодного торцового местного прессования позволяет при использовании простого по конструкции, недорогого и стойкого инструмента, без отходов в виде стружки, обеспечить точность изготовления шипов, получить клеевое соединение по длине с прочностью, соответствующей требованиям стандартов к клееной продукции.

Комплексные исследования процесса формирования клеевых соединений на прессованные шипы позволили установить основные технологических этапов, включающие сортировку и отбор заготовок, обжим заготовки в оснастке, формирование шипов способом торцового прессования, нанесение клея, сборку и запрессовку соединений, технологическую выдержку после склеивания. Определены требования к реализации процесса в производственных условиях; значения режимных параметров процесса и достигаемые значения показателей прочности соединений. Сформулированные в работе требования к процессу и найденные режимные параметры рекомендуется использовать для внедрения технологии в производственные условия.

Литература

1. Волынский, В.Н. Технология клеевых материалов. СПб.: ПРОФИКС, 2008. 392 с.
2. Jokerst R.W. Finger-Jointed Wood Products. Forest Products Lab Madison Wi, №. FSRP-FPL-382. 1981. 26 с.
3. Барташевич А.А., Трофимов С.П. Конструирование мебели. Мн.: Современная школа, 2006. 336 с.
4. Guidice A. The Seven Essentials of Woodworking. Sterling, 2001. 128 с.
5. Рублева О.А. Способ формирования элементов шиповых соединений деревянных заготовок // Пат. 2741614 Рос. Федерация. № 2011116271/13; заявл. 25.04.2011; опубл. 10.01.2013, приоритет 25.04.11.
6. Рублева О.А., Гороховский А.Г. Экспериментальная оценка прочности склеивания древесины по длине на прямоугольные прессованные шипы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 128–142. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-128-142
7. Рублева О.А., Гороховский А.Г. Прочность склеивания древесины по длине на прямоугольные шипы // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII. № 5. С. 358–366.
8. Vrazel M., Sellers Jr T. The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger-joint // Forest products journal. 2004. Т. 54. №. 3. С. 66-76.
9. Фрезы для сращивания // Станкоинструмент: ООО "Станкоинструмент". 2012-2018. URL: http://stanokspb.ru/instrument/frezy-nasadnie/frezyi_dlya_srashhivaniya/ (дата обращения: 25.12.18).
10. Tankut N. The effect of adhesive type and bond line thickness on the strength of mortise and tenon joints // International journal of adhesion and adhesives. 2007. Т. 27. №. 6. С. 493–498. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2006.07.003
11. Likos E., Haviarova E., Eckelman C.A., Erdil, Y.Z., Ozcifci A. Effect of tenon geometry, grain orientation, and shoulder on bending moment capacity and moment rotation characteristics of mortise and tenon joints // Wood and Fiber Science. 2012. Т. 44. №. 4. С. 462–469.
12. Erdil Y.Z., Kasal A., Eckelman C.A. Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints // Forest Products Journal. 2005. Т. 55. №. 12. С. 209.
13. Strickler M.D. Finger jointing of lumber: пат. 3262723 (США). Вашингтон: U.S. Patent and Trademark Office. 1966 // URL: <https://patents.google.com/patent/US3262723A/en> (дата обращения 06.05.2019).
14. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 352 с.
15. Rubleva O.A. Structural changes of Scots pine wood caused by local pressing in the longitudinal direction // Drevno. 2019. Т. 62, № 204. С. 23-39. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.268.06.
16. Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G. Prediction model for the pressing process in an innovative forming joints technology for woodworking // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Т. 537, № 2. Ст. 022064. DOI: 10.1088/1757-899X/537/2/022064.
17. Демидов Н.Н., Рублева О.А. Моделирование процесса прессования проушины в заготовках из древесины сосны // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVI Всерос. науч.-техн. конф. студ. и асп. УГЛТУ, 2020. С. 16-19.

© Рублева О.А. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины и технологии деревообработки» ФГБОУ ВО «Вятского государственного университета» (ФГБОУ ВО «ВятГУ»), e-mail: olga_ru@vyatsu.ru.

UDC 674.028.9+674.049.2

TECHNOLOGY OF JOINTS FORMING WITH PRESSED TENONS

O.A. Rubleva

For splicing, along with finger joints, rectangular tenons could be successfully used. The most common method of forming the joint profile is milling. The disadvantages of the method include the high cost of the milling tool, the cost of its periodic sharpening; high energy consumption of the milling process, design restrictions on the geometric parameters and the strength of the studs. The technology of forming the joints elements by the method of cold pressing in the longitudinal direction allows to eliminate the indicated drawbacks and, when using a simple in construction and resistant tool, without waste in the form of shavings, to ensure high precision of joint production and high strength of end joints. Comprehensive studies of the process of forming joints with pressed tenons made it possible to establish a list of the main technological stages and requirements for implementing the process in a production environment; the values of the process operational parameters and the achieved values of the strength indicators of the joints. The process requirements formulated in the work and the found operating parameters are recommended to be used for introducing the technology into production conditions.

Keywords: wood pressing, joints, wood splicing, rectangular tenons, operating parameters.

References

1. Volynskij V.N. Tekhnologiya kleenyyh materialov [Technology of glued materials]. St. Petersburg, PROFIKS Publ., 2008. 392 p. (In Russ.).
2. Jokerst R.W. Finger-Jointed Wood Products. Forest Products Lab Madison Wi, №. FSRP-FPL-382, 1981, 26 p.
3. Bartashevich A.A., Trofimov S.P. Konstruirovaniye mebeli [Furniture construction]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 336 p. (In Russ.).
4. Guidice A. The Seven Essentials of Woodworking. Sterling, 2001. 128 p.
5. Rubleva O.A. Sposob formirovaniya ehlementov shipovyh soedinenij derevyannyh zagotovok [Method of finger joint's shaping in wood blanks]. 2013. Patent RF № 2471614. (In Russ.).
6. Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G. Experimental Evaluation of Strength of End Joints with Rectangular Pressed Fingers. Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal], 2020, no. 3, pp. 128–142. (In Russ.) DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-128-142.
7. Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G. Prochnost' skleivaniya drevesiny po dline na pryamougol'nye shipy [Strength Of End Joints Whith Rectangular Fingers], Conifers of the boreal area, 2019, Vol. XXXVII, Iss. 5, pp. 358–366. (In Russ.).
8. Vrazel M., Sellers Jr T. The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger-joint. Forest products journal, 2004, vol. 54, iss. 3, pp. 66–76.
9. Frezy dlya srashchivaniya [Splicing Cutters]. (In Russ.) Available at: http://stanokspb.ru/instrument/frezy-nasadnie/frezyi_dlya_srashchivaniya/ (accessed 25 December 2018). (In Russ.).
10. Tankut N. The effect of adhesive type and bond line thickness on the strength of mortise and tenon joints. International journal of adhesion and adhesives, 2007, vol. 27, iss. 6, pp. 493–498. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2006.07.003.
11. Likos E., Haviarova E., Eckelman C.A., Erdil, Y.Z., Ozcifci A. Effect of tenon geometry, grain orientation, and shoulder on bending moment capacity and moment rotation characteristics of mortise and tenon joints. Wood and Fiber Science, 2012, vol. 44, iss. 4, pp. 462–469.
12. Erdil Y.Z., Kasal A., Eckelman C.A. Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints. Forest Products Journal, 2005, vol. 55, iss. 12, pp. 209.
13. Strickler M. D. Finger jointing of lumber. U.S. Patent No. 3,262,723. 1966 // URL: <https://patents.google.com/patent/US3262723A/en> (accessed 06 May 2019).
14. Huhryanskij P. N. Pressovanie drevesiny [Wood pressing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964, 352 p. (In Russ.).
15. Rubleva O.A. Structural changes of Scots pine wood caused by local pressing in the longitudinal direction. Drewno, 2019, Vol. 62, Iss. 204, pp. 23–39. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.268.06.

16. Rubleva O.A., Gorokhovskiy A.G. Prediction model for the pressing process in an innovative forming joints technology for woodworking. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., Vol. 537, Iss. 2, Article 022064. DOI: 10.1088/1757-899X/537/2/022064.

17. Demidov N.N., Rubleva O.A. Modelirovanie processa pressovaniya proushiny v zagotovkah iz drevesiny sosny [Modeling of the process of mortise pressing in pine wood blanks]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XVI Vseros. nauch.-tekhn. konf. stud. i asp. [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: Proc. All-russ. Sci. Techn. Conf.], UGLTU Publ., 2020, pp. 16–19. (In Russ.)

©Rubleva O.A. - Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Machinery and Wood Technology, Vyatka State University, e-mail: olga_ru@vyatsu.ru.

УДК 674.213.049.2:674.031

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ПАРКЕТНОЙ ПЛАНКИ

Д.В. Шейкман

В статье рассматривается актуальный на сегодняшний день вопрос рационального и более полного использования древесины мягких лиственных пород путем модифицирования для использования в качестве напольных покрытий. Исследуются натуральная древесина березы и древесина березы после модифицирования в сравнении с древесиной дуба. За эталон приняты физико-механические свойства древесины дуба при сжатии и смятии поперёк волокон. После модифицирования древесины березы возникает необходимость расчета рабочей эксплуатационной нагрузки. Рассматривается обоснование сопротивления статическим и динамическим нагрузкам паркетной планки для замены хвойных и твердых лиственных пород древесины мягкими лиственными породами с улучшенными физико-механическими свойствами. Паркет является конструктивным элементом межэтажного перекрытия и его предлагается рассчитывать по предельным состояниям, как принято в расчётах строительных конструкций. В статье предлагается система решения задачи согласно Своду правил СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции». Полученные результаты подтверждают полученные данные ранее проведенных исследований по улучшению физико-механических свойств древесины березы.

Ключевые слова: модифицирование древесины, пропитка древесины, лиственные породы древесины, штучный паркет.

Введение

На сегодняшний день актуален вопрос рационального и более полного использования древесины мягких лиственных пород или замены дорогостоящих экзотических пород древесины на мягкие лиственные породы при изготовлении столярных изделий и строительных материалов. В результате интенсивной эксплуатации хвойных и твердых лиственных насаждений в европейской части страны их запасы сократились и в связи с этим возникла необходимость в увеличении объемов заготовки и переработки древесины мягких лиственных пород [1].

Полы с покрытием из штучного паркета отличаются хорошими эксплуатационными показателями [2]. При эксплуатации напольных покрытий требуются материалы в которых сочетались бы высокая прочность с высокой водонепроницаемостью, статической твердостью, стабильностью форм, износостойкостью. В связи с этим ищутся различные пути совершенствования физико-механических свойств древесины мягких лиственных пород, путем модифицирования.

Исследования показывают, что наиболее действенным способом улучшения физико-механических свойств является применение синтетических полимеров. Древесина пористый материал, который можно пропитать низковязким олигомером или синтетическим мономером, которые переводятся в твердое состояние. В результате получают новые материалы с значительно более лучшими свойствами, чем исходные. В несколько раз увеличивается прочность древесины, увеличивается твердость, повышается влагостойкость, уменьшается истираемость.

Исследуются модифицированная древесина березы в сравнении с древесиной дуба. Модифицирование древесины березы проводилось путем пропитывания древесины алкидной

композицией, дальнейшей полимеризацией и уплотнением. Полученный материал обладает повышенными плотностью, прочностью и долговечностью, позволяющими во многих случаях заменить не только древесину хвойных, но и твердолиственных пород, например, при изготовлении покрытий для пола в виде штучного паркета, лицевых планок для паркетных щитов и досок, причем модифицирование может проводиться не на всю толщину паркетной заготовки, а только на 2-3 мм – допускаемую толщину износа древесины в процессе эксплуатации паркетных покрытий [3].

После модифицирования древесина мягких лиственных пород приобретает улучшенные физико-механические свойства и возникает необходимость расчета статических и динамических нагрузок на паркетную ламель. Предлагается один из возможных способов расчета предельного состояния сопротивления древесины смятию поперек волокон при эксплуатации с помощью Строительных норм и правил.

При нагружении рабочими нагрузками паркетная планка сжимается поперёк волокон силами, приложенными на части её верхней пласти. Паркет является конструктивным элементом межэтажного перекрытия и его предлагается рассчитывать по предельным состояниям, как принято в расчётах строительных конструкций.

Выделяют две группы предельных состояний. Возникновение предельного состояния первой группы ведёт к безусловному выходу строительной конструкции из строя. Предельное состояние второй группы допускает эксплуатацию конструкции (с ограничениями). Появление на поверхности паркета механических повреждений является предельным состоянием второй группы.

Расчёт сопротивления статическим и динамическим нагрузкам паркетной планки проводим согласно Своду правил СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции» [4]. Согласно п. 4.1 [4] «для изготовления деревянных конструкций следует применять древесину преимущественно хвойных пород. Древесину твердых лиственных пород следует использовать для нагелей, подушек и других деталей». Расчётные характеристики древесины хвойных пород заданы в таблице 3, напряженное состояние и характеристика элементов, где даны расчетные сопротивления, МПа, для сортов (классов) древесины.

Методы исследования

Древесина дуба в данном исследовании является эталоном физико-механических свойств при изготовлении паркета. Проведем расчет паркетной планки из древесины дуба согласно позиции 4, б таблицы 3 [4], расчетные сопротивления $R_{см90}$ древесины всех сортов (классов) для местного смятия поперек волокон под шайбами при углах смятия от 90 до 60° равны

$$R_{см90} = 4 \text{ МПа} \quad (1)$$

В соответствии с п. 5.1 расчетные сопротивления древесины других пород устанавливают путем умножения величин, приведенных в таблице 3, на переходные коэффициенты m_{II} , указанные в таблице 5 [4].

Для проведения расчета паркетной планки из натуральной древесины дуба при сжатии и смятии поперек волокон в соответствии с таблицей 5 [4] переходной коэффициент равен

$$m_{II} = 2. \quad (2)$$

Расчётное сопротивление древесины дуба смятию поперёк волокон равно

$$R_{см90}^d = R_{см90} m_{II} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Допускаемые напряжения древесины дуба при смятии поперёк волокон равны [5]

$$[\sigma_{см90}^d] = 9,1 \text{ МПа}. \quad (4)$$

При расчёте по предельным состояниям, превышение допускаемых напряжений при смятии поперёк волокон над расчётным сопротивлением составляет запас прочности

$$k_d = [\sigma_{см90}^d] / R_{см90}^d = 9,1 / 8 = 1,14 \quad (5)$$

На паркетную планку действует нагрузка от веса человека. Примем нормативное значение этой нагрузки равным

$$P_t = 0,8 \text{ кН} \quad (6)$$

Расчётное значение нагрузки равно произведению её нормативного значения, умноженному на коэффициент надёжности по нагрузке γ_f , соответствующий рассматриваемому предельному состоянию ([4] п.п 4.2)

$$F_t = P_t \gamma_f \quad (7)$$

При расчете по предельным состояниям 2-й группы коэффициент надёжности по нагрузке γ_f принимается равным единице ([4] п.п 4.2.а)

$$\gamma_f = 1 \quad (8)$$

Вертикальная нагрузка $F_t = 0,8 \text{ кН}$, приложена к планке на квадратной площадке со сторонами не более 10 см [4]. Напряжения смятия на площадке

$$\sigma_{см} = F_t / (0,01)^2 = 800 / 0,0001 = 8 \text{ МПа} = R_{см90}^d \quad (9)$$

Согласно проведенному расчету дубовая планка удовлетворяет требованиям расчёта по предельным состояниям 2-ой группы.

Расчет паркетной планки из древесины берёзы модифицированной алкидным составом

Допускаемые напряжения древесины берёзы, модифицированной акриловым составом, при смятии поперёк волокон равны

$$[\sigma_{см90}^{см}] = 12,2 \text{ МПа} \quad (10)$$

Данные по расчётному сопротивлению берёзы, модифицированной акриловым составом, отсутствуют.

Напряжения смятия от действия вертикальной силы $F_t = 0,8 \text{ кН}$ равны

$$\sigma_{см} = 8 \text{ МПа.} \quad (11)$$

Коэффициент запаса прочности по допускаемым напряжениям смятия для берёзы, модифицированной акриловым составом, равен

$$k_{см} = [\sigma_{см90}^{см}] / \sigma_{см} = 12,2 / 8 = 1,52. \quad (12)$$

Коэффициент запаса прочности по допускаемым напряжениям смятия для берёзы, модифицированной акриловым составом, в 1,33 раза превосходит аналогичный запас для планки из натурального дуба.

Присутствие в поверхностном слое паркетной планки из берёзы пропиточной композиции после полимеризации и уплотнения приводит к образованию прочного поверхностного слоя, что позволяет повысить его статическую контактную прочность и улучшить другие физико-механические свойства древесины.

Расчет паркетной планки из натуральной древесины берёзы

Для натуральной древесины берёзы при сжатии и смятии поперек волокон переходной коэффициент равен (позиция 8, столбец 3 таблицы 5)

$$m_{II} = 1,6 \quad (13)$$

Расчётное сопротивление древесины натуральной берёзы смятию поперёк волокон равно

$$R_{см90}^6 = R_{см90} m_n = 4 \cdot 1,6 = 6,24 \text{ МПа.} \quad (14)$$

Допускаемые напряжения древесины дуба при смятии поперёк волокон равны [5]

$$[\sigma_{см90}^6] = 8,3 \text{ МПа.} \quad (15)$$

При расчёте по предельным состояниям, превышение допускаемых напряжений при смятии поперёк волокон над расчётным сопротивлением составляет запас прочности

$$k_d = [\sigma_{см90}^6] / R_{см90}^d = 8,3 / 8 = 1,04. \quad (16)$$

Вертикальная нагрузка $F_t = 0,8 \text{ кН}$, приложена к планке на квадратной площадке со сторонами не более 10 см [6]. Напряжения смятия на площадке

$$\sigma_{см} = F_t / (0,01)^2 = 800 / 0,0001 = 8 \text{ МПа} \quad (17)$$

превышают расчётное сопротивление натуральной берёзы смятию поперёк волокон

$$R_{см90}^d = 6,24 \text{ МПа.} \quad (18)$$

Планка из натуральной берёзы не удовлетворяет требованиям расчёта по предельным состояниям 2-ой группы.

Натуральная берёзовая планка имеет малый запас прочности по допускаемым напряжениям

$$k_6 = [\sigma_{см90}^6] / \sigma_{см} = 8,3 / 8 = 1,04 \quad (19)$$

и, как следствие, повышенный износ в процессе эксплуатации. Долговечность древесины существенно зависит от вида ее применения. Достаточно надежный материал существует только относительно определенного ассортимента древесины [7].

Повышение прочности на статический изгиб образцов древесины берёзы объясняется тем, что в данном случае опасные сжимающие напряжения воспринимает лицевой слой паркетной планки, модифицированный пропиткой и уплотнением, а поэтому более прочный по сравнению с натуральной древесиной, а растягивающие напряжения воспринимает нижний уплотненный слой, тоже более прочный. Паркетную планку после модификации можно рассматривать как трехслойную балку, которая за счет слоистого строения способна воспринимать большие нагрузки при изгибе, чем однослойная и монолитная по сечению. Каждый слой трехслойной паркетной планки при изгибе работает как самостоятельный элемент и в то же время в соединении с другими слоями, передавая им часть изгибающей нагрузки. Зацепистые изломы древесины на нижней уплотненной и растянутой при изгибе поверхности свидетельствуют о высокой прочности образцов с пропитанным и уплотненным слоем древесины [8]. Малая сопротивляемость древесины смятию и скалыванию определяется особенностью ее строения [9].

С целью создания определенных видов модифицированной древесины с желаемыми свойствами проведен комплекс исследований. Главное внимание уделяется отличительным особенностям поведения модифицированной древесины под воздействием различных факторов по сравнению с натуральной древесиной [10].

Заключение

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что коэффициент запаса прочности по допускаемым напряжениям смятия для берёзы, модифицированной акриловым составом, в 1,33 раза превосходит аналогичный запас для планки из натурального дуба. В результате процесс эксплуатации, стойкость на износ напольного покрытия из модифицированной древесины берёзы увеличивается.

Литература

1. Коротаев Э.И., Клименко М.И. Использование мягкой лиственной древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 128 с.
2. Матвиенков Г.М. Деревянные полы : монография. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 449 с.

3. Н.А. Кошелева, Д.В. Шейкман, Исследование процесса пропитки полимерами при модификации малоценных пород древесины / Вестник Казанского технологического университета: Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: КНИТУ, Т18. №14. 126-131 (2015).
4. СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Опечаткой, с Изменением N 1). - 92 с.
5. Шейкман Д.В. Технология модифицирования древесины мягких лиственных пород и березы для напольных покрытий: Дисс на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шейкман Дмитрий Викторович. Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. – 207 с.
6. Ицкович Г.М. Сопротивление материалов: Учеб. для сред. Спец. Учеб. заведений. – 8-е изд., испр. И доп. – М.: Высш. Шк., 1998. – 368 с.: ил.
7. Лангендорф Г., Айхлер Х. Облагораживание древесины: Пер. с нем.-М.: Лесная промышленность, 1982. – 144 с.
8. Шейкман Д.В., Кошелева Н.А. Исследование физико-механических свойств модифицированной древесины березы и осины// Вестник технологического университета. Казань. Т.19, № 15. 2016.
9. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. - М.: Лесная промышленность, 1964. – 352 с.
10. Теоретические аспекты модифицирования древесины: Тез. докл. всесоюз. конф. / [Редкол.: К. А. Роценс (отв. ред.) и др.]. - Рига: Зинатне, 1983. - 205 с.

© Шейкман Д.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры механической обработки древесины и производственной безопасности ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), e-mail: cheikman@yandex.ru.

UDC 674.213.049.2:674.031

CALCULATION OF STRENGTH OF THE PARQUET PLAN

D.V. Sheykman

The article considers the current issue of the rational and more complete use of soft hardwood by modifying it for use as floor coverings. We study natural birch wood and birch wood after modification in comparison with oak wood. The physical and mechanical properties of oak wood during compression and crushing across fibers are taken as a standard. After modifying the birch wood, it becomes necessary to calculate the working operational load. The substantiation of resistance to static and dynamic loads of the parquet strip is considered to replace softwood and hardwood with soft hardwoods with improved physical and mechanical properties. Parquet is a structural element of the floor and it is proposed to calculate it according to the limiting conditions, as is customary in the calculation of building structures. The article proposes a system for solving the problem according to the Code of Rules SP 64.13330.2011 "Wooden Structures". The obtained results confirm the data obtained from previous studies on the improvement of the physic mechanical properties of birch wood.

Keywords: wood modification, wood impregnation, hardwood, piece parquet.

References

1. Korotaev E.I., Klimenko M.I. [Use soft hardwood]. - М.: Lesn. industry, 1983. - 128 s. (InRus.).
2. Matvienkov G.M. [Wooden floors]: monograph. - М.: GOU VPO MGUL, 2008. -- 449 p. (InRus.).
3. N.A. Kosheleva D.V. Sheykman, [Investigation of the process of polymer impregnation in the modification of low-value wood species] / Bulletin of Kazan Technological University: Kazan. nat. researched technol. un-t - Kazan: KNIU, T18. No. 14. 126-131 (2015). (InRus.).
4. SP 64.13330.2011 [Wooden structures]. Updated edition of SNiP II-25-80 (with a typo, with amendment No. 1). - 92 p. (InRus.).
5. Sheykman D.V. [Technology for modifying soft hardwood and birch wood for flooring]: Diss for the degree of candidate of technical sciences / Sheykman Dmitry Viktorovich. Yekaterinburg: USLTU, 2017. -- 207 p. (InRus.).
6. Itskovich G.M. [Resistance of materials]: Textbook. for environments Specialist. Textbook institutions. - 8th ed., Rev. And add. - М.: Higher. Shk., 1998. -- 368 p.: Ill. (InRus.).
7. Langendorf G., Eichler H. [Improvement of wood]: TRANS. with him.-М.: Forest industry, 1982. - 144 p. (InRus.).

8. Sheykman D.V., Kosheleva N.A. [Investigation of the physical and mechanical properties of modified birch and aspen wood] // Bulletin of the Technological University. Kazan. Vol.19, No 15. 2016. (InRus.).
9. Khukhryansky P.N. [Pressing wood]. - М.: Forest industry, 1964. - 352 p. (InRus.).
10. [Theoretical aspects of wood modification]: Abstract. doc. All-Union. conf. / [Editorial: K. A. Rocens (ed. Ed.) And others]. - Riga: Zinatne, 1983. - 205 p. (InRus.).

© Sheykman D.V. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical wood processing and production security, Ural State Forestry Engineering University (USFEU), e-mail: cheikman@yandex.ru.

УДК 674.2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

О.Д. Казаков, А.А. Лукаш, Н.П. Лукутцова

В статье рассмотрены вопросы оценки комплексной переработки древесины мягких лиственных пород при создании новых видов продукции с улучшенными эксплуатационными показателями. Выявлено, что комплексная переработка разнообразных видов сырья, включая ядровую гниль и отходы механической обработки, обеспечивают увеличение объемов переработки древесины мягких лиственных пород. Классифицированы мероприятия по устранению недостатков строения мягколиственной древесины. Обосновано, что продукцию с улучшенными эксплуатационными свойствами можно реализовывать по большей цене и за счет этого получать дополнительную прибыль. Выявлено, что дополнительный доход получается от снижения материальных затрат, связанных с приобретением сырья т.к. цены на лесоматериалы малоиспользуемых мягких лиственных пород ниже, у хвойных лесоматериалов. Установлено, что производство продукции с улучшенными эксплуатационными свойствами делает продукцию более конкурентоспособной, что позволяет ее реализовывать по более высокой цене, увеличить объемы производства, и в конечном итоге улучшить финансовые показатели работы предприятия. Разработана математическая модель оценки экономической эффективности переработки древесины мягких лиственных пород (МЛП) с учетом улучшения эксплуатационных свойств, затрат на изменение технологии и эксплуатационных характеристик. Показано, что среднегодовой экономический эффект характеризует конечный экономический результат от улучшения эксплуатационных свойств материалов и изделий из древесины мягких лиственных пород.

Ключевые слова: древесина, комплексная переработка, материалы, изделия, эффективность.

Введение

Оценке эффективности бизнеса и проектных решений, моделированию менеджмента на микроуровне посвящены исследования многих зарубежных экономистов [13-15]. В исследованиях [13] обосновано, что возможность расширения ассортимента выпускаемой продукции определяется эффективностью проектирования изделий и производственных систем. В исследованиях [14, 15] показано, что финансовый анализ при принятии решений в области НИОКР расширяет возможности управления. Одним из важных вопросов является оценка эффективности комплексной переработки древесины мягких лиственных пород. Расчетная лесосека по мягким лиственным породам древесины зачастую остается невостребованной из-за низких их эксплуатационных показателей. Низкая экономическая эффективность промышленной переработки мягколиственных пород древесины зачастую заставляет использовать такую древесину в качестве топлива или в худшем случае использовать ее для укрепления транспортной сети и волоков, либо оставляя в кучах для перегнивания. При разработке лесосек по достижению основными хвойными породами возраста спелости, который в разных регионах страны варьирует в диапазоне от 80 до 100 лет, мягколиственные породы древесины, как правило, являются перестойными, поскольку возраст их спелости практически в два раза меньше, что влечет появление гнили и общее снижение товарной стоимости. Неиспользованная переспелая древесины мягких лиственных пород мешает последующему выращиванию на занятых ею территориях ценной в

техническом отношении древесины хвойных или твердолиственных пород. Кроме того, перестойные леса становятся пожароопасными.

Широкомасштабное вовлечение промышленное производство позволит снизить себестоимость заготовки традиционно используемых хвойных пород древесины, поскольку потери от заготовки древесины других, неостребованных пород древесины, перекладываются на их себестоимость при проведении лесозаготовительных мероприятий.

При промышленном освоении новых видов продукции из древесины мягких лиственных пород необходимо учитывать сложные вопросы улучшения эксплуатационных свойств, необходимости применения затрат на изменение технологии и эксплуатационных характеристик, что весьма затруднительно. Оценку экономической эффективности проектирования изделий и производственных систем существенно упростит обобщенная математическая модель оценки эффективности комплексной переработки древесины мягких лиственных пород в новые виды продукции с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Методы и материалы

Объектом исследования является древесина мягких лиственных пород. Предметом исследования являются производственная и экономическая эффективность комплексной переработки древесины мягких лиственных пород.

Исследование возможности повышения производственной эффективности базируется на эмпирических подходах и методах. Обоснование экономической эффективности основывается на построении математической модели, в том числе с применением прямых численных методов линейной алгебры.

Результаты

Основными недостатками, препятствующими широкомасштабному вовлечению в переработку древесины мягких лиственных пород и березы являются низкие прочностные и декоративные свойства [1, 12], склонность к короблению и загниванию, наличие ядровой гнили, составляющее до 30% от общих запасов этой древесины [2, 10, 11]. Затрудняют переработку отходов механической обработки мягких лиственных пород наличие экстрагируемых веществ, препятствующих твердению вяжущих веществ при производстве композиционных материалов. Для уменьшения их отрицательного влияния на прочность древесно-цементных композиций применяют технологические способы основанные: на частичном удалении этих веществ из древесного заполнителя; переводе сахаридов в нерастворимые или безвредные для цемента соединения. Эти процессы «минерализации» древесного заполнителя сложны и требуют многоступенчатой обработки заполнителя химикатами или длительной выдержки [7].

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года нацеливает на устойчивое лесопользование, инновационное и эффективное использования и воспроизводство лесов [8]. Поэтому разработка новых, экономически эффективных методов использования древесины мягких лиственных пород является актуальной.

Одним из наиболее перспективных сегментов использования древесины в России является малоэтажное домостроение [3, 4]. Среди причин развития данного сегмента является увеличение благосостояния населения, у которого есть желание жить в более комфортных условиях, с одной стороны, и высокая потребность в недорогом жилье, с другой стороны.

Для повышения эффективности использования древесины МЛП разработаны новые технические решения по устранению недостатков строения (табл. 1) [5].

Использование научно обоснованных технологических воздействий улучшающих внешний вид созданием рельефа на поверхности и снижающих теплопроводность формированием замкнутых внутренних воздушных полостей позволяет создавать материалы изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами по сравнению с аналогичными существующими видами продукции [6]. Продукцию с улучшенными потребительскими свойствами можно реализовывать по более высокой цене с учетом капитальных затрат на улучшение эксплуатационных характеристик из древесины МЛП. Методы ценообразования с ориентацией на полезность базируются на идее, что потребитель при оценке полезности продукции ориентируется на его основные параметры и готов платить определенную сумму [9].

Таблица 1 - Технические решения по устранению недостатков строения древесины мягких лиственных пород

Недостатки строения древесины МЛП	Технические решения для устранения недостатков строения
1. Однородная невыразительная текстура	Применение деформирующей обработки одновременно со склеиванием слоистых отделочных материалов для повышения выразительности лицевой поверхности
2. Ядровая гниль диаметром до 60 мм в лесоматериалах	Удаление гнили при продольном сверлении вдоль центральной оси
3. Ядровая гниль диаметром более 60 мм в лесоматериалах	Использование новых (паллетных) схем раскроя для получения обрезных пиломатериалов
4. Ядровая гниль в пиломатериалах	Выпиливание здоровой древесины с каждой из сторон параллельно кромкам
5. Трещины на поверхности оцилиндрованных бревен	Сушка бревен изнутри с использованием сквозного продольного технологического отверстия
6. Экстрагируемые вещества (моносахариды)	Применение быстротвердеющих вяжущих при изготовлении композитов из стружки

В условиях непостоянства цен на сырье и энергоресурсы необходимо оценить экономическую эффективность комплексной переработки древесины мягких лиственных пород. Для этого предлагается использовать среднегодовой экономический эффект от производства из древесины МЛП. Разработана обобщенная математическая модель переработки древесины МЛП в новые материалы и изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами:

$$Y = D - K \times Q, \quad (1)$$

$$D = \sum_{j \in l} \sum_{k=1}^m P_{jk}(E_k) V_{jk}(E_k) - w_k(E_k), \quad (2)$$

$$E_k = \sum_{i=1}^{n_k} \left(\frac{s_{ik} + \Delta s_{ik}}{s_{ik}^o} \right) \alpha_{ik}, \quad k \in J, \quad \alpha_{ik} \geq 0, \quad \sum_{i=1}^{n_k} \alpha_{ik} = 1, \quad k \in J, \quad (3)$$

$$P_{jk}(E_k) = P_k^o + e^{E_k - \bar{E}_k}, \quad j \in l, \quad k \in J \quad (4)$$

$$V_{jk}(E_k) = b_k^o + a(E_k - \bar{E}_k), \quad j \in l, \quad k \in J \quad (5)$$

где Y – среднегодовой экономический эффект от производства из древесины МЛП новых видов материалов и изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками;

D – доход от реализации новых видов материалов и изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками

K – единовременные капитальные затраты на улучшение эксплуатационных характеристик из древесины МЛП

Q – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (0,16);

$P_{jk}(E_k)$ – функция цены k материала со значением интегрального показателя эксплуатационных характеристик E_k на j рынке сбыта;

$V_{jk}(E_k)$ – объем реализации на j рынке сбыта k материала со значением интегрального показателя эксплуатационных характеристик E_k ;

$w_k(E_k)$ – совокупные затраты на производство k материала со значением интегрального показателя эксплуатационных характеристик E_k ;

s_{ik}, s_{ik}^o – значение эксплуатационного показателя i материала k ;

Δs_{ik} – изменение эксплуатационной характеристики i материала k в связи с применением новой технологии производства;

l – множество рынков сбыта;

J – множество материалов, эксплуатационные характеристики которых улучшаются;

α_{ik} – коэффициент значимости эксплуатационной характеристики i материала k ;

P_k^o , b_k^o , a – константы;

$\overline{E_k}$ – начальные значения интегрального показателя эксплуатационных характеристик материала.

Среднегодовой экономический эффект (Y) – является конечным экономическим результатом от улучшения эксплуатационных свойств материалов и изделий из МЛП. Для получения эффекта не требуется значительных капитальных затрат – большинство операций выполняется на серийном оборудовании. Так, например, для производства рельефной фанеры потребуется простая съемная накладка. Продукцию с улучшенными эксплуатационными свойствами можно реализовывать по большей цене и за счет этого получать дополнительную прибыль. Дополнительный доход получается от снижения материальных затрат, связанных с приобретением сырья т.к. цены на лесоматериалы малоиспользуемых мягких лиственных пород ниже, у хвойных лесоматериалов. Производство продукции с улучшенными эксплуатационными свойствами делает продукцию более конкурентоспособной, что позволяет ее реализовывать по более высокой цене, увеличить объемы производства. Все это положительно отразится на финансовых показателях работы организации.

Доход от реализации новых видов материалов и изделий (D) представляет собой выручку от продажи новых видов продукции с улучшенными эксплуатационными характеристиками, причем продукция с более высокими эксплуатационными показателями следует продавать по более высокой цене, чем у аналогичных товаров.

Единовременные капитальные затраты (K) направлены на увеличение объемов основных средств, предназначенных для производства новых видов продукции, освоения новых технологий и т.д. Использование серийного оборудования даст возможность минимизировать производственные затраты. Использование устройств, приведенных в главе 5, дает возможность повысить механизацию и производительность труда, упростить технологический процесс и улучшить качество продукции. Капитальные единовременные затраты носят разовый характер и переносят свою стоимость на продукцию по частям за счет амортизационных отчислений. Капитальными их называют потому, что они не утрачиваются, а воспроизводятся.

Нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (Q) – это постоянная величина, которая обозначает минимально допустимую для общества и государства эффективность того или иного экономического проекта. С помощью нормативных коэффициентов выбираются наиболее экономически целесообразные пути вложения государственных средств, обеспечивающих максимальную эффективность капитальных вложений. Нормативный коэффициент для промышленности составляет 0,16.

Материалы строительного назначения по эксплуатационным свойствам (E_k) разделяются на конструкционные, теплоизоляционные и отделочные. В порядке значимости для строительства в наибольшей степени оцениваются прочностные свойства. Затем несколько в меньшей степени оценивается теплопроводность и в наименьшей степени оцениваются декоративные свойства.

Значимость материала для эксплуатации k – материала оценивает функция цены $P_{jk}(E_k)$.

Функция цены является проявлением эксплуатационных свойств определенного материала при строительстве и эксплуатации. Функция преобразует эксплуатационные характеристики в экономическую категорию – цену продукции. Цена, являющаяся денежным выражением стоимости, показывает во сколько обходится удовлетворение конкретной потребности в той или иной продукции. Цена измеряет количество затраченного труда, сырья, материалов, комплектующих изделий на изготовление товара и характеризует эффективностью использования труда.

Совокупные затраты на производство материалов из древесины МЛП $w_k(E_k)$ включают затраты на сырье и материалы, амортизацию оборудования зданий и сооружений, затраты на зарплату электроэнергию и отопление и др.

Значения эксплуатационных показателей i материала k (S_{ik} , S_{ik}^o) регламентируются нормативно-технической документацией (техническими регламентами, ГОСТами, техническими условиями и др.).

Эксплуатационные свойства конструкционных материалов оцениваются прочностью при сжатии, растяжении, разрыве, скалывании, водопоглощением, разбуханием по толщине и т.д. Основным показателем качества теплоизоляционных материалов является коэффициент теплопроводности.

Значение ΔS_{ik} показывает, как изменилась эксплуатационная характеристика k материала в связи с применением новой технологии производства. Так, например, создание рельефа на лицевой поверхности отделочных материалов улучшило внешний вид в 2 раза, а при создании замкнутых воздушных прослоек коэффициент теплопроводности ячеистых материалов снижается в 2 раза.

Эффективность использования продукции оценивается интегральным показателем качества $\overline{E_k}$.

Он характеризующий в наиболее общей форме эффективность работы продукции, определяется как отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации к суммарным затратам на создание и эксплуатацию.

Заключение

1. Показано, что создание новых видов продукции с лучшими эксплуатационными показателями, комплексная переработка разнообразных видов сырья, включая ядровую гниль и отходы механической обработки, устранение недостатков строения обеспечивают увеличение объемов переработки древесины мягких лиственных пород. Предложены мероприятия по устранению недостатков строения мягколиственной древесины.

2. Обосновано, что продукцию с улучшенными эксплуатационными свойствами можно реализовывать по большей цене и за счет этого получать дополнительную прибыль, а дополнительный доход получается от снижения материальных затрат, связанных с приобретением сырья т.к. цены на лесоматериалы малоиспользуемых мягких лиственных пород ниже, у хвойных лесоматериалов.

3. Установлено, что производство продукции с улучшенными эксплуатационными свойствами делает продукцию более конкурентоспособной, что позволяет ее реализовывать по более высокой цене, увеличить объемы производства, и в конечном итоге улучшить финансовые показатели работы предприятия.

4. Разработана математическая модель оценки экономической эффективности переработки древесины мягких лиственных пород с учетом улучшения эксплуатационных свойств, затрат на изменение технологии и эксплуатационных характеристик. Показано, что среднегодовой экономический эффект характеризует конечный экономический результат от улучшения эксплуатационных свойств материалов и изделий из древесины мягких лиственных пород.

Литература

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
2. Копейкин А.М., Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: Учебное пособие / А.М. Копейкин, Р.В. Дерягин. - Вологда: ВоГТУ, 2013. - 95 с.
3. Левинский Ю.Б. Расев А.И., Косарин А.А, Красухина Л.П. Деревянное домостроение. СПб.: Изд-во «Стратегия будущего», 2008.-303 с.
4. Лукичев А.В. Перспективы деревянного каркасного домостроения в России // Строит. материалы, оборудование, технологии 21 века. 2008. № 11. С. 44–45.
5. Лукаш, А.А. Дифференцирование способов переработки древесины с ядровой гнилью / А.А.Лукаш, Н.П.Лукутцова// Изв. вузов. Лесной журн. – 2017. – № 3. – С. 143–151.
6. Лукаш А.А. Техничко-эксплуатационные свойства новых материалов из древесины мягких лиственных пород / А.А. Лукаш, Н.П. Лукутцова // Деревообраб. пром-сть.–2018.–№.3–С. 17-22.
7. Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции.-2-е изд., перераб. и доп.-Л.: Строй-издат, 1990.-415с.
8. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р.
9. Тарасевич, В.М. Ценовая политика предприятия: учебн. для вузов по экон. специальностям / В.М. Тарасевич: под общ. ред. Г.Л. Багиева. – 3-е изд.- СПб.: Питер, 2010. - 320 с.
10. Торопов А.С. Новые технологии раскроя древесины, пораженной ядровой гнилью/ А.С. , Е.С. Шарапов/ Лесной вестник. – 2008. №6. С. 59–62.

11. Торопов, А. С. Исследование пораженности древесины напеченной гнилью / А. С. Торопов, С. А. Торопов, Е. В. Микрюкова // Известия вузов. Лесной журнал. - 2009. - № 4. - С. 95-100.
12. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебн. для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Б.Н. Уголев. - М. МГУЛ, 2007. - 340 с.
13. Braungart, M. [Eco-effective design of products and production Systems] / Braungart M., Riviere A., Ketelhut R., Eco-efficiency and Beyond, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, 2004. - pp. 146-151. 157
14. Carter R. [Financial analysis for R&D decisions] // Journal of the Society of Research Administrators, 1997, v. 29, № 1,2.
15. Carter R., Edwards D. [Financial Analysis Extends Management of R&D]// RTM, 2001, v.44, №5.143: Copeland T., Hówe K.M. Real? Options and; Strategic: Decisions, // Strategic Finance. 2002. Apr. vol.83.

©Казakov О.Д. – канд.экон.наук, доцент, заведующий кафедрой информационных технологий, ФГБОУ ВО Брянский государственный инженерно-технологический университет (ФГБОУ ВО «БГИТУ»), e-mail: kod8383@mail.ru; Лукаш А.А. – канд.техн.наук, доцент кафедры технологии деревообработки, ФГБОУ ВО «БГИТУ», e-mail: mr.lukasch@yandex.ru; Лукутцова Н.П. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций, ФГБОУ ВО «БГИТУ», e-mail: natluk58@mail.ru.

UDC 674.2

THE EFFICIENCY OF COMPLEX PROCESSING OF WOOD OF SOFT DECIDUOUS SPECIES

O.D. Kazakov, A.A. Lukash , N.P. Lukuttsova

The article deals with the assessment of complex processing of soft hardwood wood when creating new types of products with improved performance indicators. It is revealed that complex processing of various types of raw materials, including core rot and mechanical processing waste, provides an increase in the volume of processing of soft hardwood wood. Measures to eliminate the shortcomings of the structure of soft-leaved wood are classified. It is proved that products with improved performance properties can be sold at a higher price and thus earn additional profit. It is revealed that additional income is obtained from the reduction of material costs associated with the purchase of raw materials because the prices for timber of little-used soft hardwoods are lower than for coniferous timber. It is established that the production of products with improved performance properties makes products more competitive, which allows it to be sold at a higher price, increase production volumes, and ultimately improve the financial performance of the enterprise. A mathematical model has been developed for evaluating the economic efficiency of processing soft hardwood (MLP), taking into account the improvement of operational properties, the cost of changing the technology and performance characteristics. It is shown that the average annual economic effect characterizes the final economic result from improving the performance properties of materials and products made of soft hardwood.

Keywords: wood, complex processing, materials, products, efficiency.

References

1. Borovikov a.m., Ugolev B. N. [Handbook of wood]. Moscow: Lesn. prom-St, 1989. - 296 p. (InRuss.).
2. Kopeikin, A. M., [Technology of wood processing industries: textbook] / A. M. Kopeykin, R. V. Deryagin. Vologda: Vogtu, 2013, 95 p. (InRuss.).
3. Levinskiy Y. B. Rusev A. I., Kazarin A. A, L. P. Krushina [Wood construction]. SPb.: Publishing house "strategy for the future", 2008.-303 p. (InRuss.).
4. Lukichev A.V. [Prospects of wooden frame housing construction in Russia] / / Builds. materials, equipment, and technologies of the 21st century. 2008, no. 11. pp. 44-45. (InRuss.).
5. Lukash, A. A. [Differentiation of methods for processing wood with core rot] / A. A. Lukash, N. p. Lukuttsova/ / Izv.vuzov. Lesnoy Zhurnal, 2017, no. 3, pp. 143-151. (InRuss.).
6. Lukash A. A. [Technical and operational properties of new materials from soft hardwood wood] / A. A. Lukash, N. p. Lukuttsova / / Woodworking. prom-St. -2018. - №.3-P. 17-22. (InRuss.).
7. Nanazashvili I. X. [Construction materials from wood-cement composition].- 2nd ed., reprint. and add.- L.: Sroy-Izdat, 1990. - 415s. (InRuss.).
8. Strategy for the development of the forest sector of the Russian Federation until 2030: approved by order of the Government of the Russian Federation dated September 20, 2018, no. 1989. (InRuss.).

9. Tarasevich, V. M. Price policy of the enterprise: textbook. for higher education institutions on Econ. specialties / V. M. Tarasevich: under the General editorship of G. L. Bagiev. - 3rd ed. - St. Petersburg: Piter, 2010. - 320 p. (InRuss.) 10. Toropov A. S. New technologies for cutting wood affected by core rot/ A. S., E. S. Sharapov / Lesnoy Vestnik. - 2008. no. 6. Pp. 59-62. (InRuss.).

11. Toropov, A. S. [Study of wood damage caused by rot] / A. S. Toropov, S. A. Toropov, E. V. Mikryukova // University news. Lesnoy Zhurnal, 2009, no. 4, Pp. 95-100. (InRuss.).

12. Ugolev, B. N. Wood Science with the basics of forest commodity science: textbook. for higher education institutions. 3rd Ed., reprint. and DOP /B. N. Ugolev.- M. MGUL, 2007. -340 p. (InRuss.).

13. Braungart, M. [Eco-effective design of products and production Systems]. / Braungart M., Riviere A., Ketelhut R., Eco-efficiency and Beyond, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, 2004. – pp. 146-151. 157.

14. Carter R. [Financial analysis for R&D decisions] // Journal of the Society of Research Administrators, 1997, v. 29, № 1,2.

15. Carter R., Edwards D. [Financial Analysis Extends Management of R&D]// RTM, 2001, v.44, №5.143: Copeland T., Hówe K.M. Real? Options and; Strategic: Decisions, // Strategic Finance. 2002. Apr. vol.83.

©Kazakov O.D. – PhD in Economical sciences, Associate Professor of the Department of Information technologies, e-mail: kod8383@mail.ru; Lukash A.A. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Woodworking technology, e-mail: mr.lukasch@yandex.ru; Lukutsova N. P. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of production of building structures, e-mail: natluk58@mail.ru.

Уважаемые авторы журнала!!!

Все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «Введение», «Методы и материалы», «Результаты», «Заключение», «Литература».

Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «Введение», «Обзор исследований в области...», «Заключение», «Литература».

Рабочие языки журнала — русский и английский.

Одноколоночный макет журнала.

Параметры страницы:

- верх — 3 см;
- низ — 2,5 см;
- левое поле — 1,8 см;
- правое поле — 1,8 см;

Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал (ключевые слова аннотации оформляются кеглем 10). Абзац — 0,75 см.

Размер рисунков:

- ширина — не более 17,5 см;
- высота — не более 12 см;

Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Рис. 1. Название рисунка**). Цвет рисунка - черно-белый. Рисунки должны быть качественными, сканированные картинки не принимаются!

Размер таблицы не должен превышать 17,5 x 12 см.

Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Таблица 1 - Название таблицы**)

Формулы, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну колонку, то есть иметь размер не более чем 8,5 x 5 см (шрифт «Times New Roman»).

Образец оформления статьи указан в конце журнала.

Химическая технология древесины

УДК 674.81

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПЛАСТИКА БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО

В.Г. Бурындин, А.В. Савиновских, А.В. Артёмов, П.С. Кривоногов, А.Е. Шкуро

Настоящая работа посвящена вопросам исследования способов модификации пресс-материалов для получения древесных пластиков без связующего (ДП-БС) с помощью облучения ультрафиолетом (УФ) и потоком быстрых электронов (β -излучение). Были проведены исследования влияния параметров физической модификации исходного пресс-сырья на ключевые физико-механические свойства образцов древесных пластиков без связующего. Установлено, что изменение физико-механических свойств образцов ДП-БС и РП-БС в зависимости от дозы поглощенного облучения, а также от продолжительности выдержки под ультрафиолетом исходного пресс-сырья имеет разнонаправленный характер. Такой вид зависимости может быть объяснен тем, что при малых дозах облучения и при начальной УФ-обработке происходит активация молекул полимера, а затем разрушение межмолекулярных связей под воздействием больших доз облучения и продолжительности экспозиции под ультрафиолетом.

Ключевые слова: древесный пластик, растительный пластик, древесная мука, овсяная мука, физическая модификация, физико-механические свойства

Введение

Одним из недостатков главных древесных и растительных пластиков без добавления связующих (ДП-БС) являются низкие показатели пластично-вязкостных свойств исходного пресс-сырья. Данная проблема может быть решена несколькими путями. Тем не менее, все существующие методы сводятся к модификации исходного пресс-материала.

На основании анализа литературных данных можно выделить следующие виды модификации:

- химическая – за счет введения непосредственно в пресс-композицию как низкомолекулярных, так и высокомолекулярных химических веществ – модификаторов [1, 2];
- механическая – за счет гидродинамической деструкции полимера – кавитации древесного пресс-сырья [3, 4];
- химико-механическая – за счет гидролиза слабых связей в матрице растительной биомассы и механического разрыхления твердого сырья при резком падении давления – взрывного автогидролиза [5, 6];
- биологическая – за счет трансформации лигноцеллюлозной составляющей микроорганизмами или ферментами – биодеструкции древесного и растительного субстрата [7, 8].

Несмотря на все очевидные преимущества использования модификации исходного пресс-сырья, имеются и ее недостатки. Основной недостаток всех видов модификации – это удорожание материалов на основе ДП-БС и РП-БС. При этом каждый вид модификации имеет и свои индивидуальные недостатки. Так, например, использование химических веществ может быть экологически небезопасно. Механическая модификация имеет сложное аппаратное исполнение. Биологическая модификация требует выполнения и соблюдения санитарно-эпидемиологических мероприятий.

В настоящее время для интенсификации процессов модификации полимерных материалов широко используется физическая модификация, направленной на изменение физических свойств полимеров и преобразованием их надмолекулярной структуры под влиянием физических воздействий, таких как УФ-облучение, вибрация, электромагнитное излучение, ультра- и инфразвук и т.п. Возможность структурной модификации обусловлена тем, что надмолекулярная структура полимеров является подвижной системой: в зависимости от условий одна форма может переходить в другую [9–10].

Были проведены исследования [11] по влиянию на свойства биопластиков облучением пучком электронов изделий из растительно-полимерных композитов на основе полиэтиленовой матрицы

«СНОЛЕН» с прививками карданола и наполнителями из муки лузги овса. Установлено, что влияние облучения композитов с мукой лузги овса разнонаправленно влияет на их физико-механические свойства. Так, для композита с мукой лузги овса марки МЛЮ-250 с увеличением дозы облучения пучком электронов наблюдается пропорциональный рост их показателя прочности при изгибе [11].

В работе [12] исследовалась возможность модификации древесно-полимерных композитов с термопластичной полимерной матрицей с помощью ультрафиолетового излучения с целью фотохимической модификации за счет сшивки макромолекул полимера в матрице композита. Предполагается, что химическая модификация (сшивание) полиэтилена в составе полимерной матрицы ДПК происходит подобно сшиванию полиэтилена низкого давления: неизрасходованные на полимеризацию двойные связи в полимерных цепях взаимодействуют между собой, вследствие чего образуют единую трехмерную сеть. Наличие в материале сетчатой трехмерной структуры приводит к повышению его большинства его прочностных свойств. Так же последствиями сшивки обыкновенно оказываются повышение атмосферо- и биостойкости полиолефинов и композитов на их основе [8]. Настоящее время день химическое сшивание полиолефинов осуществляется преимущественно с помощью двух классов реагентов: органосиланов либо органических пероксидов [9]. Вследствие этого представляется целесообразным использовать именно эти вещества в качестве химических модификаторов ДПК на основе полиэтилена высокой плотности. Установлено, что с помощью ультрафиолетового излучения (освещенность – 621 мВт/м^2 и время облучения 50 часов) показатель твердости по Бринеллю возрастает 80% по сравнению с немодифицированными образцами.

Сообщается так же о возможности модификации древесно-полимерных композиционных материалов на основе полиолефинов воздействием гамма-излучения (образцы ДПК различного состава подвергали гамма-излучению с переменной дозой в диапазоне от 25 до 150 кГр) [13]. По утверждению авторов такое воздействие приводит к существенному увеличению термической стойкости композита (более чем на 20°C) и его жесткости (модуля упругости). В тоже время остальные показатели прочностных свойств материала практически не изменяются.

В то же время продолжительное воздействие ультрафиолета может приводить к разложению древесины и потере эстетических и физико-механических свойств материала. В работе [14] было оценено влияние УФ на скорость разложения древесины пихты и каштана. Протекающие в образцах процессы были оценены по изменению цвета образцов, анализу выделяющихся из них газов с помощью метода масс-спектрометрии, а также по изменению пиролитического поведения древесины после УФ-облучения. Эффект воздействия ультрафиолета был так же оценен с точки зрения термической стабильности и состава продуктов пиролиза. Древесина пихты показала значительную деградацию после 4 часов облучения, в то время как древесина каштана показала очень небольшие изменения. Результаты исследования указывают на то, что деградация образцов древесины под действием ультрафиолета в основном связана с фракцией лигнина.

Микроволновое излучение может инициировать свободно-радикальные реакции в древесной муке и как следствие приводить к протеканию реакций цепной полимеризации в объеме лигноцеллюлозного материала. Благодаря этому микроволновое излучение так же может использоваться для модификации древесной муки и материалов на ее основе. В работе [15] были изучены свойства модифицированной при микроволновом облучении древесной муки. Были оценены термостабильность и водопоглощение. Свойства модифицированной муки в составе композиционных материалов были оценены на примере образцов ДПК на основе поливинилхлорида, полученные вальцеванием. Результаты исследования демонстрируют улучшение реологических свойств, а также более низкое сорбции водопоглощение и более высокие физико-механические характеристики у композитов с облученной древесной мукой, по сравнению с немодифицированными эталонами.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) исследована термокинетика образования ДП-БС и РП-БС в замкнутом пространстве. В процессе пьезотермической обработки древесины из неё удаляются летучие и в частности, выделяются органические кислоты, и в пластиках возможна поликонденсация компонентов древесины (в частности лигнина). Т.е. получение данных материалов обуславливается наличием лигнина в исходном материале [16].

Предварительная активация лигнина (т.е. его частичная деструкция на функциональные группы) может быть осуществлена с помощью радиационного нагрева ускоренными электронами [17].

В свою очередь УФ-облучение обеспечивает очистку поверхности древесины, тем самым открывая поры из-за этого происходит изменение в строении поверхности, а также в определенной степени изменению поверхностного химического состава [18].

Цель данной работы – получить и исследовать свойства ДП-БС и РП-БС на основе пресс-композиции подверженной радиационной обработке (пучком электронов) и УФ-обработки.

Методика проведения экспериментальных исследований

Для исследования влияния физической модификации исходного пресс-сырья на физико-механические свойства ДП-БС и РП-БС выполнено 2 независимых последовательных эксперимента:

1. Исследование влияние радиационной обработки (пучком электронов) на ДП-БС на основе древесной муки марки ДМ 300 и на РП-БС на основе муки лузги овса марки МЛО 250.

В качестве облучателя (источника пучка электронов) был использован линейный ускоритель электронов УЗЛР – 10-10 С. Исходная пресс-композиция перед прессованием равномерно размещалась на подложку и в течение 15 секунд подвергается облучению в диапазоне от 50 до 150 КГр. Толщина слоя облучаемого материала не превышал 2 мм.

2. Исследование влияние УФ-обработки на ДП-БС на основе древесной муки марки ДМ 300 и на РП-БС на основе муки лузги овса марки МЛО 250.

В качестве облучателя (источника ультрафиолета) была использована кварцевая газоразрядная лампа мощностью 400 кВт. Исходная пресс-композиция перед прессованием равномерно размещалась на подложку и подвергается УФ-облучению до 30 сут. Расстояние до источника света составляла 30 см. Толщина слоя облучаемого материала не превышал 2 мм.

После физической обработки были изготовлены образцы-диски ДП-БС и РП-БС методом горячего прессования диаметром 90 мм и толщиной 2 мм методом плоского горячего прессования в закрытых пресс-формах. Режимы изготовления образцов: давление прессования – 40 МПа, температура прессования – 170 °С, время прессования – 10 мин и охлаждения под давлением – 10 мин, время кондиционирования – 24 часа. Исходная влажность пресс-материала – 12%.

После кондиционирования проводилось определение физико-механических свойств по утвержденным методикам. Перед началом испытания были определены физико-механические свойства у образцов, не подвергнутых физической модификации (контроль).

Результаты

В таблице 1 представлены данные по физико-механическим свойствам ДП-БС на основе пресс-материала, подверженного радиационной обработке.

Таблица 1 – Физико-механические свойства ДП-БС на основе пресс-композиции подверженной радиационной обработке

№ п/п	Физико-механические свойства	Контроль	Доза поглощенного облучения, КГр				
			50	75	100	125	150
1	Плотность, кг/м ³	1135	1183	1115	1163	1174	1127
2	Ударная вязкость, кДж/м ²	1,3	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7
3	Модуль упругости при изгибе, МПа	3703	5451	3630	4703	4735	3690
4	Прочность при изгибе, МПа	20,3	20,7	16,0	16,1	18,6	15,5
5	Твердость, МПа	43,2	69,0	50,8	37,4	60,9	91,4
6	Число упругости, %	73,7	78,1	76,7	75,9	86,7	84,0
7	Водопоглощение, %	54,9	83,9	117,9	106,7	89,5	124,7
8	Разбухание, %	3,7	9,6	5,5	7,0	6,2	7,7

На основании таблицы видно, что наилучшие прочностные показатели, а так же показатели водостойкости наблюдаются у образцов, доза поглощенного облучения для которых составляла 50 КГр. При этом, прочностные показатели (такие как прочность при изгибе, твердость, модуль упругости при изгибе) выше, чем у контрольных образцов ДП-БС. Так, например, предел прочности при изгибе выше на 2 %, твердость по Бринеллю – на 37 %, модуль упругости при изгибе – 32 %.

В целом же увеличение дозы поглощенного облучения приводит к снижению прочностных показателей образцов ДП-БС. Возможно, это связано с тем, что воздействие интенсивного потока

электронов на пресс-материал частично препятствует образованию межмолекулярных связей в лигноцеллюлозном комплексе ДП-БС. Таким образом, высокие дозы поглощенного пресс-материалом облучения негативно сказываются на показатели физико-механических свойств образцов древесных пластиков без связующего.

На рисунке 1 представлены данные по физико-механическим свойствам РП-БС на основе пресс-материала, подверженного радиационной обработке.

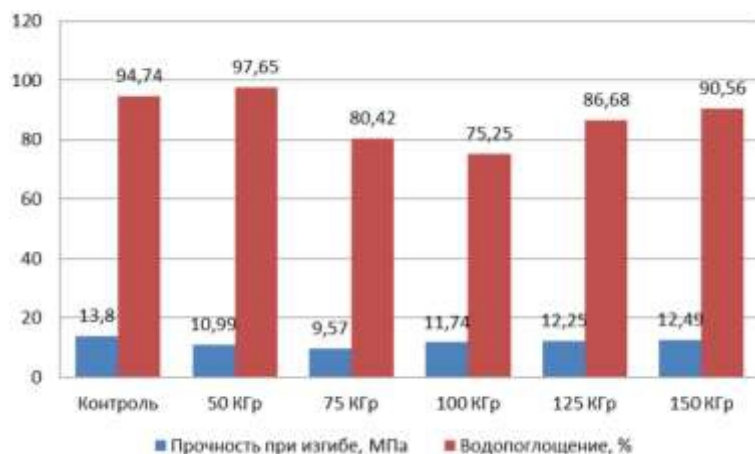


Рис. 1. Зависимость прочности при изгибе и водопоглощения РП-БС от диапазонов радиационного облучения

Из рисунка 1 видно, что при радиационной обработке наблюдается снижение прочностных показателей РП-БС (прочность и модуль упругости при изгибе, ударная вязкость). В тоже самое время образцы из обработанного сырья имеют более высокий показатель по прочности по сравнению с контрольными образцами. Наблюдается также изменений показателей водостойкости в сторону их снижения (например, водопоглощение снижается на 20 % при дозе облучения 100 КГр).

На рисунке 2 представлены данные по физико-механическим свойствам ДП-БС на основе пресс-материала, подверженного УФ-обработке.

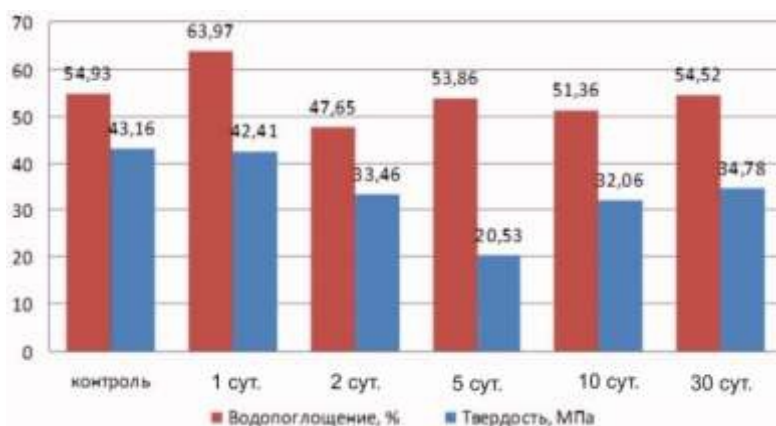


Рис.2. Зависимость твердости и водопоглощения ДП-БС от продолжительности УФ облучения

На рисунке 2 видно, что при УФ-обработке наблюдается увеличение прочности при изгибе получаемого материала. При продолжительности облучения пресс-материала в течение 10 суток, прочность при изгибе получаемого материала увеличивается на 21 % по сравнению с контрольными образцами ДП-БС. В то же самое время, ультрафиолетовое облучение негативно сказывается на твердости образцов – происходит снижение данного показателя на 32 %.

В таблице 2 представлены средние арифметические значения показателей ключевых физико-механических свойств образцов древесных пластиков без связующего, полученных на основе пресс-материала, предварительно подвергнутого обработке с помощью УФ-излучения.

Таблица 2 – Физико-механические свойства РП-БС на основе пресс-композиции, подверженной УФ-обработке

№ п/п	Физико-механические свойства	Контроль	Продолжительность УФ-обработки, сут				
			1	2	5	10	30
1	Плотность, кг/м ³	1187	1235	1071	1182	1144	1188
2	Ударная вязкость, кДж/м ²	1,2	0,9	1,5	1,1	0,9	1,6
3	Прочность при изгибе, МПа	13,8	7,6	2,0	9,3	4,3	9,5
4	Твердость, МПа	46,0	54,2	72,8	66,8	75,5	37,5
5	Число упругости, %	92,5	92,7	84,2	91,1	90,2	73,9
6	Водопоглощение, %	94,7	76,6	99,1	101,1	106,7	110,9
7	Разбухание, %	7,9	9,8	9,6	4,2	9,7	7,1

Результаты проведенных испытаний показали, что после выдержки под ультрафиолетом наблюдается значительное увеличение показателя твердости образцов материалов на основе РП-БС. При продолжительности облучения пресс-материала в течение 10 суток, твердость получаемого образцов увеличивается на 39 % по сравнению с контрольными образцами необлученных РП-БС. В тоже время, ультрафиолетовое облучение негативно сказывается на показателе предела прочности при изгибе – его значение снижается на 32 % по сравнению с контрольным образцом. Облучение ультрафиолетом также приводит к росту водостойкости образцов материала (снижение показателя водопоглощения на 14,6 %).

Заключение

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлен характер изменений физико-механических свойств образцов древесных пластиков без связующего и растительных пластиков без связующего в зависимости от поглощенной дозы радиации, а также от продолжительности УФ-обработки исходного пресс-сырья. Данная зависимость имеет периодический характер. Такая «синусоидальная» зависимость может быть объяснена тем, что при малых дозах облучения и при начальной УФ-обработке происходит активация молекул полимера, а затем разрушение межмолекулярных связей под воздействием больших доз облучения и продолжительности экспозиции под ультрафиолетом.

2. По результатам проведенных исследований влияния радиационной обработки исходного пресс-сырья для получения ДП-БС и РП-БС, можно сделать вывод о том, что радиационное облучение оказывает влияние на свойства получаемых материалов, при этом необходимо учитывать диапазон и равномерность облучения пресс-материала.

3. По результатам проведенных исследований влияния УФ-обработки исходного пресс-сырья для получения РП-БС, можно сделать вывод о том, что ультрафиолетовое облучение оказывает влияние на свойства получаемых материалов, при этом необходимо учитывать продолжительность данной экспозиции и равномерность облучения.

4. Полученные результаты проведенных исследований влияния радиационной обработки и УФ-обработки исходного древесного и растительного пресс-сырья для получения Д-БС и РП-БС, дают основания для проведения специальных экспериментов, направленные на разработку методов подготовки радиационно-модифицированного пресс-сырья и пресс-сырья предварительно подверженного УФ-обработке.

Литература

1. Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М. Физико-механические характеристики композиционных материалов, получаемых из древесины березы, гидролизованной в присутствии органических кислот // Системы. Методы. Технологии. -2020. № 1 (45). С. 113-120.
2. Ibragimov A. The improvement of composite plates indicators from cotton and flax spinning waste by modification of raw materials / A.Ibragimov, T.Vakhnina, I.Susoeva // MATEC Web of Conferences. Siberian transport forum – Transsiberia. –Novosibirsk. -2018. С. 01009.
3. Ермолин В.Н. Формирование структуры плит малой плотности из гидродинамически активированных мягких отходов деревообработки / В.Н. Ермолин, М.А. Баяндин, С.Н. Казидин, А.В. Намятов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. -2019. № 5 (371). С. 148-157.

4. Савиновских А.В. Влияние модификаторов на физико-механические свойства древесных пластиков без добавления связующих / А.В. Савиновских, А.В. Артёмов, В.Г. Буриндин // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. -2016. Т.20. № 3. С. 55-59.
5. Скурыдин Ю.Г. Влияние взрывного автогидролиза на динамические механические характеристики древесины дуба *Quercus Robur* / Ю.Г. Скурыдин, Е.М. Скурыдина, В.В. Коньшин, А.Н. Афаньков, Н.Ж. Юку, А.А. Беушев // Химия растительного сырья. -2018. № 4. С. 255-261.
6. Кузнецова С.А. Состав и превращения основных компонентов автогидролизованной древесины сосны, ели и осины / С.А. Кузнецова, Н.Б. Александрова, Б.Н. Кузнецов // Химия в интересах устойчивого развития. -2001/ № 9. С. 655-665.
7. Buryndin V.G. Mathematical Modeling of Bioactivation Process for Wood Raw Materials / V.G. Buryndin, A.V. Artemov, A.V. Savinovskih // CEUR Workshop Proceedings. Сер. "CSASE 2018 - Proceedings of the Annual Scientific International Conference on Computer Systems, Applications and Software Engineering" 2018, Nizhniy Tagil, 04 мая 2018 г.paper 13
8. Пехташева Е.Л. Биоповреждение и защита древесины и бумаги / Е.Л. Пехташева, А.Н. Неверов, Г.Е. Заиков, С.А. Шевцова, Н.Е. Темникова // Вестник Казанского технологического университета. -2012. Т. 15, № 8. С. 192–199.
9. Колганова С.Г. Электротехнология нетепловой модификации полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле: автореф. дис. докт. техн. наук (05.09.10) /Колганова Светлана Геннадьевна; Саратовский государственный технический университет. Саратов, 2009. – 34 с.
10. Провоторова Д. А. Физико-химическая комплексная модификация непредельных каучуков с использованием микроволнового и плазмохимического воздействия: диссертация ... канд. техн. наук (02.00.06) / Провоторова Дарья Андреевна; Волгоградский государственный технический университет. Волгоград, 2014. 127 с.
11. Глухих В.В. Изучение влияния на свойства биопластиков их облучения электронами / В.В. Глухих, П.С. Кривоногов, Д.С. Колегов, Ю.Г. Лайкиев // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики. Материалы XII Международной научно-технической конференции.- Екатеринбург. -2019. - С. 476-479.
12. Шкуро А.Е. Исследование возможности модификации древесно-полимерных композитов УФ-излучением / А.Е. Шкуро, А.В. Чернышева, П.С. Кривоногов, А.В. Артёмов // Вестник Технологического университета. - 2019. Т. 22. № 5. С. 84-87.
13. Kumarab V. Effect of gamma irradiation on tensile and thermal properties of poplar wood flour-linear low density polyethylene composites/V. Kumarab, K. Gulatiac, S. L. Sanjiv// Radiation Physics and Chemistry (2020) V. 174
14. Mattonaia M. Degradation of wood by UV light:A study by EGA-MS and Py-GC/MS with on line irradiation syste/ M. Mattonaia, A.Watanabeb, A. Shionob, E. Ribechinia // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (2019). V.139, P. 224-232.
15. Microwave irradiation treatment of wood flour and its application in PVC-wood flour composites / Shengfei Hu Ph D , Wen Chen , Weihua Liu & Huaxing Li // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. (2007) V. 22. P. 148-152.
16. Савиновских А.В. Закономерности образования древесных пластиков без добавления связующих с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии / А.В. Савиновских, А.В. Артемов, В.Г. Буриндин // Вестник Казанского технологического университета. -2012. -Т. 15. -№ 3. С. 37-40.
17. Радиационная и пострадиационная перегонка биополимеров: лигнин и хитин / А.К. Метревели [и др.] // Химия высоких энергий. - Российская академия наук. -2011.-Т. 45. -№6. С.506-510.
18. Пузаков В.Е. Исследования воздействия ультрафиолетового излучения на свойства древесины / В.Е. Пузаков, Р.Р. Сафин, В.В. Губернаторов // Актуальные проблемы лесного комплекса.- 2017. №48 С.68-71.

© **Буриндин В.Г.** – д-р техн. наук, профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: buryndinv@t.m.usfeu.ru; **Савиновских А.В.** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: savinovskihav@t.m.usfeu.ru; **Артёмов А.В.** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: artemovav@t.m.usfeu.ru; **Кривоногов П.С.** – старший преподаватель кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров,

(ФГБОУ ВО «УГЛУТУ»), e-mail: krivonogovps@m.usfeu.ru; **Шкуро А.Е.** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, (ФГБОУ ВО «УГЛУТУ»), e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru.

UDC 674.81

PHYSICAL MODIFICATION OF RAW MATERIALS TO PRODUCE WOOD AND VEGETABLE PLASTIC WITHOUT RESINS

V.G. Bryndin, A.V. Savinovskikh, A.V. Artyomov, P.S. Krivonogov, A.E. Shkuro

The influence of physical modification of the initial press raw material by irradiation with an electron beam (radiation treatment) and by irradiation with ultraviolet radiation has been studied. The physical and mechanical properties of wood and vegetable plastic without the resins (WP-WR and VP-WR) obtained from a physically modified feedstock were studied. It was found that the change in the physical and mechanical properties of WP-WR and VP-WR samples depending on the range of radiation treatment and the duration of UV treatment of the initial press raw material has a multidirectional character. This type of dependence can be explained by the fact that at low doses of radiation and during initial UV treatment, polymer molecules are activated, and then the destruction of intermolecular bonds under the influence of high doses of radiation and the duration of exposure under ultraviolet light.

Keywords: wood plastic, vegetable plastic, wood flour, oat flour, physical modification, physical and mechanical properties.

References

1. Skurydin Yu.G., Skurydina E.M. [Physical and mechanical characteristics of composite materials obtained from birch wood hydrolyzed in the presence of organic acids] // System. Methods. Technologies. -2020. № 1 (45). P. 113-120. (InRuss.).
2. Ibragimov A. [The improvement of composite plates indicators from cotton and Flex spinning waste by modification of raw materials] / A. Ibragimov, T. Vakhnina, I. Susoeva // MATEC Web of Conferences. Siberian transport forum – Transsiberia. - Novosibirsk. -2018. P. 01009.
3. Ermolin V.N. [Formation of the structure of low-density plates from hydrodynamically activated soft waste of woodworking] / V.N. Ermolin, M.A. Bayandin, S.N. Kazitsin, A.V. Namyatov // News of higher educational institutions. Forest magazine. -2019. No. 5 (371). P. 148-157. (InRuss.).
4. Savinovskikh A.V. [Influence of modifiers on the physical and mechanical properties of wood plastics without adding binders] / A.V. Savinovskikh, A.V. Artemov, V. G. Buryndin // Bulletin of the Moscow state University of the forest-Lesnoy Vestnik. -2016. Vol. 20. No. 3. P. 55-59. (InRuss.).
5. Skurydin Y.G. [Effect of explosive autohydrolysis on the dynamic mechanical properties of wood of oak Quercus Robur] / Skurydin Y.G., Skuridin E.M., V.-M., A. N. Ivankov, N. Well. YuKU, A.A. Baushev // Chemistry of vegetable raw materials. -2018. № 4. P. 255-261. (InRuss.).
6. Kuznetsova S.A. [Composition and transformation of the main components of autohydrolyzed pine, if and aspen wood] / S.A. Kuznetsova, N.B. Alexandrova, B.N. Kuznetsov // Chemistry for sustainable development. -2001/ No. 9. P. 655-665. (InRuss.).
7. Buryndin V.G. [Mathematical Modeling of Bioactivation Process for Wood Raw Materials] / V.G. Buryndin, A.V. Artemov, A.V. Savinovskikh // CEUR Workshop Proceedings. Ser. "CSASE 2018 - Proceedings of the Annual Scientific International Conference on Computer Systems, Applications and Software Engineering" 2018, Nizhny Tagil, 04 may 2018 paper 13
8. Pehtasheva E.L. [Bio damage and protection of wood and paper] / E.L. Pehtasheva, A.N. Neverov, G.E. Zaikov, S.A. Shevtsova, N.E. Temnikova // Bulletin of Kazan technological University. -2012. Vol. 15, No. 8. P. 192-199. (InRuss.).
9. Kolganova S.G. [Electrotechnology of non-thermal modification of polymer materials in the microwave electromagnetic field: abstract of the dissertation of Doctor of Technical Sciences (05.09.10)] / Kolganova S. G.; Saratov state technical University. Saratov, 2009. - 34 p. (InRuss.).

10. Provotorova D.A. [Physico-chemical complex modification of unsaturated rubbers using microwave and plasma-chemical influence: dissertation of Associate Professor (02.00.06)] / Provotorova D. A.; Volgograd state technical University. Volgograd, 2014. 127 p. (InRuss.).
11. Glukhikh V.V. [Study of the influence on the properties of bioplastics of their electron irradiation] / V. V. Glukhikh, P. S. Krivonogov, D. S. Kolegov, Yu. G. Laikiev // Forest science in the implementation of the concept of the Ural engineering school: socio-economic and environmental problems of the forest sector of the economy. Materials of the XII International scientific and technical conference. - Yekaterinburg. -2019. - P. 476-479. (InRuss.).
12. Shkuro A.E. [Investigation of the possibility of modification of wood-polymer composites by UV radiation] / A. E. Shkuro, A.V. Chernysheva, P. S. Krivonogov, A.V. Artemov // Bulletin of the Technological University. - 2019. Vol. 22. No. 5. P. 84-87. (InRuss.).
13. Kumarab V. [Effect of gamma irradiation on tensile and thermal properties of poplar wood flour-linear low density polyethylene composites]/ V. Kumarab, K. Gulatiac, S. L. Sanjiv// Radiation Physics and Chemistry (2020) V. 174. (InRuss.).
14. Mattonaia M. [Degradation of wood by UV light:A study by EGA-MS and Py-GC/MS with on line irradiation systel]/ M. Mattonaia, A.Watanabeb, A. Shionob, E. Ribechinia // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (2019). V.139, P. 224-232.
15. Microwave irradiation treatment of wood flour and its application in PVC-wood flour composites / Shengfei Hu Ph D , Wen Chen , Weihua Liu & Huaxing Li // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. (2007) V. 22. P. 148-152.
16. Savinovskih A.V. [Regularities of wood laminates without the addition of a binder using differential scanning calorimetry] / A. V. Savinovskih, A. V. Artemov, V. G. Bryndin // Bulletin of Kazan technological University. -2012. - Vol. 15. - No. 3. P. 37-40. (InRuss.).
17. Radiation and radiation distillation of biopolymers: lignin and chitin / A. K. Metreveli [et al.] // Chemistry of high energies. - Russian Academy of Sciences. -2011. - Vol. 45. - No. 6. P. 506-510. (InRuss.).
18. Puzakov V. E. [Studies of the impact of UV radiation on the properties of wood] / V. E. Puzakov, R. R. Safin, V.V. Gubernatorov // Actual problems of the forest complex. - 2017. no. 48 P. 68-71. (InRuss.).

© **Burundin V.G.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing", USFU, e-mail: buryndinv@gmail.com; **Savinovskih A.V.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies for Pulp and Paper Production and Polymer Processing, USFU, e-mail: savinovskihav@gmail.com; **Artyemov A.V.**– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies for Pulp and Paper Production and Polymer Processing, USFU, e-mail: tom-art@ya.ru; **Krivonogov P.S.** – Senior lecturer of the Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing", USFU, e-mail: krivonogovps@gmail.com; **Shkuro A.E.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Pulp and Paper Technologies and Polymer Processing, USFU, e-mail: shkuroae@gmail.com.

УДК 66.040.02

КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ЗОН СУШКИ И ПИРОЛИЗА ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Р.Г. Сафин, Т.О. Степанова, Р.Р. Зиатдинов, Д.Г. Рябушкин, Р.А. Халитов, В.Г. Сотников

Разработана энерго- и ресурсосберегающая непрерывно действующая установка, предназначенная для производства активированного угля. Представлена инженерная методика расчета зон сушки и пиролиза, позволяющая определить конструктивные размеры промышленной установки. Разработано аппаратное оформление этих зон. Получены зависимости необходимого объема рабочей камеры сушильной зоны в зависимости от влагосодержания и вида исходного сырья. Приведены расчетные зависимости сечения газотока сушильной камеры от влагосодержания перерабатываемого сырья и от производительности установки.

Ключевые слова: активированный уголь, сушка, пиролиз, тепломассоперенос, адсорбенты, сырье.

Введение

Активированный уголь широко используется в различных стадиях технологических процессов химической, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, на предприятиях энергетики, в пищевом производстве, медицине, фармацевтике и во многих других отраслях. Благодаря адсорбционным свойствам, активированные угли позволяют получать продукцию высокой степени очистки и эффективно решать проблемы защиты окружающей среды от вредного воздействия производственных выбросов и сбросов сточных вод.

Промышленное потребление активированного угля ежегодно растет и соответствует следующим показателям (%): производство пищевой продукции - 42,6; производство промышленной продукции - 38,0; охрана окружающей среды - 10,0; очистка питьевой воды - 4,7; производство медицинских препаратов, гемо- и энтеросорбентов - 4,7.

В качестве сырья для получения активированного угля используют древесину, древесный уголь, торф, бурые и каменные угли, а также отходы растительного происхождения (скорлупа грецкого ореха, фруктовые косточки, кукурузные початки и т.д.).

Одним из основных видов сырья, используемого в России для производства активированного угля, является древесный уголь, особенность которого заключается в низком содержании таких примесей, как фосфор и сера.

На сегодняшний день для производства углей марки БАУ (уголь активированный древесный дробленый, ГОСТ 6217–74) используется древесный уголь марки А, получаемый из твердых лиственных пород деревьев, преимущественно из березы.

На кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета была разработана энерго- и ресурсосберегающая непрерывно действующая установка, предназначенная для производства активированного угля [1]. Проведено моделирование процессов в зонах сушки, пиролиза, активации и охлаждения [2,3]. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал, что длительность и энергоемкость процессов, протекающих в установке, зависит от инженерного исполнения зон установки. В связи с этим в работе были поставлены следующие задачи: разработка инженерной методики технологического расчета зон сушки и пиролиза и аппаратного оформления этих зон, проведение технологического расчета зоны сушки и пиролиза установки производства активированного угля. В основу был заложен разработанный и запатентованный способ переработки древесных отходов в активированный уголь.

Методы и материалы

Непрерывно-действующая энерго- и ресурсосберегающая установка для производства активированного угля (рис. 1) состоит из вертикальной реторты, в которой за счет гравитационных сил происходит движение органических отходов через зоны сушки – 1, пиролиза – 2, активации – 3, охлаждения – 4 с превращением их в активированный уголь, системы сепарации образующихся газов – 15, 16, топочного устройства – 17, системы газоочистки – 12, рекуперативных теплообменников – 14. В установке происходит конвективный процесс сушки древесных частиц топочными газами при противоточном режиме. Предварительно измельченная биомасса с начальной температурой $T_{м0}$ и влажностью U_0 через барабанный питатель непрерывно направляется в зону конвективной сушки, где она подвергается прогреву топочными газами при температуре 300°C и под действием собственного веса двигается вниз со скоростью w_m . Высушенная биомасса подается в зону пиролиза. Биомасса за счет кондуктивного подвода тепла от стенок топки, по мере гравитационного движения сверху вниз, превращается в уголь с выделением пиролизных газов.

Для разработки технической документации на промышленную установку необходимо проработать инженерное исполнение каждой зоны вышеприведенной установки и разработать инженерную методику расчета.



Рис. 2. Эскиз зоны сушки: 1 – питатель, 2 – коллектор с патрубком отвода теплоносителя; 3 – коллектор с патрубком подвода топочного газа, 4 – узел стыковки с зоной пиролиза; 5 – опорная перфорированная стенка с возрастающими диаметрами отверстий ближе к центру; 6 - бункер

Для равномерного распределения топочного газа по сечению сушилки в газораспределительной решетке живое сечение отверстий должно быть меньше сечения патрубка подвода теплоносителя, т.е. должно удовлетворять условию:

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 \leq D^2 \quad (1)$$

Производительность сушильной зоны B_0 определяется заданной массовой производительностью установки – B и начальным влагосодержанием материала – U_0 :

$$B_0 = B(1 + U_0) \quad (2)$$

$$m_H = B_0 \cdot \tau_c, \quad (3)$$

где τ_c - время сушки определено из решения уравнений тепломассопереноса; B_0 - производительность сушильной зоны [4÷8].

Рабочий объем V_0 сушильной зоны рассчитывается по соотношению:

$$V_0 = \frac{m_H}{\rho_n}, \quad (4)$$

где ρ_n - насыпная плотность, V_0 - рабочий объем сушильной зоны;

Насыпная плотность ρ_n определяется экспериментальным путем, используя соотношение (4).

Скорость движения высушиваемых частиц w_m в сушильной зоне находим:

$$w_m = \frac{H}{\tau_c} \quad (5)$$

Масса топочного газа, проходящего через сушилку, определяется из уравнения теплового баланса:

$$m_{T.G} = \frac{(m_c \cdot c_c + m_{\theta} \cdot c_{\theta}) \cdot \Delta T_M + m_{\theta} \cdot r}{c_{T.G} (\Delta T_G)} \quad (6)$$

где T_G - температура топочного газа;

Объем топочного газа определяется соотношением:

$$V_{T.G} = \frac{m_{T.G}}{\rho_{T.G}} \quad (7)$$

Совместное решение уравнений (6) и (7) позволяет определить требуемое сечение газохода в сушильной камере по соотношению:

$$F_c = \frac{m_c}{\tau_c} \frac{(c_c + U_n \cdot c_{\theta}) \cdot \Delta T_M + U_n \cdot r}{w_{T.G} \cdot \rho_{T.G}}$$

Сопротивление слоя древесных частиц определяется насыпной плотностью и высотой слоя:

$$\Delta p_{cl} = q \cdot \rho_n \cdot H_0 \quad (8)$$

где H_0 - высота слоя.

Производительность секторного питателя рассчитывается из соотношения:

$$Q = \frac{B_0}{\rho_n} \quad (9)$$

Для производительности установки равной 100 кг/час можно установить шлюзовый питатель марки ШП-200 с уменьшенным числом оборотов. Загрузочное отверстие выбрано с учетом диаметра сводообразования.

Пиролизная камера 6 (рис. 3) находится внутри топки 10 с газоходом – 5. Запуск пиролизной камеры может быть реализован сжиганием древесных отходов, подаваемых через дверцу 7. Топочные газы выходят из топки и огибают пиролизную камеру по спирально расположенному газоходу 5 сечением 300х300, образованному с помощью направляющих 12, 13. Высушенные древесные отходы дозируются в пиролизную камеру с помощью питателя 1, за счет гравитационных сил двигаются вниз, превращаясь в уголь, и производят при этом пиролизный газ, который после сепарации от жидкой фракции поступает через патрубок 11 на сжигание в топку 10.

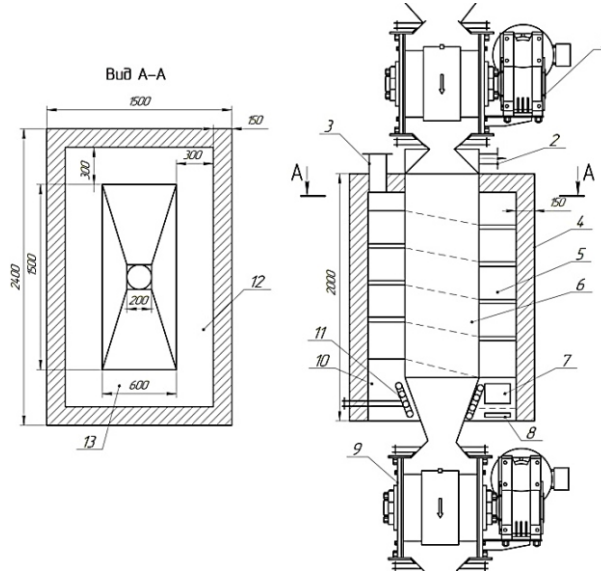


Рис. 3. Эскиз зоны пиролиза: 1, 9 – шлюзовые питатели; 2 – патрубок для отвода пиролизных газов; 3 – патрубок отвода топочных газов; 4 – теплоизолированная стенка; 5 – дымоход; 6 – пиролизная камера; 7 – дверца топки; 8 – дверца поддува; 10 – топка; 11 – патрубок подачи горючего газа с коллектором; 12, 13 – направляющие газохода

Объем пиролизных газов можно рассчитать косвенно по разнице изменения массы древесных отходов и средней плотности пирогазов.

$$V_{\text{пг}} = \frac{\Delta B}{\rho_{\text{пг}}} \quad (10)$$

Диаметр патрубка для отвода пиролизного газа определяется временем пиролиза, который рассчитывается с помощью дифференциальных уравнений тепломассопереноса [3, 4].

Локальное изменение температуры биомассы в пиролизной зоне определяется дифференциальным уравнением теплопереноса:

$$\rho_{\text{сл}} \cdot c_{\text{сл}} \cdot \frac{\partial T_{\text{сл}}}{\partial \tau} = \frac{\partial T_{\text{сл}}}{\partial l} \cdot \left(\lambda_{\text{эф}} \cdot \frac{\partial T_{\text{сл}}}{\partial l} \right) + q_{\text{сл}} \quad (11)$$

где $c_{\text{сл}}$ – теплоемкость биомассы, Дж/кг·К; $\rho_{\text{сл}}$ – плотность слоя биомассы кг/м³; $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $q_{\text{сл}}$ – сток (приток) тепла, Дж/м²·с.

Начальные условия в дифференциальном уравнении определяются конечными значениями температуры биомассы на выходе из сушильной зоны:

$$T_{\text{сл}}(0, l) = T_{\text{нач.}} = T_{\text{мк}} \quad (12)$$

Граничные условия записываются соотношением:

$$-\lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T_{\text{сл}}}{\partial l} \bigg|_{l=0} = \alpha \cdot (T_{\text{г}} - T_{\text{сл}}). \quad (13)$$

$$-\lambda_{эф} \left. \frac{\partial T_{сл}}{\partial l} \right|_{l=0} = \alpha \cdot (T_{\Gamma} - T_{сл}). \quad (13)$$

Эффективный коэффициент теплопроводности определяется экспериментально, т.к. зависит от условий, в которых находится слой биомассы: порозности, температуры, скорости движения биомассы, в зоне пиролиза и т.д. [9÷16].

В соответствии с формализацией процесса биомассу рассматриваем как смесь, состоящую из трех главных составляющих: гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина с известными массовыми долями. С учетом принятых допущений изменение массы в единице объема для каждого из указанных компонентов, запишется в следующем виде:

– для гемицеллюлозы

$$\frac{\partial m_{гц}}{\partial \tau} = -k_{гц} \cdot m_{гц}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial m_{нв}}{\partial \tau} = \gamma_{гц} \cdot k_{гц} \cdot m_{гц} - k_{нв} \cdot m_{нв}, \quad (15)$$

– для целлюлозы

$$\frac{\partial m_{ц}}{\partial \tau} = -k_{ц} \cdot m_{ц}, \quad (16)$$

– для лигнина

$$\frac{\partial m_{л}}{\partial \tau} = -k_{л} \cdot m_{л}, \quad (17)$$

где γ – доля компонента.

Удельная масса образующегося угля определяется по уравнению

$$\frac{\partial m_y}{\partial x} = \gamma_{нв} \cdot k_{нв} \cdot m_{нв} + \gamma_{гц} \cdot (-k_{гц} \cdot m_{гц}) + \gamma_{л} \cdot (-k_{л} \cdot m_{л}). \quad (18)$$

Изменение массы газовой фазы в единице объема представлена как сумма массовых потоков за счет конвекции и реакций пиролиза:

$$\frac{\partial(\varepsilon \cdot m_{гз})}{\partial \tau} = -\frac{\partial(w_{гз} \cdot m_{гз})}{\partial x} + (1 - \gamma_{гц}) \cdot k_{гц} \cdot m_{гц} + (1 - \gamma_{нв}) \cdot k_{нв} \cdot m_{нв} + (1 - \gamma_{ц}) \cdot k_{ц} \cdot m_{ц} + (1 - \gamma_{л}) \cdot k_{л} \cdot m_{л}, \quad (19)$$

где ε – пористость, определяемая из выражения

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{m_{\sigma}}{m_{\sigma_0}} \right) \cdot (1 - \varepsilon_{\sigma}).$$

Объем топочных газов определяется решением системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс горения [17-20].

Результаты

На основе расчетных соотношений (2-4) получены зависимости объема рабочей камеры сушильной зоны в зависимости от влагосодержания и вида исходного сырья рисунке 4.

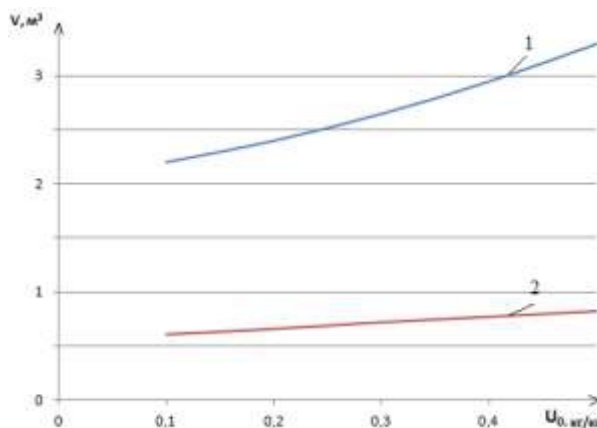


Рис. 4. Зависимость требуемого объема рабочей камеры от влагосодержания и вида сырья: 1 – для щепы; 2 - для опилок

Анализ представленных зависимостей показывает, что рабочий объем сушильной камеры при сушке щепы почти в 3 раза превышает объем сушильной камеры для сушки опилок, это связано с длительностью процесса сушки щепы по сравнению с опилками.

При расчете коллекторов подвода и отвода теплоносителя в сушильной камере необходимо учитывать объемный расход теплоносителя, который в свою очередь зависит от времени сушки, скорости движения частиц, порозности частиц. На рис. 5 приведены расчетные зависимости сечения газохода сушильной камеры от влагосодержания перерабатываемого сырья для установки производительностью 100 кг/час.

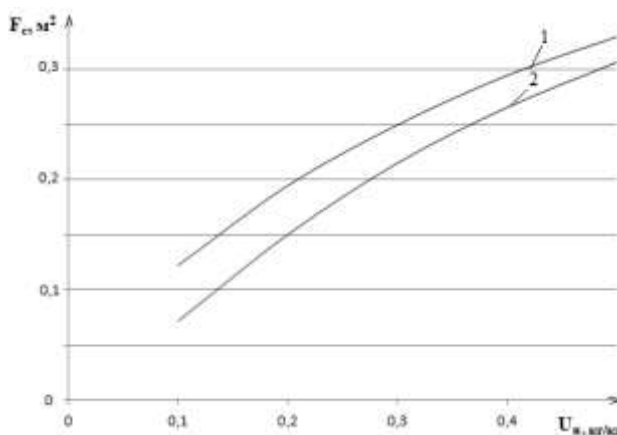


Рис. 5. Зависимость требуемого сечения газохода сушильной камеры от начального влагосодержания и вида сырья: 1 – для щепы; 2 – для опилок

Анализ приведенных зависимостей показывает, что сечение газоходов при сушке опилок и щепы в меньшей степени зависят от геометрических размеров высушиваемых частиц и практически совпадают при больших начальных влажностях сырья.

В зоне пиролиза процесс определяется интенсивностью кондуктивного прогрева высушенных частиц, а габаритные размеры газохода пиролизной камеры определяются производительностью установки (см. рис. 6) и порозностью пиролизуемого сырья (см. соотношение 10). При пиролизе опилок выход парогазовой смеси больше чем при пиролизе технологической щепы вследствие длительности процесса.

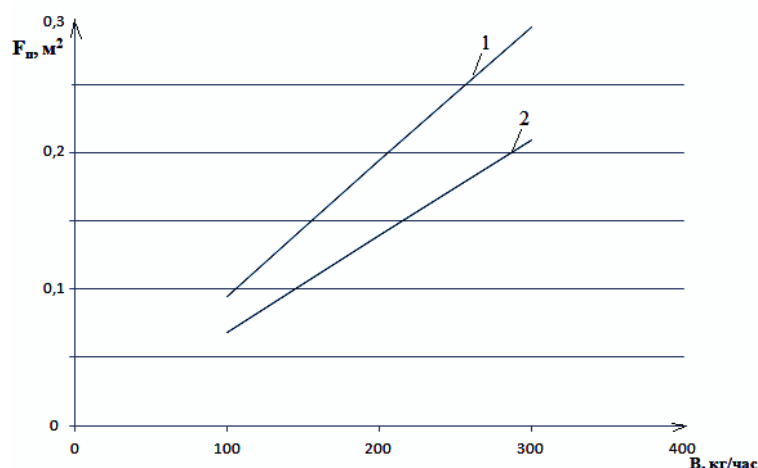


Рис. 6. Зависимость сечения газохода от производительности установки и вида сырья: 1 – для щепы; 2 – для опилок

Анализ приведенных результатов математического моделирования показывает, что сечение газоходов при пиролизе определяется прямо-пропорциональной зависимостью от производительности установки, при этом с уменьшением размеров перерабатываемого сырья сечение газоходов увеличивается. Это объясняется увеличением выхода конечного продукта с увеличением размеров частиц. При этом влияние начального влагосодержания более заметно для щепы.

Таким образом, можно сделать вывод, что объем сушильной камеры, в большей степени определяется размерами перерабатываемого сырья.

На эскизных чертежах (рис. 3, 4) приведены расчетные размеры зон сушки и пиролиза полученные моделированием процесса сушки и пиролиза с помощью соотношений (1÷20) при производительности установки 100 кг/час.

Заключение

Представленная инженерная методика расчета позволяет решить конструктивное оформление зон сушки и пиролиза для установки производства активированного угля и рассчитать конструктивные размеры промышленной установки.

Анализ результатов математического моделирования показывает, что габаритные размеры узлов установки определяются не только производительностью установки, но и размерами перерабатываемого сырья и его исходным влагосодержанием.

Литература

1. Патент на изобретение РФ № 2694347, МПК C10B 53/00 (2006.01), C10B 53/02 (2006.01). Способ получения активированного угля / Р.Г. Сафин, Р.Р. Зиятдинов, Р.Р. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Т.О. Степанова, К.В. Валеев, Л.М. Ризванова, Д.Р. Гумеров, Д.Г. Рябушкин, патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – Оpubл. 11.07.2019.
2. Зиятдинов Р.Р., Степанова Т.О., Сафин Р.Г., Зиятдинова Д.Ф., Ахметова Д.А. // Конвективная сушка измельченной древесины перед термохимическим процессом переработки древесных материалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2019 г. № 1. С. 66-73.
3. Зиятдинов Р.Р., Сафин Р.Г., Степанова Т.О., Зиятдинова Д.Ф., Ахметова Д.А. // Исследования процесса пирогенетической переработки биомассы // Деревообрабатывающая промышленность. 2019 г. № 3. С. 83-93.
4. Зиятдинов Р.Р., Хабибуллина А.Р., Сафин Р.Г., Зиятдинова Д.Ф., Ахметова Д.А. // Термохимическая переработка древесных отходов в активированный уголь // Деревообрабатывающая промышленность. 2019 г. № 1. С. 84-93.2.
5. Тимербаев Н.Ф., Сафина А.В., Мазаров И.Ю. Современное состояние производства древесного угля // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 1-2. С. 102-107.
6. Канторович Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – М.: Изд. АН СССР, 1958. 598 с.

7. Тимербаев, Н.Ф. Комплексная энерготехнологическая переработка древесных отходов с применением прямоточной газификации: монография / Тимербаев Н.Ф. – Казань: КНИТУ, 2011. – 248 с.
 8. Timerbaev N.F. Modeling the process of direct-flow gasification of wood waste // Bulletin of Kazan University of Technology. 2011. № 7.
 9. Manigomba J.A. Prospects for biomass energy use in the republic of Burundi / J.A. Manigomba, N.D. Chichirova, V.B. Gruzdev, E. Ndikumana, A.I. Lyapin // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). January 2019. V.10, I.01.pp. 1371-1382.
 10. Tuntsev D.V. The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste / Tuntsev, D.V., Safin, R.G., Hismatov, R.G., Halitov, R.A., Petrov, V.I. // In 2015 Int. Conf. on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) pp 1-4.
 11. Timerbaev N.F. Modeling of the process of energy-technological treatment of wood waste by method of direct-flow gasification / Timerbaev, N.F., Safin, R.R., Safin, R.G., Ziatdinova, D.F. // Journal of Engineering and Applied Sciences 9(5), pp. 141-146, 2014.
 12. Timerbaev N.F. The development of experimental setups and experimental studies of the process of energy-technological processing of wood / Timerbaev N.F., Safin R.G., Ziatdinova D.F., Fomin A.A., Mohovikov A.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 142(1), 012096.
 13. Antal M.J. Biomass pyrolysis: a review of the literature. Part I. Carbohydrate pyrolysis / M.J. Antal // Adv. In solat Energy. 1983. pp.61-111.
 14. Timerbaev, N.F. Thermochemical processing of organic waste / Timerbaev N.F., Safin R.G., Mazarov I.Yu., Stepanova T.O. // 2019 Thermochemical processing of organic waste IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 643.
 15. Safin, R. G. Processing of Renewable Wood Biomass into Thermally Modified Pellets with Increased Combustion Value / Safin R. G., Prosvirnikov D. B., Stepanova T. O. // 2020 Proceedings of the 5th international Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering 387.
 16. Mettler, MS. Top ten fundamental challenges of biomass pyrolysis for biofuels / DG. Vlachos, PJ. Dauenhauer // Energy Environ Sci 2012; 2012(5): 797-809.
 17. Sadrtidinov A.R., Sattarova Z.G., Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V. Modeling of thermal treatment of wood waste in the gasifiers // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015. 2015. P. 7414914.
 18. Timerbaev N.F. Modeling the process of direct-flow gasification of wood waste // Bulletin of Kazan University of Technology. 2011. № 7.
 19. Грачев А.Н. Разработка методов расчета технологии и оборудования пирогазификационной переработки древесины в жидкие продукты: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.Н. Грачев. - Казань, 2012. – С. 36.
 20. Исхаков Т.Д. Энерго- и ресурсосбережение при утилизации отработанных древесных шкал методом пиролиза: автореф. дис. канд. техн. наук / Т.Д. Исхаков. - Казань, 2008. – С.16.
- © **Сафин Р.Г.** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой переработки древесных материалов, ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: safin@kstu.ru; **Степанова Т.О.** – аспирант кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: stepanova-211190@yandex.ru; **Зиятдинов Р.Р.** – канд. техн. наук, доцент кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: radis226@rambler.ru; **Рябушкин Д.Г.** – аспирант кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: tabalcao@yandex.ru; **Петров В.И.** – д-р техн. наук, профессор кафедры оборудования химических заводов ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: oxz1@rambler.ru; **Сотников В.Г.** – аспирант кафедры переработки древесных материалов ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: vcvvcv12345678@gmail.com.

UDC 66.040.02

CONSTRUCTIVE CALCULATION OF THE PYROLYSIS ZONE OF THE ACTIVATED CARBON PRODUCTION PLANT

R.G. Safin, T.O. Stepanova, R.R. Ziatdinov, D.G. Ryabushkin, V.I. Petrov, V.G. Sotnikov

An energy-saving and resource-saving continuous-operating unit for the production of activated carbon has been developed. An engineering calculation method for drying and pyrolysis is presented, which makes it possible to solve the structural design of the drying and pyrolysis zones for an activated carbon production

unit and calculate the structural dimensions of an industrial unit. The hardware design of these zones has been developed. The dependences of the volume of the working chamber of the drying zone depending on the moisture content and the type of feedstock are obtained. Calculated dependences of the section of the gas duct of the drying chamber on the moisture content of the processed raw materials and on the productivity of the installation are given.

Keywords: *activated carbon, drying, pyrolysis, heat and mass transfer, adsorbents, raw materials.*

References

1. Patent № 2694347, IPC C10B 53/00 (2006.01), C10B 53/02 (2006.01). Method for producing activated carbon / R.G. Safin, R.R. Ziatdinov, R.R. Safin, N.F. Timerbaev, T.O. Stepanova, K.V. Valeev, L.M. Rizvanova, D.R. Gumerov, D.G. Ryabushkin, patent holder of the Kazan National Research Technological University. - Publ. 11.07.2019.
2. Ziatdinov R.R., Stepanova T.O., Safin R.G., Ziatdinova D.F., Akhmetova D.A. [Convective drying of crushed wood before thermochemical process of processing of wood materials] *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking industry] 2019 - № 1. - pp. 66-73. (InRuss.)
3. Ziatdinov P.P., Safin R.G., Stepanova T.O., Ziatdinova D.F., Akhmetova D.A. [Studies of the process of pyrogenetic processing of biomass] *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking industry] 2019, No. 3. P. 83-93. (InRuss.)
4. Ziatdinov P.P., Khabibullina A.R., Safin R.G., Ziatdinova D.F., Akhmetova D.A. [Thermochemical processing of wood waste into activated carbon] *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking industry] 2019, No. 1. P. 84-93. (InRuss.)
5. Timerbaev N.F., Safina A.V., Mazarov I.Yu. [The current state of the production of charcoal] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [News of higher educational institutions Energy problems] 2017. Vol. 19. No. 1-2. S. 102-107. (InRuss.)
6. Kantorovich B.V. [Fundamentals of the theory of combustion and gasification of solid fuel] B.V. Kantorovich. - M.: Publishing. USSR Academy of Sciences, 1958. 598 p. (InRuss.)
7. Timerbaev, N.F. [Integrated energy-technological processing of wood waste with the use of direct-flow gasification: monograph] Timerbaev N.F. - Kazan: KNITU, 2011. - 248 p. (InRuss.)
8. Timerbaev N.F. [Modeling the process of direct-flow gasification of wood waste] [Bulletin of Kazan University of Technology]. 2011. № 7. (InEngl.)
9. Manigomba J.A., Chichirova N.D., Gruzdev V.B., Ndikumana E., Lyapin A.I. [Prospects for biomass energy use in the republic of Burundi] [International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)]. January 2019. V.10, I.01. pp. 1371-1382. (InEngl.)
10. Tuntsev D.V., Safin R.G., Hismatov R.G., Halitov R.A., Petrov V.I. [The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste] [In 2015 Int. Conf. on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)] pp 1-4. (InEngl.)
11. Timerbaev N.F., Safin R.R., Safin R.G., Ziatdinova D.F. [Modeling of the process of energy-technological treatment of wood waste by method of direct-flow gasification] [Journal of Engineering and Applied Sciences 9(5)], pp. 141-146, 2014. (InEngl.)
12. Timerbaev N.F., Safin R.G., Ziatdinova D.F., Fomin A.A., Mohovikov A.A. [The development of experimental setups and experimental studies of the process of energy-technological processing of wood] [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 142(1)], 012096. (InEngl.)
13. Antal M.J. [Biomass pyrolysis: a review of the literature. Part I. Carbohydrate pyrolysis Adv.] [In solat Energy]. 1983. pp.61 – 111. (InEngl.)
14. Timerbaev, N.F., Safin R.G., Mazarov I.Yu., Stepanova T.O. [Thermochemical processing of organic waste] [Thermochemical processing of organic waste IOP Conference Series: Materials Science and Engineering] 2019:643. (InEngl.)
15. Safin, R. G., Prosvirnikov D. B., Stepanova T. O. [Processing of Renewable Wood Biomass into Thermally Modified Pellets with Increased Combustion] [Proceedings of the 5th international Conference on Industrial Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering] 2020:387. (InEngl.)
16. Mettler MS, Vlachos DG, Dauenhauer PJ. [Top ten fundamental challenges of biomass pyrolysis for biofuels] [Energy Environ Sci] 2012; 2012(5): 797-809. (InEngl.)

17. Sadretdinov A.R., Sattarova Z.G., Prosvirnikov D.B., Tuntsev D.V. [Modeling of thermal treatment of wood waste in the gasifiers] [Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS] 2015. 2015. P. 7414914. (InEngl.)

18. Timerbaev N.F. [Modeling the process of direct-flow gasification of wood waste] [Bulletin of Kazan University of Technology]. 2011. № 7. (InEngl.)

19. Grachev A.N. [Development of methods for calculating the technology and equipment of the pyrogenic processing of wood into liquid products] author. dis. ... Dr. Techn. Sciences. 2012. - p.36. . (InRuss.)

20. Iskhakov T.D. [Energy and resource saving in the disposal of waste wood scales by pyrolysis] author. dis. ... Cand. tech. Sciences. 2008. - p.16. (InRuss.)

©Safin R.G. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Wood Materials Processing, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: safin@kstu.ru; Stepanova T.O. – postgraduate student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: stepanova-211190@yandex.ru; Ziatdinov R.R. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: radis226@rambler.ru; Ryabushkin D. G. – postgraduate student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: tabalcao@yandex.ru; Petrov V. I. – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Chemical plant equipment, KNRTU, e-mail: oxz1@rambler.ru; Sotnikov V. G. – postgraduate student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: vcvcvc12345678@gmail.com

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНОНАПОЛНЕННОГО ПОЛИУРЕТАНА

Д.Д. Чирков, А.Е. Шкуро, Е.А. Каменченко, А.С. Ершова

В работе рассмотрены вопросы получения древеснонаполненных полиуретанов. В качестве матрицы полимерного композиционного материала был использован двух компонентный литевой полиуретан марки Noacast 234, в качестве наполнителя древесная мука марки 300. Для полученных образцов древеснонаполненных полиуретанов были определены показатели следующих физико-механических свойств: плотность, твердость по Бринеллю, контактный модуль упругости при сжатии, пластичность, число упругости, ударная вязкость, предел прочности при изгибе, водопоглощение за 24 часа и водопоглощение за 30 суток. Установлены зависимости между содержанием в образцах древесной муки и их физико-механическими свойствами. Данные зависимости приведены в виде полиномов второй степени. Предложена оптимальная рецептура древеснонаполненного полиуретана (70% полимерной фазы, 30 %-древесной муки марки 300).

Ключевые слова: полиуретан, композит, древесная мука, физико-механические свойства.

Введение

Глобальное производство полиуретанов в 2016 году оценивалось в 18 млн. тонн, что оценивается примерно в 53 миллиарда евро, это дает ему шестое место среди всех полимеров, исходя из ежегодного мирового производства [1]. Полиуретаны представляют собой уникальный класс полимеров с универсальными свойствами и многочисленными применениями. Их свойства могут быть в значительной степени адаптированы благодаря возможности широкого выбора подходящего сырья и доступных технологий обработки. Универсальность применения полиуретанов обусловлена широким диапазоном регулируемых молекулярных и надмолекулярных структур полиуретана в составе, который в большинстве случаев характеризуется наличием в полимерной цепи жестких (твердых) и гибких (мягких) сегментов, которые являются несмешивающимися и могут разделяться на домены, что является особенностью блок-сополимеров, где домены жесткого сегмента действуют как физическое сшивание. Таким образом, степень разделения фаз зависит от химической структуры жесткого и мягкого сегментов [4]. Разделение фаз также зависит от истории обработки и улучшается с увеличением подвижности мягкого сегмента [5]. Температура стеклования и температура плавления жестких сегментов значительно выше температуры подачи [6]. Соответствующее значительное количество водородных связей,

происходящих в основном в доменах с жесткими сегментами, позволяет сочетать гибкость со значительной механической прочностью и износостойкостью [7, 8].

Температура плавления жестких сегментов полиуретана увеличивается с увеличением их размера и степени упорядоченности (кристалличности). Чем больше содержание твердых сегментов в полиуретане, тем выше модуль Юнга, твердость, износостойкость и максимальная температура использования. Чем больше полиуретановый эластомер содержит гибкие сегменты, тем больше гибкость, удлинение, упругость при низких температурах и меньшая твердость, модуль упругости и устойчивость к царапинам и истиранию. В областях жестких полиуретановых сегментов происходит физическое сшивание, они встречаются по времени с функциями, аналогичными армирующему наполнителю. Таким образом, на результирующие свойства полиуретанов влияет ряд факторов, в том числе разделение фаз и смешивание фаз, химическая структура и массовые пропорции твердых и мягких сегментов, а также общая молекулярная масса. Разделенная на фазы структура имеет большое значение для полиуретановых эластомеров. Жесткие полиуретаны в форме пен, покрытий или связующих обычно представляют собой однофазные продукты. Полиуретаны представлены на рынке в виде пен, эластомеров, пластмасс, адгезивов, покрывающих агентов, волокон или материалов, подобных коже.

Полиуретаны используются в таких областях, как строительство, транспорт, мебельная промышленность, производство спортивного инвентаря, медицинская техника и многие другие. Полиуретановые реакции относятся к категории ступенчатого роста или конденсационной полимеризации, где бифункциональные мономеры ступенчато реагируют, образуя длинные цепочки реагирующих мономеров [9-16].

Наиболее важным классом полиуретанов являются термопластичные полиуретаны. Этот тип материала различается по своему исходному материалу и свойствам. Термопластичные полиуретаны могут быть синтезированы в соответствии с требуемыми свойствами. Они похожи на пластмассы и обладают хорошей эластичностью и прозрачностью. Термопластичные полиуретаны (ТПУ) представляют собой сегментированные полиуретаны с чередующимися твердыми и мягкими блоками. Длину мягких и жестких блоков можно контролировать во время синтеза. Они широко используются в медицинском оборудовании, колесиках, электроинструментах, спорте и обувной промышленности. ТПУ имеют высокую абразивную прочность, высокую стойкость к химическим веществам и растворителям, а также устойчивость к маслам и жирам.

Перспективным направлением для исследований представляются композиты на основе древесно-наполненных литьевых полиуретанов. При создании данных материалов предлагается использовать материалы растительного происхождения, такие как древесная мука и различные измельченные отходы лесного и аграрного хозяйства. Эти наполнители имеют широкую сырьевую базу и низкую стоимость. Ввод выше перечисленных материалов в полиуретаны резко снижает цену готовой продукции. Что при сохранении эксплуатационных свойств материала на достаточном уровне обеспечивает высокий спрос и конкурентоспособность на рынке полимерных композиционных материалов. Целью настоящей работы являюсь получение и исследование свойств серии древеснонаполненных полиуретанов с различным содержанием наполнителя. В задачи исследования входило определение показателей ключевых физико-механических свойств древеснонаполненных полиуретанов, установление зависимостей между свойствами композита и содержанием в нем древесной муки, а также определение рациональной рецептуры материала на основе двухкомпонентного литьевого полиуретана марки Noacast 234 и древесной муки.

Методы и материалы

В качестве связующих для создания композиционных материалов, были использованы полиуретан марки Noacast 234 (ООО Композит Строй г. Москва). Полиуретан марки Noacast 234 является двухкомпонентным полиуретаном. Рекомендованное соотношения компонентов А и В составляет 100:60. При увеличении содержания компонента А продукт полимеризации становится более пластичным и гибким. Полиуретан марки Noacast 234 полимеризуется при комнатной температуре. В качестве наполнителя использовалась древесная мука марки 300 (ДМ-300), предоставленная ООО «Древесная Мука». Рецептуры полученных древесно-полимерных композиций представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептуры полученных композитов

№	Условное обозначение	Содержание компонента, %		
		ДМ-300	Полиуретан	
			Компонент А	Компонент Б
1	ПУ	0	62,5	37,5
2	ПУДМ-10	10	56,3	33,7
3	ПУДМ-20	20	50	30
4	ПУДМ-30	30	43,7	23,3
5	ПУДМ-40	40	37,5	22,5

Образцы композитов изготавливались следующим образом: компонент А совмещался с наполнителем согласно представленной рецептуре, затем после тщательного перемешивания, в композицию добавляли компонент Б (отвердитель). После интенсивного перемешивания композиция выкладывалась в форму с размерами 100×100×5 мм. Композиция отверждалась при комнатной температуре в течение 24 часов. После полного отверждения композит извлекался из формы и из него изготавливались стандартные образцы для испытаний физико-механических свойств.

Для полученных образцов полиуретанов были определены показатели следующих физико-механических свойств: плотность, твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии, пластичность, число упругости, ударная вязкость, предел прочности при изгибе, водопоглощение за 24 часа и водопоглощение за 30 суток.

Результаты

Средние арифметические значения физико-механических свойств образцов полученных древеснонаполненных полиуретанов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства образцов древеснонаполненных полиуретанов

Наименование показателя	Композит				
	ПУ	ПУДМ-10	ПУДМ-20	ПУДМ-30	ПУДМ-40
Плотность, кг/м ³	1030,6	937,2	845,3	891,7	953,0
Твердость по Бринеллю, МПа	307,0	44,0	39,5	46,7	36,6
Модуль упругости при сжатии, МПа	2797,3	522,0	458,9	561,7	417,5
Число упругости, %	98,0	76,2	69,9	63,5	61,1
Пластичность, %	2,0	24,7	30,1	36,5	38,9
Прочность при растяжении, МПа	153,2	29,3	26,6	31,0	24,7
Прочность при изгибе, МПа	49,5	35,4	26,9	22,7	5,7
Ударная вязкость, кДж/м ²	5,9	3,1	2,2	2,4	1,4
Водопоглощение за 24 часа, %	0,2	1,1	2,3	6,0	31,9
Водопоглощение за 30 суток, %	0,8	4,2	8,1	20,7	41,7

Результаты графического анализа полученных экспериментальных данных представлены на рисунках 1-4.

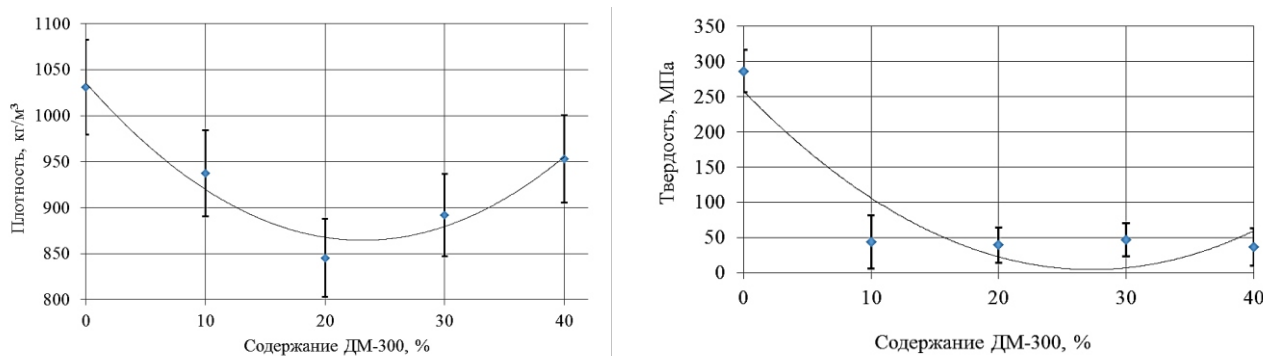


Рис. 1. График зависимости плотности и твердости образцов древеснонаполненных полиуретанов от содержания древесной муки

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что с увеличением содержания ДМ-300 в композиции показатель плотности материала падает по сравнению с ненаполненным полимером. При увеличении содержания наполнителя с 20 до 30 мас. % обнаруживается тенденция незначительного роста плотности материала. Минимальной плотностью ($845,3 \text{ кг/м}^3$) характеризуется образец наполненного полиуретана с 20 % наполнителя в составе. Зависимость показателя твердости по Бринеллю образцов древеснонаполненного полиуретана от содержания в нем наполнителя описывается уравнением $y = 0,34x^2 - 18,56x + 257,85$ (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,8524$). При введении 10 мас. % древесной муки в состав полиуретана твердость по Бринеллю резко снижается, при дальнейшем увеличении содержания наполнителя показатель твердости по Бринеллю практически не изменяется.

Данные, представленные на рисунке 2, говорят о том, что с увеличением содержания наполнителя в образцах полиуретана число упругости материала снижается. Зависимость показателя числа упругости образцов наполненного полиуретана от содержания древесной муки описывается уравнением $y = 0,028x^2 - 1,90x + 96,6$ ($R^2 = 0,98$). Очевидно, что для показателя пластичности характерна обратная тенденция. Влияние содержания древесной муки марки 300 на показатель пластичности образцов древеснонаполненных полиуретанов описывается уравнением $y = -0,03x^2 + 1,99x + 3,64$ ($R^2 = 0,971$). Зависимость модуля упругости при сжатии образцов наполненного полиуретана от содержания наполнителя описывается уравнением $y = 3,16x^2 - 173,7x + 2528,1$ ($R^2 = 0,85$). Данные экспериментов показывают, что с увеличением содержания ДМ-300 контактный модуль упругости при сжатии образцов наполненного полиуретана снижается.

Падение показателей твердости, жесткости, плотности и упругости, и рост показателя пластичности древеснонаполненных полиуретанов, по сравнению с ненаполненными образцами объясняются препятствованием частиц наполнителя полнообъемному протеканию реакции полимеризации двухкомпонентного полиуретана.

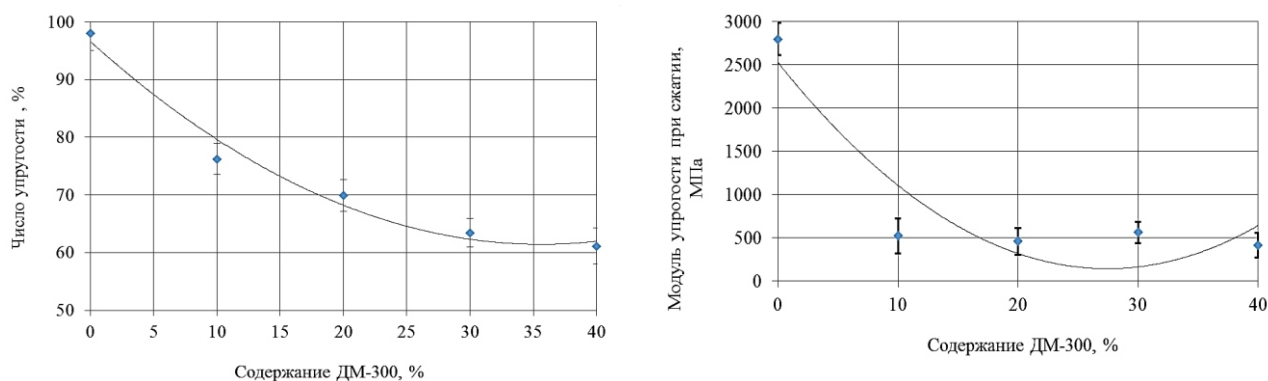


Рис. 2. График зависимости числа упругости и модуля упругости при сжатии образцов древеснонаполненных полиуретанов от содержания древесной муки

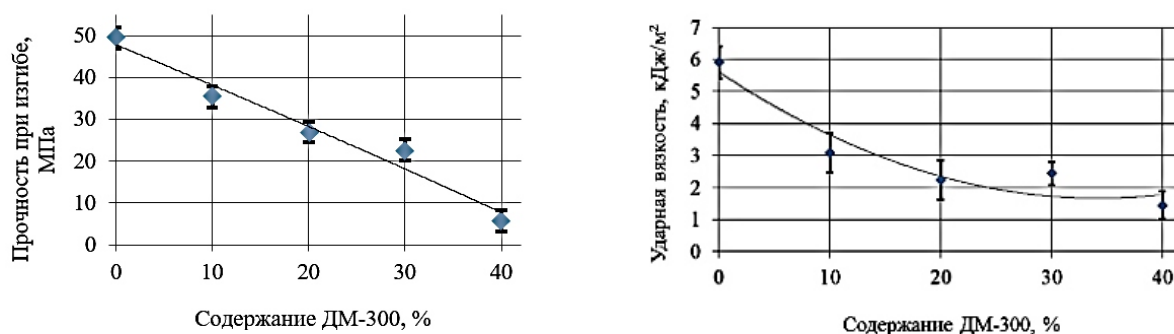


Рис. 3. График зависимости прочности при изгибе и ударной вязкости образцов древеснонаполненных полиуретанов от содержания древесной муки

Данные рисунка 3 свидетельствуют, что с увеличением содержания древесной муки в образцах наполненного полиуретана показатель прочности при изгибе снижается. Зависимость показателя прочности при изгибе образцов наполненного полиуретана от содержания ДМ-300 описывается уравнением $y = -0,001x^2 - 0,95x + 47,91$ ($R^2 = 0,96$). С увеличением содержания в композициях древесной муки показатель ударной вязкости так же снижается. Зависимость показателя ударной вязкости образцов древеснонаполненного полиуретана от содержания наполнителя описывается уравнением $y = 0,003x^2 - 0,23x + 5,61$ ($R^2 = 0,9117$).

Максимальные значения водопоглощения наблюдаются у образцов с наибольшим содержанием древесного наполнителя. Образцы содержащие максимальные (40 % ДМ) и минимальные (ненаполненный ПУ) количества древесного наполнителя поглощают большую часть влаги в течение первых суток выдержки, а при дальнейшем экспонировании показатель водопоглощения изменяется незначительно.

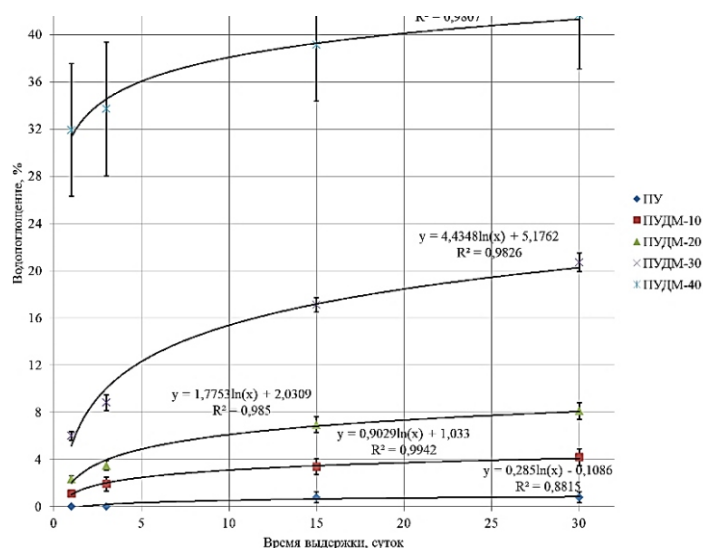


Рис. 4. Водопоглощение образцов древеснонаполненных полиуретанов

Таким образом введение в состав двухкомпонентного литьевого полиуретана лигноцеллюлозного наполнителя в виде древесной муки марки 300 отрицательно сказывается на большинство физико-механических свойств материала. Однако, даже при снижении большинства эксплуатационных характеристик по сравнению с ненаполненными образцами, свойства древеснонаполненных полиуретанов находятся на уровне сопоставимом с уровнями ряда применяемых в промышленности и быту конструкционных материалов. Так, например, древеснонаполненный полиуретан марки Noacast 234 с 30 мас. % древесной муки в составе по большинству эксплуатационных свойств превосходит древесно-полимерный композит с термопластичной полимерной матрицей (ДПК), полученный на основе полиэтилена низкого давления. Кроме того, по сравнению с ДПК, древеснонаполненные полиуретаны на 30% легче, что может являться дополнительным конкурентным преимуществом материала. Так же введение в состав полиуретана 30 мас. % древесной муки позволяет значительно снизить стоимость материала (ориентировочно на 20-25 %).

Заключение

Были проведены испытания физико-механических свойств образцов древеснонаполненных полиуретанов. Установлено, что введение в состав двухкомпонентного литьевого полиуретана древесной муки марки 300 негативно сказывается на большинство физико-механических свойств материала. Введение древесной муки в состав полиуретана приводит к снижению показателей твердости, контактного модуля упругости при сжатии, числа упругости, предела прочности при растяжении, предела прочности при изгибе, ударной вязкости, при этом увеличивается показатели пластичности

водопоглощения. Так же введение ДМ-300 в состав материала приводит к значительному снижению его плотности и стоимости. В результате проведения исследования установлены зависимости влияния содержания древесной муки марки 300 в составе древеснонаполненного полиуретана на показатели его основных физико-механических свойств. Данные зависимости приведены в работе в виде полиномов второй степени.

В качестве оптимального варианта для опытно-промышленной апробации выбрана следующая рецептура: полиуретан марки Noacast 234 - 70 мас. %; древесная мука марки 300 - 30 мас.%. Введение в состав полиуретана такого количества древесного наполнителя позволит снизить стоимость материала на 20-25 %.

Литература

1. Cornille, A.A Perspective approach to sustainable routes for non-isocyanate polyurethanes / A. Cornille, R. Auvergne, O. Figovsky, B. Boutevin, S. Caillol. *European Polymer Journal*. 2016. V. 87. P. 535 – 552;
2. Wurtz A. On a series of organic alkalies homologous with ammonia/A. Wurtz *Philos. Mag. Ser. 3. V. 34. № 229*;
3. Bayer O. Das diisocyanat-polyadditionsverfahren (polyurethane) / O. Bayer. *Angew. Chem.* (1947) P. 257 – 288;
4. Yilgor I. FTIR investigation of the influence of diisocyanate sym-metry on the morphology development in model segmented polyurethanes / I. Yilgor, E. Yilgor, I.G. Guler, T.C. Ward, G.L. Wilkes. *Polymer*. 2006. Vol. 47. № 11. P. 4105 -4114;
5. Yamasaki S. Effects of aggregation structure on rheological properties of thermoplastic polyurethanes / S. Yamasaki, D. Nishiguchi, K. Kojio, M. Furukawa *Polymer*. 2007. Vol. 48. № 16. P. 4793 -4803;
6. Frick A. A. Characterization of TPU-elastomers by thermal analysis (DSC) / A. Frick, A. Rochman, *Polym. Test*. 2004. V. 23. № 4. P. 413 -417;
7. Yilgo E. Hydrogen bonding and polyurethane morphology. I. Quantum mechanical calculations of hydrogen bond energies and vibrational spectroscopy of model compounds / I. Yilgo, E. Yurtsever *Polymer*. 2002. V. 43. № 24. P. 6551 -6559;
8. Yilgo E. Hydrogen bonding and polyurethane morphology. II. Spectroscopic, thermal and crystallization behavior of polyether blends with 1,3-dimethylurea and a model urethane compound / E. Yilgo r, E. Yurtsever, I. Yilgo r. *Polymer*. 2002. V. 43. № 24. P. 6561 -6568;
9. Saunders J.H. *Polyurethanes: Chemistry and Technology* / J.H Saunders, K.C. Frisch, Interscience Publ., J. Wiley & Sons, New York, 1962 P. 362;
10. Wright P. *Solid Polyurethane Elastomers* / P. Wright. A.P.C. Cummings. Mc Laren and Laudau, London, 1969. P. 317;
11. Uhlig K. *Discovering Polyurethanes* / K.Uhlig. Hanser Publishers, Munich, 1998. P.183;
12. Randall D. *The Polyurethanes Book* / Randall D., S. Lee. Huntsman International LLC John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2002;
13. Szycher M. *Szycher's Handbook of Polyurethanes* / Szycher M. CRC Press Inc, Boca Raton, FL, 1999;
14. Thomson T. *Polyurethanes as Specialty Chemicals* / T. Thomson, CRC Press Inc, Boca Raton, FL, 2004;
15. Janik H. M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, *Polyurethanes, Hand-book of Thermoset Plastics*/ Janik H. M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka. Elsevier Inc, altham, MA, 2014;
16. Krol P., [Synthesis methods, chemical structures and phase structures of linear polyurethanes. Properties and applications of linear polyurethanes in polyurethane elastomers, copolymers and ionomers]/P.Krol *Progr. Mater. Sci.* 2007. V. 52. № 6. P. 915-1015.

© **Чирков Д.Д.** – студент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: den.chirkov12@yandex.ru; **Шкуро А.Е.** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: zj@weburg.me; **Каменченко Е.А.** – магистрант кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: katya.patrick@mail.ru; **Ершова А.С.** – магистрант кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: anuta-1997-29@mail.ru.

UDC 678

RESEARCH OF THE WOOD-FILLED POLYURETHANE PROPERTIES

D.D. Chirkov, A.E. Shkuro, E.A. Kamenchenko, A.S. Ershova

The report deals with the issues of obtaining wood-filled polyurethanes. Two-component cast polyurethane grade Noacast-234 was used as a matrix of a polymer composite material, and wood flour grade 300 was utilized as a filler. Modulus of elasticity in compression, plasticity, number of elasticity, impact force, ultimate strength in bending, water absorption in 24 hours, and water absorption in 30 days. The kinship between the content of wood floor samples and their physical and mechanical properties has been established. These dependencies are expressed as polynomials of the second degree. An optimal formulation of wood-filled polyurethane (70 % polymer phase, 30% wood flour grade 300) has been suggested.

Key words: polyurethane, composite, wood flour, physical and mechanical properties.

References

1. Cornille, A.A [Perspective approach to sustainable routes for non-isocyanate polyurethanes] / A. Cornille, R. Auvergne, O. Figovsky, B. Boutevin, S. Caillol. European Polymer Journal. 2016. V. 87. P. 535 – 552;
2. Wurtz A. [On a series of organic alkalies homologous with ammonia]/A. Wurtz Philos. Mag. Ser. 3. V. 34. № 229;
3. Bayer O. [Das diisocyanat-polyadditionsverfahren (polyurethane)]/ O. Bayer. Angew. Chem. (1947) P. 257 – 288;
4. Yilgor I. [FTIR investigation of the influence of diisocyanate sym-metry on the morphology development in model segmented polyurethanes] / I. Yilgor, E. Yilgor, I.G. Guler, T.C. Ward, G.L. Wilkes. Polymer. 2006. Vol. 47. № 11. P. 4105 -4114;
5. Yamasaki S. [Effects of aggregation structure on rheological properties of thermoplastic polyurethanes] / S. Yamasaki, D. Nishiguchi, K. Kojio, M. Furukawa Polymer. 2007. Vol. 48. № 16. P. 4793 -4803;
6. Frick A. A. [Characterization of TPU-elastomers by thermal analysis (DSC)] / A. Frick, A. Rochman, Polym. Test. 2004. V. 23. № 4. P. 413 -417;
7. Yilgo E. [Hydrogen bonding and polyurethane morphology. I. Quantum mechanical calculations of hydrogen bond energies and vibrational spectroscopy of model compounds] / I. Yilgo, E. Yurtsever Polymer. 2002. V. 43. № 24. P. 6551 -6559;
8. Yilgo E. [Hydrogen bonding and polyurethane morphology. II. Spectroscopic, thermal and crystallization behavior of polyether blends with 1,3-dimethylurea and a model urethane compound] / E. Yilgo r, E. Yurtsever, I. Yilgo r. Polymer. 2002. V. 43. № 24. P. 6561 -6568;
9. Saunders J.H. [Polyurethanes: Chemistry and Technology] / J.H Saunders, K.C. Frisch, Interscience Publ., J. Wiley & Sons, New York, 1962 P. 362;
10. Wright P. [Solid Polyurethane Elastomers] / P. Wright. A.P.C. Cummings. Mc Laren and Laudau, London, 1969. P. 317;
11. Uhlig K. [Discovering Polyurethanes] / K.Uhlig. Hanser Publishers, Munich, 1998. P.183;
12. Randall D. [The Polyurethanes Book] / Randall D., S. Lee. Huntsman International LLC John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2002;
13. Szycher M. [Szycher's Handbook of Polyurethanes] / Szycher M. CRC Press Inc, Boca Raton, FL, 1999;
14. Thomson T. [Polyurethanes as Specialty Chemicals] / T. Thomson, CRC Press Inc, Boca Raton, FL, 2004;
15. Janik H. M. [Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, Polyurethanes, Hand-book of Thermoset Plastics]/ Janik H. M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka. Elsevier Inc, altham, MA, 2014;
16. Krol P., [Synthesis methods, chemical structures and phase structures of linear polyurethanes. Properties and applications of linear polyurethanes in polyurethane elastomers, copolymers and ionomers Krol P.] / Progr. Mater. Sci. 2007. V. 52. № 6. P. 915 – 1015.

© **Chirkov D.D.** – Student of the department of Pulp and Paper Technologies and Polymer Processing, Ural State Forestry Engineering University (USFU), e-mail: den.chirkov12@yandex.ru; **Shkuro A.E.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Pulp and Paper Technologies and Polymer Processing, USFU, e-mail:

zj@weburg.me; **Kamenchenko E.A.** – graduate student of the department of Pulp and Paper Technologies and Polymer Processing, USFU, e-mail: katty.patrick@mail.ru; **Ershova A.S.** – graduate student of the department of Pulp and Paper Technologies and Polymer Processing, USFU, e-mail: anuta-1997-29@mail.ru.

УДК 630*161*8

ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМАХ

А.В. Сафина, Л.И. Гизатуллина, Р.Г. Сафин, Д.Ф. Зиатдинова, Р.Р. Зиатдинов

В работе представлен обзор исследований и разработок по извлечению и применению биологически активных веществ (БАВ) из лесных ресурсов в комбинированных кормах. Изучены различные БАВ, содержащиеся как в лиственных, так и в хвойных породах древесины и рассмотрены существующие кормовые добавки на их основе. Проведен анализ накопленного опыта по изучению свойств биологически активных веществ из лесных ресурсов, способствующих повышению продуктивности и сохранности здоровья животных, а так же получению экологически чистой продукции.

Ключевые слова: лесные ресурсы, экстракция, биологически активные веществ, комбинированные корма.

Введение

Одним из перспективных направлений увеличения комплексного использования древесного сырья и переработки древесной биомассы является организация производства разнообразных кормов и питательных веществ для нужд животноводства. Большое разнообразие видов лесных ресурсов, размерного и качественного состава отходов, образующихся при их переработке, а также химических, физических и механических характеристик этих отходов создают благоприятные предпосылки для получения из них кормовых продуктов и добавок различного назначения. Налажено производство таких кормовых средств как кормовая мука, лесной силос, лесной комбикорм, кормовой сахар, сахарно-минеральная добавка, консервирующие средства, высокопротеиновые корма и другие.

Привлечение ресурсов леса в кормопроизводство вызвано потребностью в кормах, богатых протеином и легкоперевариваемыми углеводами (сахарами). Массовость и доступность лесных ресурсов, их естественная возобновляемость и возможность круглогодичного использования позволяют рассматривать их как дополнительную перспективную сырьевую базу для производства недостающих кормов. Это способствует выведению производств отдельных видов кормов из-под влияния неблагоприятных погодно-климатических условий и позволяет значительно ослабить последствия неурожая. Кроме того, переработка многочисленных отходов лесозаготовки и лесобработки для получения кормов во многом решает проблему утилизации неиспользуемых отходов и загрязнения ими окружающей среды [1].

Содержание основных групп питательных веществ в лесной биомассе, их доступность и энергетическая ценность варьируют в широких пределах и зависят от множества факторов [2]. Наиболее высокую переваримость и кормовую ценность в натуральном виде имеет древесная зелень, затем - ветви, кора деревьев, наименьшую - стволовая древесина.

Зеленые элементы деревьев содержат много питательных веществ (протеина, жира, золы, углеводов), а также витаминов, фитонцидов, хлорофилла и других биологически активных элементов. В отходах, образующихся при окорке древесины, содержится несколько меньше, чем в зелени, основных питательных веществ и биологически активных компонентов, но больше полисахаридов, специфических (вкусовых, ароматических и др.) компонентов, жира. Древесные отходы исключительно богаты полисахаридами, что делает их перспективным видом сырья для получения высокоэнергетического корма [3].

В последние годы в животноводстве возрос спрос на натуральные биологически активные добавки, входящие в состав рационов в небольших количествах, но являющиеся жизненно необходимыми для профилактики и лечения болезней молодняка и получения экологически безопасной продукции высокого

качества. Использование кормов, обогащенных биологически активными кормовыми добавками, следует рассматривать как альтернативу кормовым антибиотикам и синтетическим стимуляторам роста. Большое значение в решении этого вопроса может иметь использование древесной зелени, богатой экстрактивными биологически активными веществами [4]. В связи с этим именно лесные ресурсы, содержащие много ценных компонентов, представляют интерес как многотоннажный эффективный источник производства биологически активных веществ в качестве добавок к биокормам.

В настоящей работе представлен анализ современного состояния исследований и разработок по извлечению и применению биологически активных веществ из лесных ресурсов в комбинированных кормах для животноводства и птицеводства.

Обзор исследований в области извлечение и применение экстрактивных биологически активных веществ из лесных ресурсов в комбинированных кормах

Значение лесных ресурсов для кормопроизводства может быть охарактеризовано большим количеством содержащихся в них питательных и биологически активных веществ. Общие валовые ресурсы питательных и биологически активных веществ в древесной зелени, образующейся при рубках леса, огромны. Они содержат более 1,5 млн. т протеина, около 5,2 млн. т БЭВ, почти 0,8 млн. т макро-и микроэлементов, более 0,9 млн. т жиров.

К числу основных лесообразующих пород России и широко используемых в промышленных целях относятся Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) семейства березовых (*Betulaceae*). В результате окорки березовой древесины накапливается огромные количества бересты, которая не находит квалифицированного применения. На крупных ЦБП и деревообрабатывающих предприятиях в результате окорки березовой древесины ежегодно скапливается до 300 тыс. м³ коры. Вопрос использования такого громадного количества березовой коры превращается в актуальную и серьезную проблему. Кора берёзы содержит в своём составе до 40 % экстрактивных, поэтому ее переработка с получением биологически активных веществ (БАВ) – бетулина является наиболее рациональным направлением утилизации. Основными преимуществами, выделяющими экстракты коры берёзы среди других подобных продуктов, являются доступная сырьевая база, высокое содержание экстрактивных вещества в исходном сырье и технологичность методов получения целевого продукта [5].

Основным компонентом (около 30 % по массе) экстрактивных веществ коры березы является бетулин, который относится к тритерпеноидам ряда лупана. На его основе синтезируют перспективные фармацевтические препараты и формируют пищевые биологические активные добавки оздоравливающего и профилактического действия.

В настоящее время на основе экстрактивных веществ коры берёзы получены вещества, обладающие гепатопротекторным, антиоксидантным, противовоспалительным, гипохолестерин-немическим, иммуномодуляторным, противоопухолевыми и противовирусными свойствами. Это обуславливает возможность их использования в качестве лечебного средства и ценного природного источника в составе комбикормов для сельскохозяйственных животных как в нативном состоянии, так и в виде продуктов химической переработки.

Так, в работе Фархутдинова С. М. отмечен положительный эффект от использования экстракта бетулина при выращивании цыплят-бройлеров [6]. Включение бетулина в объеме 0,25 % в состав комбикорма способствовало повышению живой массы цыплят на 3,25 % и сохранности поголовья на 2,8 % по сравнению с контрольной группой. При этом достигнуто снижение затрат корма на 1 кг прироста на 4,02 %. Отмечено так же улучшение органолептических показателей вареного, жареного мяса и прозрачности бульона и повышение мясных качеств товарной продукции. В результате проведенных производственных исследований доказана эффективность включения экстракта бетулина в рацион цыплят-бройлеров, а именно достигнуто снижение себестоимости 1 кг мяса и увеличение уровня рентабельности производства на 1,56 %.

Эффективность применения бетулина для повышения иммунитета цыплят-бройлеров в производственных условиях отражена и в работе [7]. Авторами исследовалось влияние бетулина на клеточный и гуморальный иммунитет при вакцинациях против вирусов Ньюкаслской болезни и инфекционного бронхита кур. Бетулин вводили в качестве кормовой добавки из расчёта 120 мг/кг живой массы цыплят в возрасте 1 - 14 дней. Отмечается, что применение бетулина способствовало лучшему усвоению и перевариванию корма, положительно влияло на показатели неспецифической резистентности

и обмена веществ, увеличивало на 25-27 % количество иммунной птицы в ответ на введение вакцин. Существенное снижение поствакцинальных осложнений увеличило сохранность цыплят-бройлеров на 3%. За счёт большей живой массы увеличился выход мяса цыплят опытной группы на 8,9 %, что, соответственно, сказалось на увеличении прибыли и рентабельности производства мяса бройлеров на 7,4 %.

Повышение сохранности и продуктивности птицы при введении в ее рацион муки из березовой коры отмечается в работе авторов Симонова Г.А., Зотеева В.С. и Симонова А.Г. [8]. Использование муки в количестве 1,5-3 % от массы комбикорма за полный период выращивания цыплят-бройлеров способствовало увеличению мясной продуктивности на 3,7 и на 3 % сохранности поголовья.

Симоновым Г. А. так же изучено влияние введения коры березы в рацион свиноматок на их молочную продуктивность и на развитие поросят-сосунов до 2-месячного возраста [9]. Автором отмечается, что замена зерновой части в полнорационных комбикормах лактирующих свиноматок на муку из березовой коры в количестве 4 % обеспечивает повышение их молочной продуктивности на 9,5 %. При этом достигается высокая сохранность поросят-сосунов и увеличение абсолютного прироста живой массы молодняка при отъеме. Аналогичные данные получены при исследованиях влияния коры березы в рационах телят на дорастивании [10]. Результаты кормовых испытаний показали, что замена 20 % грубого корма в рационах телят на кору березы позволило увеличить их среднесуточные приросты живой массы на 5,6 %.

Вышеперечисленные исследования свидетельствуют об эффективности использования измельченной березовой коры и ее экстрактов в животноводстве для профилактики и лечения болезней молодняка, увеличения мясной продуктивности и получения экологически безопасной продукции.

По запасам древесины и коры второе место по России после березы занимает осина, количество которой составляет 1,6 млрд. м³. Древесина осины в сравнении с другими породами обладает приоритетными для кормовых целей свойствами – повышенной переваримостью и возможностью применения (без особой обработки) в качестве добавки грубого корма. Биологическая и питательная ценность коры осины, которая богата ароматическими и жирными кислотами, дубильными веществами, углеводами (рафиноза, фруктоза) и фенолгликозидами, привлекает внимание ученых и работников животноводства. В коре содержится много клетчатки, протеинов и микроэлементов (кальций, фосфор, калий, магний, железо, цинк и др.). Особый интерес представляют липиды осинового коры, в составе которых найдены: фосфатиды, провитамин А (β-каротин, α-каротин, лютеин, ксантофилы), витамин Е (α-токоферол и другие токоферолы и токотриенолы), провитамин Д (β-ситостерин, кампестерин и другие фитостерины), витамин К, производные хлорофилла, витамин F (полиненасыщенные жирные кислоты и их эфиры).

Наибольший интерес представляют биологически активные вещества, принадлежащие к классу гликозидов, а именно фенольные гликозиды, в частности салицин и его производные [11]. Природный салицин в отличие от синтетического, не оказывает раздражающего действия на желудочно-кишечный тракт. Многочисленные исследования подтвердили высокую биологическую активность компонентов коры осины и возможность их использования в лечебной и профилактической медицине, а также в сельском хозяйстве для подкормки животных и птиц.

Так, в Санкт-Петербургской лесотехнической академии разработана технология получения из коры осины витаминного концентрата (осинового жира), содержащего большое количество биологически активных веществ: хлорофилл, каротиноиды (до 0,18 мг/100 г), витамин Е (6-7 мг/100 г), непредельные жирные кислоты (62-66 %); фитостерины (3,0-3,5 %), в том числе 8-ситостерин и другие вещества. По данным И.А. Болотникова, применение осинового жира в рационах цыплят из расчета 0,02-0,2 г на 100 г корма в рационе кур способствовало увеличению их прироста и яйценоскости [4].

В.А. Берестов испытывал осинового жир на норках и кроликах. Концентрат добавляли в кормовую смесь в масляном растворе (1:5) в дозе 0,1 г на 1 кг живой массы в течение 4,5 мес. Подкормки осинового концентратом стимулировали у норок процессы кроветворения: за экспериментальный период число эритроцитов возросло на 61 %, а концентрация гемоглобина на 39 % по сравнению с исходным уровнем. Включение витаминного концентрата в рацион молодняка кроликов в дозе 0,05 г на 1 кг живой массы способствовало увеличению их среднесуточного прироста, что является одним из резервов повышения экономической эффективности кролиководческих хозяйств.

Возможность применения клеточного сока осины как источника биологически активных веществ в составе комбикорма для цыплят-бройлеров рассмотрена в работе [12]. Введение в рацион цыплятам-

бройлерам клеточного сока осины в количестве 1,5 % способствовало лучшему перевариванию питательных веществ, благоприятно воздействовало на морфологические и биохимические показатели крови, что улучшало окислительно-восстановительные процессы в организме.

Особого внимания заслуживают кормовые добавки из древесной зелени хвойных пород, содержащие в своем составе большое количество биологически активных соединений, витаминов, микро- и макроэлементов. Одним из препаратов, разработанных на основе древесной зелени хвойных пород является Абисиб – водный экстракт пихты сибирской [13]. Проведенные исследования показали, что применение указанного препарата в рационе цыплят-бройлеров способствует повышению сохранности поголовья на 6,5 %, увеличению среднесуточного прироста цыплят на 13,2 % и снижению падежа на 39,7 %, а продуктивность птицы повышается на 16 % [14].

Применение хлорофилло-каротиновой пасты в качестве подкормки скота улучшает использование животными других кормов, повышает аппетит, способствует борьбе с желудочно-кишечными и кожными заболеваниями ягнят и телят. Добавка пасты в рацион кур увеличивает яйценоскость на 1-4 %, в 6 раз содержание каротина в яйце и выводимость цыплят на 16 % [15].

Ветеринарный препарат Флорабис, представляющий собой сумму кислот пихты в виде металлокомплекса с ионами кобальта, используется для защиты животных от вирусных и бактериальных инфекций, при гипокобальтозах животных. Доказана эффективность применения препарата Флорабис для лечения маститов у коров [13].

Еще одним препаратом, получаемым с помощью обработки измельченной древесной зелени пихты водными растворами оснований, является кормовая добавка ВЭРВА. Эффективность применения этой кормовой добавки доказана для дойных коров, у которых отмечено увеличении удоев молока натуральной жирности на 2 л [16].

Для японских перепелов добавка в рацион препарата способствовала повышению приростов живой массы птицы на 6-ю неделю выращивания на 6,2 % и содействовало более раннему началу периода яйценоскости [17].

Целесообразность ВЭРВА доказана и в свиноводстве. В работе [18] проводились кормовые испытания путем введения в основной рацион лактирующим свиноматкам биологически активной кормовой добавки ежедневно в дозе 3,0 мл. Авторами отмечается, что добавление ВЭРВА положительно влияет на белковый, углеводный и минеральный обмены веществ, детоксикационную функцию печени и иммунологический статус организма свиноматок. Применение ВЭРВА для поросят в дозе 1,0 г на голову в сутки в первые 30 дней периода дорастивания способствует усилению ускорению метаболических процессов организма, повышает неспецифическую резистентность, что в свою очередь приводит к более интенсивному росту и развитию животных и увеличению живой массы [19].

Высокая биологическая активность соединений древесины и коры лиственницы также определяет перспективность их применения в ветеринарной и животноводческой практике [20].

Хвоя лиственницы содержит эфирное масло (0,18-0,20 %), в состав которого входят α -пинен, борнеол и борнилацетат, аскорбиновая кислота (0,2 %) и клеящие вещества. В коре и в самой древесине лиственницы содержится большое количество биологически активных веществ: гликозид кониферин, камедь, катехины, флаваноиды (дигрокверцетин, арабиногалактан, таксифолина), антоцианы, органические кислоты, смолы. Значительную ценность представляют также конденсированные танины, пектиновые и дубильные вещества коры лиственницы.

Эффективность применения водного экстракта лиственницы сибирской для коррекции клинического статуса молодняка крупного рогатого скота отражена в работе [21]. Добавление экстракта способствует интенсификации роста и развития телят, обеспечивает формирование пассивного иммунитета, ускоряет процесс становления пищеварительного статуса и снижает уровень заболеваемости молодняка.

В работе [22] представлены результаты исследований по повышению продуктивности телят и поросят-отъемышей в молочный период при введении в состав рациона биологически активного препарата из лиственницы сибирской и лиственницы Гмелина. Телятам добавку выпаивали в количестве 100-200 мл с концентрацией сухих веществ 5-10 % (из расчета 6-20 г сухого вещества экстракта на 1 голову) 1-2 раза в сутки в течение 30 дней. Поросятам добавку вводили с комбикормом в сухом виде 1 раз в сутки в течение 30 дней из расчета 5 г на одну голову. Одними из самых перспективных биологически активных веществ, входящий в состав лиственницы являются флаваноид арабиногалактан (АГ) и дигидрокверцетин (ДКВ). Арабиногалактан из лиственницы обладает свойствами пребиотика, поддерживает в желудочно-кишечном тракте животных уровень бифидобактерий и лактобацилл. Он

безопасен в высоких дозировках для любого возраста животного, хорошо переносится животными и обеспечивает рост полезной микрофлоры. Благодаря этому улучшается энергетический статус животных, повышается иммунитет, снижаются заболеваемость, воспаления и аллергические реакции [23]. Особенно эффективно применение АГ при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных. Добавка положительно влияет на обмен веществ, повышает продуктивность и активизирует неспецифическую резистентность телят в период молочного питания, растущих и откармливаемых бычков.

В работах [24, 25] отмечается, что добавление арабиногалактана в прикорм бычков холмогорской породы способствует повышению их продуктивности и приросту живой массы по сравнению с контрольной группой. При суточной дозе 10 г/голову на протяжении одного месяца повышение живой массы телят в период молочного питания составило 8,1 % [26].

Дигидрокверцетин является мощным природным капиллярпротектором и антиоксидантом, оказывающим стимулирующее действие на формирование защитных сил организма, значительно повышает обменные процессы и способствует более полному усвоению питательных веществ кормов. Дигидрокверцетин особенно необходим в животноводстве на территориях, подверженных загрязнению или техногенным последствиям. Установлено, что он положительно влияет на физиолого-биохимические показатели организма телят в раннем постнатальном онтогенезе, приводя к увеличению концентрации общего белка и его фракций в крови опытных телят в молозивный период – на 4,7 %, в молочный – на 5,8%, в период перехода на общий рацион кормления – на 6-7 % [27].

На основе дигидрокверцетина разработаны кормовые добавки: «Экостимул-1» и «Экостимул-2», которые предназначены для повышения продуктивности и сохранности сельскохозяйственных животных, в том числе птицы [28]. Эффективность применения указанных кормовых добавок была изучена в молочном скотоводстве, кролиководстве и звероводстве, свиноводстве, птицеводстве и пчеловодстве.

Так, применение «Экостимул-1» в питании коров при разведении их в Брянской области на загрязненной радионуклидами территории, позволило повысить неспецифическую резистентность организма, снизить содержание ^{137}Cs в молоке в 1,45 раз и повысить среднесуточный удой на 2,5 л при одновременном повышении содержания жира в молоке. Это позволило получить нормативное по экологической безопасности молоко и чистый доход от реализации дополнительного надоя молока в размере 130,9 % по отношению к контрольной группе. Применение препарата «Экостимул-1» при выращивании телят в молочный период в условиях загрязнения среды радионуклидами и тяжелыми металлами позволило сократить степень резорбции из кишечника радионуклидов. В исследовании отмечается, что добавление «Экостимул-2» при выпойке телят их среднесуточный прирост увеличился на 100 г.

В свиноводстве применение «Экостимул-1», «Экостимул-2» и арабиногалактана способствовало увеличению живой массы, а показатели качества туши и свинины значительно превосходили контрольные [29]. Эффективно применение препаратов «Экостимул-2» и арабиногалактана и при выращивании кур-несушек. Проведенные кормовые испытания показали, что на 2,71 % возростала средняя масса яйца и на 1,37 % яйценоскость птицы. Высокая эффективность применения «Экостимул-2» была получена и в пчеловодстве, где отмечалась высокая плодовитость маток, положительно коррелирующаяся с медопродуктивностью пчелиных семей.

На основе арабиногалактана и дигидрокверцетина разработано большое количество биологически активных добавок к кормам для животных, обеспечивающих высокую биодоступность активных компонентов в организме животных, которая отражается в нормализации обмена веществ, получении здорового приплода и повышении продуктивности животных и птиц.

Проведенный обзор научных исследований показал, что применение биологически активных веществ из лесных ресурсов в комбинированных кормах является перспективным направлением развития и повышения эффективности животноводства с позиции повышения продуктивности и воспроизводительной функции животных, профилактики инфекционных заболеваний и получения продукции высокого качества.

Заключение

Большое разнообразие лесных ресурсов, значительное количество образующихся отходов, содержащих многочисленные биологически активные вещества, создают благоприятные предпосылки для получения из них кормовых продуктов и добавок различного назначения.

Исследования отечественных ученых свидетельствуют об эффективности использования измельченной березовой коры и ее экстрактов (бетулина) в животноводстве для повышения иммунитета молодняка, увеличения мясной продуктивности и получения экологически безопасной продукции. Высокая биологическую активность витаминного концентрата из коры осины (осинового жира) обуславливает возможность его использования в птицеводстве, что способствует увеличению прироста живой массы и яйценоскости. Применение клеточного сока осины как источника биологически активных веществ в составе комбикорма для цыплят-бройлеров благоприятно воздействует на морфологические и биохимические показатели крови, что улучшает окислительно-восстановительные процессы в организме птиц. Введение в рацион эмульсионного экстракта древесной зелени пихты в свиноводстве способствует ускорению метаболических процессов организма, более интенсивному росту и развитию животных. Добавка экстракта зелени пихты в рацион цыплят-бройлеров способствует повышению сохранности поголовья, увеличению среднесуточного прироста цыплят и снижению падежа. Исследованиями доказана и эффективность применения водного экстракта лиственницы сибирской для коррекции клинического статуса молодняка крупного рогатого скота. Многочисленные препараты на основе флаваноидов арабиногалактана и дигидрокверцетина, экстрагированных из древесины лиственницы, положительно влияют на обмен веществ, обеспечивают высокую биодоступность активных компонентов в организме, эффективно стимулируют продуктивные показатели, повышают продуктивность и сохранности сельскохозяйственных животных.

С этих позиций экстрактивные биологически активные добавки из лесных ресурсов следует рассматривать как часть рационального потенциала животноводства и птицеводства для поддержания здоровья животных и получения экологически чистой продукции высокого качества.

Из вышеизложенного следует, что разработка способов и методов получения биологически активных веществ из продуктов глубокой переработки древесины, направленных на повышение экономической эффективности сельскохозяйственного производства, представляет собой перспективное научное направление и, несомненно, является актуальным.

Литература

1. Использование кормовых ресурсов леса в животноводстве: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2011. 52 с.
2. Текутьева Л.А., Сон О.М., Подволоцкая А.Б., Яценко А.С. Источники кормового белка в России //Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. №7. С. 55-59.
3. Алиев Р.Г., Павлова Е.А., Терентьева Э.П., Удовенко Н.К. Комплексная химическая переработка древесины: учебное пособие. – СПб.: СПбГТУРП. 2012. 74 с.
4. Грязькин А.В., Потокин А.Ф. Недревесная продукция леса: учебное пособие. - СПб.: СПбГЛТА, 2005. 152 с.
5. Сафин Р.Г., Арсланова Г.Р., Габидуллин А.М., Хайрутдинова А.Р., Сайфутдинов Д.М. Комплексная переработка древесной зелени / Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVI Международной научно-технической конференции, Вологда. 2019. С. 232-233.
6. Фархутдинов С. М. Продуктивные и экстерьерные особенности цыплят-бройлеров при использовании экстракта бетулин / 06.02.10 - частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства / Автореферат дисс. к.с-х.н. / - Уфа. 2013.
7. Задорожная М.В., Лыско С.Б., Красиков А.П. Применение бетулина для повышения иммунитета цыплят-бройлеров в производственных условиях // Птица и птицепродукты. №4. 2012. С. 43-45.
8. Симонов Г.А., Зотеев В.С., Симонов А.Г. Кора березы в рационе повышает продуктивность цыплят-бройлеров // Эффективное животноводство. 2015. № 3-4 (113). С. 42-43.
9. Сафина А.В., Арсланова Г.Р., Тимербаева А.Л., Зиятдинова Д.Ф. Анализ современного состояния технологий процесса экстракции биологически активных веществ из осины и ивы / Деревообрабатывающая промышленность. 2019. №4. С. 51-62.
10. Рябина Л.А. Эффективность использования клеточного сока осины в кормлении цыплят-бройлеров: дисс.канд. с-х. наук: 06.02.08 / Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т. 2012. 109 с.
11. Шемуранова Н.А., Филатов А.В., Сапожников А.Ф. Продуктивность поросят разных генотипов в период дорастивания при применении им эмульсионного экстракта древесной зелени пихты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/viewer>
12. Костеша Н. Я., Стрелис А.К., Лукьяненко П.И. Экстракт пихты сибирской АБИСИБ и его

применение в медицине и ветеринарии. - Томск: Scientific and Technical Translations. 2005. Т. 2. 140 с.

13. Карпова Е.М., Мазина Н.К., Цапков П.И. Антиоксидантные и энергопротекторные свойства полипrenoлов из хвои пихты при моделировании факторов экологического неблагополучия/ Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 1 (6). С. 1282-1286.

14. Филатов А.В., Сапожников А.Ф., Хуршайнен Т.В. Применение жидкой кормовой добавки ВЭРВА при выращивании японских перепелов / Евразийский Союз Ученых. 2014. № 4. С. 36-39.

15. Кубасов О.С., Филатов А.В. Эффективность применения биологически активной добавки вэрга лактирующим свиноматкам. /Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 2. С. 134-137.

16. Филатов А.В., Кубасов О.С., Хуршайнен Т.В. Воспроизводительные качества свиноматок при скармливании им жидкой кормовой добавки ВЭРВА / Свиноводство. 2014. № 7. С. 39-43.

17. Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Трофимова Н.Н. Биомасса лиственницы: от химического состава до инновационных продуктов / Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2011. 236 с.

18. Кушеев Ч.Б., Бабкин В.А., Олейников Н.А., Ломбоева С.С., Медведева Е.Н., Доржиев Б.И. Применение водного экстракта лиственницы сибирской для коррекции клинического статуса молодняка крупного рогатого скота / Достижения науки и техники АПК. 2013. №9. С. 59-61.

19. Способ повышения продуктивности молодняка сельскохозяйственных животных: пат. № 2600698 Рос. Федерация: С1 МПК А23К 10/32 А23К 50/10 А23К 50/30 Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Кушеев Ч.Б., Неверова Н.А., Малков Ю.А., Ломбоева С.С., Олейников Н.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук. - № 0002600698, заявл. 23.07.2015., опубл. 27.10.2016.

20. Фомичев Ю.П., Никанова Л.А., Дорожкин В.И., Торшков А.А., Романенко А.А., Еськов Е.К., Семенова А.А. и др. Дигидрокверцетин и арабиногалактан – природные биорегуляторы в жизнедеятельности человека и животных, применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. – М.: «Научная библиотека». 2017. 702 с.

21. Галочкин В.А., Галочкина В.П., Максименко С.В. Неспецифическая резистентность и мясная продуктивность у бычков при введении в рацион арабиногалактанов / Сельскохозяйственная биология. Серия: Биология растений. Серия: Биология животных. 2008. №4. С. 89-95.

22. Максименко С.В. Влияние арабиногалактана на продуктивность и неспецифическую резистентность телят / Проблемы биологии продуктивных животных. 2008. №1. С. 82-86.

23. Максименко С.В. Обмен веществ, неспецифическая резистентность и продуктивность молодняка крупного рогатого скота при введении в рацион арабиногалактана и пропиленгликоля / 03.00.13 – физиология / Автореферат дисс. к.б.н. / - Боровск, 2008.

24. Колесников А.В. Влияние дигидрокверцетина на концентрацию общего белка и его фракций в крови телят в раннем постнатальном онтогенезе / Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. №1. С. 12-14.

25. Фомичев Ю.П., Никанова Л.А., Нетеча З.А., Клейменов Р.В., Лашин С.А. Биопротекторное действие дигидрокверцетина и арабиногалактана в ослаблении экстремальных эффектов среды на организм животных / Ветеринария и кормление. 2011. №4. С. 30-32.

26. Фомичев Ю.П., Никанова Л.А., Клейменов Р.В., Нетеча З.А. Применение дигидрокверцетина и арабиногалактана при выращивании поросят / Ветеринарная медицина. 2010. №5-6. С. 30-32.

©Сафина А.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: alb_saf@mail.ru; Гизатуллина Л.И. – учебный мастер кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: irekovna.lilya@yandex.ru; Сафин Р.Г. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: safin@kstu.ru; Зиятдинова Д.Ф. – д-р техн. наук, профессор кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: ziatdinova2804@gmail.com; Зиятдинов Р.Р. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: radis226@rambler.ru.

UDC 630*161*8

USE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM FOREST RESOURCES IN COMBINED FEEDS

A.V. Safina, L.I. Gizatullina, R.G. Safin, D.F. Siatdinova, R.R. Siatdinov

The paper provides an overview of research and development on the extraction and use of biologically active substances (BAS) from forest resources in combined feeds. Various BASs contained in both hardwood and coniferous wood have been studied and existing feed additives based on them have been examined. An analysis of the lessons learned to study the properties of biologically active substances from forest resources, which contribute to the productivity and safety of animal health, as well as the receipt of environmentally friendly products.

Keywords: forest resources, extraction, biologically active substances, combined feed.

References

1. [Use of forest forage resources in animal husbandry] nauchnyj analiticheskij obzor [scientific analysis review]. - M.: FSBSI "of Rosinformagrotekh". 2011. 52 p. (InRuss).
2. Tekuteva L. A., Son O.M., Podvolockaya A.B., Yashchenko A.S. [Sources of feed protein in Russia] Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya [Storage and processing of agricultural raw materials] 2015. No.7. pp. 55-59. (InRuss).
3. Aliev R.G., Pavlova E.A., Terentyeva E.P., Udovenko N.K. [Complex chemical processing of wood] uchebnoe posobie [textbook]. - SPb.: SPbGTURP. - 2012. - 74 p. (InRuss).
4. Gryazkin A.V., Potokin A. F. [Non-wood forest products] uchebnoe posobie [textbook]. - SPb.: SPbGLTA, - 2005. - 152 p. (InRuss).
5. Safin R. G., Arslanova G. R., Gabidullin A.M., Khairutdinova A. R., Sayfutdinov D. M. [Complex processing of wood greenery] Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy XVI Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Actual problems of forest complex development: materials of the XVI International scientific and technical conference] Vologda. - 2019. - 232-233 p. (InRuss).
6. Farkhutdinov C. M. [Productive and exterior features of broiler chickens when using betulin extract] 06.02.10 - chastnaya zootekhniya, tekhnologiya proizvodstva produktov zhivotnovodstva / Avtoreferat diss. k.s-kh.n. [Productive and exterior features of broiler chickens when using betulin extract / 06.02.10-private zootechnics, technology of production of animal products / abstract Diss. candidate of agricultural sciences] - Ufa. - 2013. (InRuss).
7. Zadorozhnaya M. V., Lysko S. B., Krasikov A. P. [The use of betulin to increase the immunity of broiler chickens in production conditions] Pticza i pticze produkty [Poultry and poultry products] 2012. No.4. pp. 43-45. (InRuss).
8. Simonov G. A., Zoteev V. S., Simonov A. G. [Bark of birch in the diet increases the productivity of broiler chickens] E'ffektivnoe zhivotnovodstvo [Effective animal husbandry] 2015. No. 3-4 (113). pp. 42-43. (InRuss).
9. Simonov G. A. [Birch Bark in the diet of lactating sows] [Mixed fodder] 2012. No.3. pp. 67-68. (InRuss).
10. Simonov G., Gurevich V., Zoteev V. [Birch bark in the diets of calves for rearing] Kombikorma [Mixed fodder] 2014. No. 10. pp. 104-105. (InRuss).
11. Safina A.V., Arslanova G. R., Timerbaeva A. L., Ziatdinova D. F. [Analysis of the current state of technologies for the extraction of biologically active substances from aspen and willow] Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost [Woodworking industry] 2019. No.4. pp. 51-62. (InRuss).
12. Ryabinina L. A. [The effectiveness of using aspen cell juice in feeding broiler chickens] 06.02.08 /diss.kand. s-kh. nauk [06.02.08 /diss. cand. s-h. sciences]: Krasnoyarsk. 2012. 109 p. (InRuss).
13. Shemuranova N. A., Filatov A. V., Sapozhnikov A. F. [The productivity of pigs of different genotypes during the period of rearing with the use of the emulsion of the extract of the wood green fir] E'lektronnyj resurs [Electronic resource]. - Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/viewer>
14. Kotesha N. Ya., Strelis A. K., Lukyanenok P. I. [Siberian FIR extract ABISIB and its application in medicine and veterinary medicine] - Tomsk: Scientific and Technical Translations. 2005. Vol. 2. 140 p. (InRuss).
15. Karpova E.M., Mazina N.K., Tsapok P.I. [Antioxidant and energy-protective properties of polyphenols from fir needles in modeling environmental factors] Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences] 2009. Vol. 11.

No. 1(6). pp. 1282-1286. (InRuss).

17. Filatov A.V., Sapozhnikov A.F., Hhushkainen T.V. [Application of liquid feed additives of VERVE in growing Japanese quail] *Evrazijskij Soyuz Ucheny'kh* [Eurasian Union Of Scientists] 2014. No.4. pp. 36-39. (InRuss).

18. Kubasov O. S., Filatov A.V. [Effectiveness of the use of a biologically active additive verva to lactating sows] *Voprosy' normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* [Issues of legal regulation in veterinary medicine] 2015. No.2. P. 134-137. (InRuss).

19. Filatov A.V., Kubasov O. S., khurshkainen T. V. [Reproductive qualities of sows when feeding them a liquid feed additive VERVA] *Svinovodstvo* [Pig breeding] 2014. No.7. pp. 39-43. (InRuss).

20. Babkin B. A., Ostroukhova L. A., Trofimova N. N. [larch Biomass: from chemical composition to innovative products] Novosibirsk: publishing house of SB RAS. 2011. 236 p. (InRuss).

21. Kusheev CH. b., Babkin V. A., Oleynikov N. A., Lomboeva S. S., Medvedeva E. N., Dorzhiev B. I. [Application of water extract of Siberian larch for correction of the clinical status of young cattle] *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology in agriculture] 2013. No.9. pp. 59-61. (InRuss).

22. Method for increasing the productivity of young farm animals: Pat. no. 2600698 Rus. Federation: C1 IPC A23K A23K A23K 10/32 50/30 50/10 Medvedev E. N., Babkin V. A., Kuchaev C. B., Neverova N. A. Malkov, Y. A., Lomaeva S. S., Oleynikov N. And.; applicant and patentee Federal state budgetary institution of science Irkutsk Institute of chemistry. A. E. Favorsky Siberian branch of the Russian Academy of Sciences. - No. 0002600698, declared 23. 07.2015., published 27.10.2016. (InRuss).

23. Fomichev Yu. P., Nikanova L. A., Dorozhkin V. I., Torshkov A. A., Romanenko A. A., Eskov E. K., Semenova A. A. at al. [Dihydroquercetin and arabinogalactan – natural bioregulators in human and animal life, application in agriculture and food industry] – M.: «Scientific library». 2017. 702 p. (InRuss).

24. Galochkin V. A., Galochkina V. P., Maksimenko S. V. [Non-specific resistance and meat productivity in bulls when introducing arabinogalactans into the diet] *Sel'skokhozyajstvennaya biologiya. Seriya: Biologiya rastenij. Seriya: Biologiya zhivotny'kh* [Agricultural biology. Series: plant Biology. Series: animal Biology] 2008. No. 4. pp. 89-95. (InRuss).

25. Maksimenko S. V. [Influence of arabinogalactan on productivity and non-specific resistance of calves] *Problemy' biologii produktivny'kh zhivotny'kh* [Problems of biology of productive animals] 2008. No. 1. pp. 82-86. (InRuss).

26. Maksimenko S. V. [Metabolism, non – specific resistance and productivity of young cattle when introducing arabinogalactan and propylene glycol into the diet] 03.00.13 – fiziologiya / avtoreferat diss. k.b.n. [03.00.13 - physiology / abstract Diss. K.b. n.] – Borovsk. 2008. (InRuss).

27. Kolesnikov A.V. [Influence of dihydroquercetin on the concentration of total protein and its fractions in the blood of calves in early postnatal ontogenesis] *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii* [Proceedings of the Samara state agricultural Academy] 2013. No. 1. pp. 12-14. (InRuss).

28. Fomichev Yu. P., Nikanova L.A., Netecha Z.A., Kleymenov R.V., Lashin S.A. [Bioprotective effect of dihydroquercetin and arabinogalactan in reducing the extreme effects of the environment on the animal body] *Veterinariya i kormlenie* [Veterinary medicine and feeding] 2011. No. 4. pp. 30-32. (InRuss).

29. Fomichev Yu.P., Nikanova L.A., Kleymenov R.V., Netecha Z.A. [Application of dihydroquercetin and arabinogalactan in piglet rearing] *Veterinarnaya mediczina* [Veterinary medicine] 2010. No. 5-6. pp. 30-32. (InRuss).

© **Safina A. V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: alb_saf@mail.ru; **Gizatullina L.I.** – training master of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, email: irekovna.lilya@yandex.ru; **Safin R.G.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Department of Wood Materials Processing, KNRTU, email: safin@kstu.ru; **Ziatdinova D. F.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Department of Wood Materials Processing, KNRTU, email: ziatdinova2804@gmail.com; **Siatdinov R.R.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, email: radis226@rambler.ru.

УДК 66.094.940

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГИДРОЛИЗА СОСНОВОГО ОПИЛА СЕРНИСТОЙ КИСЛОТОЙ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫХОДА РЕДУЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Г.Ф. Илалова, К.В. Саерова, Р.Р. Сафин, Ш.Р. Мухаметзянов, А.Х. Сафиуллина

На сегодняшний день Российская Федерация является мировым лидером по запасам лесных ресурсов, но она отстает по производству конкурентных товаров на основе продуктов глубокой переработки леса, это связано с тем, что отходы лесозаготовок используются не в полной мере, в основном в целлюлозно-бумажной и лесной промышленности, а также нехваткой навыков и технологий по переработке древесной биомассы. В статье описывается технология высокотемпературного гидролиза соснового опила сернистой кислотой с целью выявления в гидролизном остатке редуцирующих веществ (РВ). Исследовано влияние сернистой кислоты, температуры и длительности обработки на выход РВ.

Ключевые слова: гидролиз, редуцирующие вещества, концентрация, сернистая кислота, отходы древесины.

Введение

На сегодняшний день в России на лесозаготовительных и деревообрабатывающих производствах образуется большое количество отходов. Так часть из них сжигается, а часть вывозится на отвалы. Однако приведенные виды утилизации отходов оказывают негативное влияние на окружающую среду. Озабоченность многих авторов по поводу проблемы утилизации отходов деревообрабатывающих производств привела к актуализации исследований эффективных способов переработки и использования отходов древесины [1-5].

Отходы деревообработки являются основным ресурсом лигноцеллюлозного сырья, которое кроме того является возобновляемым. Переработка отходов деревообработки является важной составляющей частью деревоперерабатывающей промышленности, ведь польза от древесины может быть не только до её обработки, но и после. Благодаря большому содержанию органических веществ в древесной биомассе, а именно целлюлозе, лигнину и гемицеллюлозе, которые входят в состав клеточных стенок, она полезна и может подвергаться дальнейшей обработке, например, её можно использовать или в качестве сырья для гидролиза, или для производства картона, древесноволокнистых плит и других ценных материалов [6-9].

Несмотря на большой спектр существующих способов переработки древесины в перспективные материалы (термическая обработка, пиролиз, гидролиз и пр.) [10-13], одним из наиболее эффективных способов является получение сахаров путем гидролиза слабыми кислотами. Гидролиз – взаимодействие веществ с водой. Гидролизу подвергаются разные классы неорганических и органических веществ [14]. Гидролиз можно проводить при высоких или низких температурах, с использованием различных кислот (соляная, фосфорная, серная).

О применении кислот для гидролиза растительного сырья известно довольно таки давно. Во многих исследованиях в качестве гидролизующего агента применялась серная кислота. В работе Валеевой Р.Т. и др. [15] произведены исследования по высокотемпературному гидролизу соломы серной кислотой. При варьировании температуры и концентрации серной кислоты было определено, что при концентрации серной кислоты 1 % и изменении температуры в пределах 150-190°C, максимум концентрации редуцирующих веществ достигается соответственно через 50-40 минут после начала процесса гидролиза, а при концентрации серной кислоты 3% через 20-10 минут соответственно. Кроме того, авторы изучили образование побочных продуктов в зависимости от давления и пришли к выводу, что наибольший рост давления приводит к ухудшению биологической доброкачественности гидролизата. Также с увеличением температуры и увеличением концентрации кислоты возрастал показатель pH, что говорит о расходе кислоты в процессе гидролиза. В результате, авторы сделали вывод, что предпочтительным является режим гидролиза соломы серной кислотой при 180°C и концентрации кислоты не менее 2%.

Гидролиз биомассы также проводили в лаборатории возобновляемой энергии при Институте преобразовании энергии Ганчжоу, Китай. Учёные W. Qi, X. Чжуан, Y. и др. [16] обнаружили, что когда серная кислота используется для гидролиза биомассы, помимо макрофакторов (температура реакции,

концентрация кислоты, время реакции и соотношение твердого к жидкому) скорость диффузии кислоты в частицу биомассы также является важным фактором, влияющим на гидролиз. В качестве исследуемого материала ими были взяты опилки сосновой древесины и предложена кинетическая модель распределения серной кислоты путем исследования диффузионных характеристик в гетерогенной фазе, состоящей из опилок и раствора кислоты. Сравнение расчетных результатов по модели с экспериментальными показало, что кинетическая модель позволяет удовлетворительно прогнозировать процесс диффузии серной кислоты в частицу опилок в процессе протекания реакции. На основе модели распределения учёные исследовали влияние микроструктуры частиц на концентрационное распределение серной кислоты.

Значительное количество отечественных исследований посвящены гидролизу сельскохозяйственного сырья: пшеничной соломы, кукурузных кочерыжек, свекловичного жома и т.п.. Предобработке и ферментативному гидролизу свекловичного жома и пшеничной соломы посвящена работа Хариной М.В., где описан полный процесс гидролиза. [17]. Проведенные исследования позволили сделать автору вывод, что предобработка свекловичного жома при концентрации сернистой кислоты 1%, температуре 190°C, в течение 10 минут и предобработке пшеничной соломы при температуре 200°C, концентрации кислоты 1,18 масс. в течение 15 минут позволили увеличить выход глюкозы при ферментативном гидролизе в 4,6 и 2,4 раза соответственно. Так же автором был изучен моносахаридный состав гидролизатов.

Однако в качестве сырья гидролизной промышленности могут служить и отходы лесопиления и деревообработки, а также и низкокачественная древесина [18-20]. Над гидролизом древесной биомассы работало большое количество зарубежных и отечественных исследователей. Так, учёные лаборатории утилизации лесных продуктов Миссисипского государственного университета исследовали быстрый паровой гидролиз древесной щепы и обнаружили, что лигнин, выделенный из твердого остатка, оказался особенно реакционным способным, а лигнин, собранный в конденсате пара, также был очень реактивным, по-видимому, из-за его быстрого охлаждения после удаления из реактора [19].

В настоящее время перспективным является применение сернистой кислоты в качестве гидролизующего агента, так как сернистая кислота позволяет сократить расход гидролизующего агента за счет его рекуперации, кроме того несомненным преимуществом применения сернистой кислоты является ее низкая коррозионная активность и простота последующей очистки полученных сахаров от кислоты.

Целью данного исследования, проводимого в лаборатории инженерных проблем биотехнологии ФГБОУ ВО «КНИТУ», является получение точных данных о влиянии температуры и концентрации кислоты на выход редуцирующих веществ для дальнейшей их переработки в полигидроксикарбонаты.

Методы и материалы

Благодаря хорошим свойствам при гидролизе сосна наиболее подходящая порода древесины. Поэтому для гидролиза в качестве сырья использовались древесные опилки сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris L.*) с фракцией до 2 мм и полученная лабораторным путём сернистая кислота.

Важным параметром при гидролизе является гидромодуль (отношение массы растительного сырья к массе или объёму водного раствора кислоты) [21]. В зависимости от величины гидромодуля значительно меняются выход сахара из сырья, его концентрация в гидролизате и расход кислоты. Экспериментальным путём был подобран гидромодуль 1:5,8.

Гидролиз в кислотной среде осуществлялся на гидролизере с тепловым аккумулятором, состоящим из шести герметичных нержавеющей капсул объемом 30 мл (рис. 1). Древесные опилки, предварительно взвешенные на аналитических весах, помещали в капсулы с помощью воронки, после чего доливали расчетные количества дистиллированной воды и раствора сернистой кислоты под тягой. Далее капсулы, содержащие объект исследования, одновременно помещали в гидролизер, предварительно нагретый до исследуемой температуры.

Гидролиз исследовался для одно- и двухступенчатого периодического процессов.

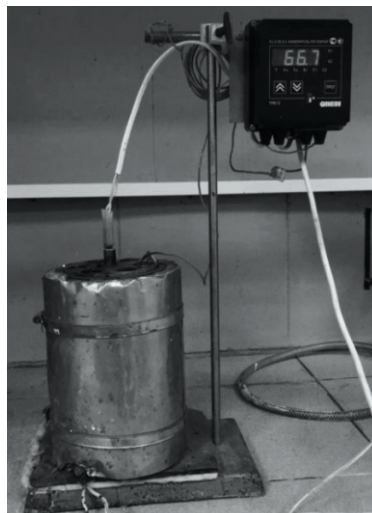


Рис. 1. Гидролизер капсульного типа с металлическим тепловым аккумулятором

Процесс одноступенчатого гидролиза происходил следующим образом: капсулы последовательно через определенный промежуток времени (20, 40, 60, 80, 100, 120 минут для температуры 160°C и 10, 20, 30, 40, 60, 90 минут для температуры 170°C) извлекались из гидролизующей установки с помощью специального захвата и охлаждались проточной водой. После гидролиза содержимое капсул разделяли процеживанием на жидкий и сухой остаток для дальнейшего определения содержания редуцирующих веществ.

Исследование двухступенчатого периодического процесса гидролиза древесных опилок происходил следующим образом: после анализа результатов одноступенчатого процесса рациональная продолжительность первой ступени двухступенчатого гидролиза. Далее проводили эксперимент, подготовительные процедуры и опыты которого для первой ступени были аналогичными одноступенчатому процессу и отличались лишь продолжительностью. После окончания первой ступени твердый остаток отделяли от гидролизата, высушивали и направляли на экспериментальные исследования второй ступени. Условия проведения второй ступени были аналогичными первой ступени, но был сокращен временной интервал между измерениями до 5 минут.

Количество редуцирующих веществ определяли с помощью метода Макэна-Шоорля, который заключается в использовании раствора фелинга с заданным содержанием меди и йодометрическом определении количества меди (II), неизрасходованной в процессе реакции. Отделенный сухой остаток помещался на термогравиметрический анализатор влажности AND MS-70 для определения содержания сухих веществ в гидролизной смеси (рис. 2).



Рис. 2. Термогравиметрический анализатор влажности AND MS-70

Результаты и обсуждение

Нами проводились эксперименты по гидролизу сосновых опилок в интервале температур 160-180°C и концентрации сернистой кислоты 4 % масс, в различном диапазоне времени.

Исследование кинетики гидролиза соснового опила при температуре 160°C, диапазоне времени 20-120 минут (каждые 20 минут происходило извлечение капсул) и концентрации сернистой кислоты 4 % масс показало, что наибольший выход редуцирующих веществ в гидролизном растворе наблюдался на 30 минуте, далее происходил спад, но на 80 минуте выход РВ снова начинал возрастать (рис. 3), это означает, что на промежутке времени 30-80 происходило разложение менее устойчивых веществ – моносахаридов.

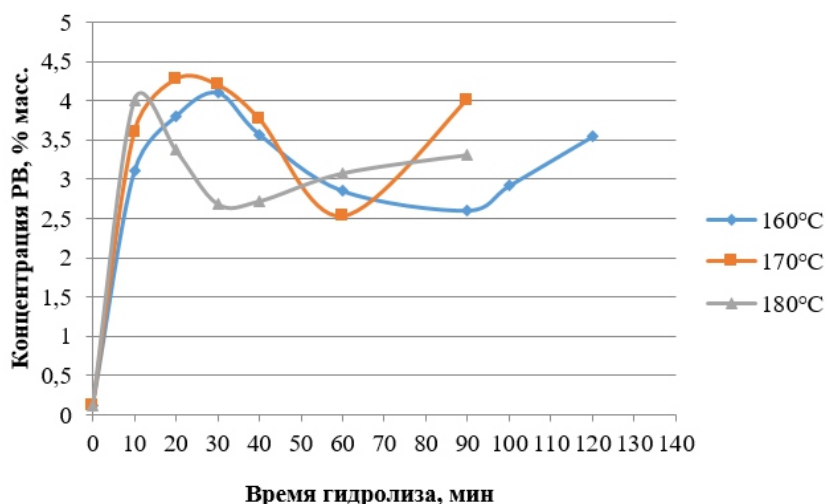


Рис. 3. Изменение концентрации редуцирующих веществ в процессе гидролиза при температурах 160 °С, 170 °С, 180 °С концентрации сернистой кислоты 4 %

С увеличением температуры до 170°C, сохранением концентрации сернистой кислоты 4 % масс и диапазоне времени 10-90 минут результаты эксперименты значительно изменились. Из рисунка 3 видно, что наибольшая концентрация РВ достигается при 20 минутах, затем график идёт на спад. На 60 минуте, так же как и в прошлом эксперименте, наблюдается второй этап разложения древесины.

Дальнейшее увеличение температуры до 180°C привело к тому, что в диапазоне времени 10-90 минут, наибольшая концентрация РВ наблюдалась при 10 минутах, а на 30 минуте происходил второй этап разложения.

Расчётные данные по гидролизу соснового опила, определённые путём титриметрического анализа (титрования), представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1 – Концентрация редуцирующих веществ (%) при 160 °С

Время	Контроль					сахар, мг	сахар, %
0	26,00	25,60	0,40	6,0705	2,4282	1,1905	0,1190
20	26,00	12,90	13,10	6,0705	79,5236	41,0505	4,1051
40	26,00	14,50	11,50	6,0705	69,8108	35,6972	3,5697
60	26,00	16,70	9,30	6,0705	56,4557	28,4900	2,8490
80	26,00	18,00	8,00	6,0705	48,5640	24,3130	2,4313
100	26,00	16,50	9,50	6,0705	57,6698	29,1380	2,9138
120	26,00	16,20	9,80	7,0705	69,2909	35,4133	3,5413

Таблица 2 – Концентрация редуцирующих веществ (%) при 170 °С

Время	Контроль					сахар, мг	сахар, %
0	26,00	25,60	0,40	6,0705	2,4282	1,1905	0,1190
10	26,00	13,80	12,20	6,0705	74,0601	38,0274	3,8027
20	26,00	13,00	13,00	6,0705	78,9165	40,7131	4,0713
30	26,00	12,30	13,70	6,0705	83,1659	43,0830	4,3083
40	26,00	13,90	12,10	6,0705	73,4531	37,6934	3,7693
60	26,00	17,70	8,30	6,0705	50,3852	25,2716	2,5272
90	26,00	15,00	11,00	7,0705	77,7755	40,0799	4,0080

Таблица 3 – Концентрация редуцирующих веществ (%) при 180 °С

Время	Контроль					сахар, мг	сахар, %
0	26,00	25,60	0,40	6,0705	2,4282	1,1905	0,1190
10	26,00	13,20	12,80	6,0705	77,7024	40,0394	4,0039
20	26,00	15,10	10,90	6,0705	66,1685	33,71342	3,3714
30	26,00	17,20	8,80	6,0705	53,4204	26,8763	2,6876
40	26,00	17,10	8,90	6,0705	54,0275	27,1984	2,7198
60	26,00	16,00	10,00	6,0705	60,7050	30,7642	3,0764
90	26,00	16,80	9,20	7,0705	65,0486	33,1071	3,3107

Исходя из таблицы 1-3, была определена наибольшая концентрация РВ в жидком остатке при температурах 160°С, 170°С, 180°С. Отсюда исследования двухступенчатого гидролиза проводили с сухим остатком полученным при 10, 20 и 30 минутах соответственно. В результате двухступенчатого гидролиза были получены графики, представленные на рисунках 4-6. Рисунок 4 отражает протекание первой ступени гидролиза. Видно, что при температуре 180°С процесс образования РВ начинается значительно быстрее, чем при 160°С и 170°С. Однако концентрация РВ при 180 °С снижается, что объясняется повышенной температурой и преждевременным разложением редуцирующих веществ.

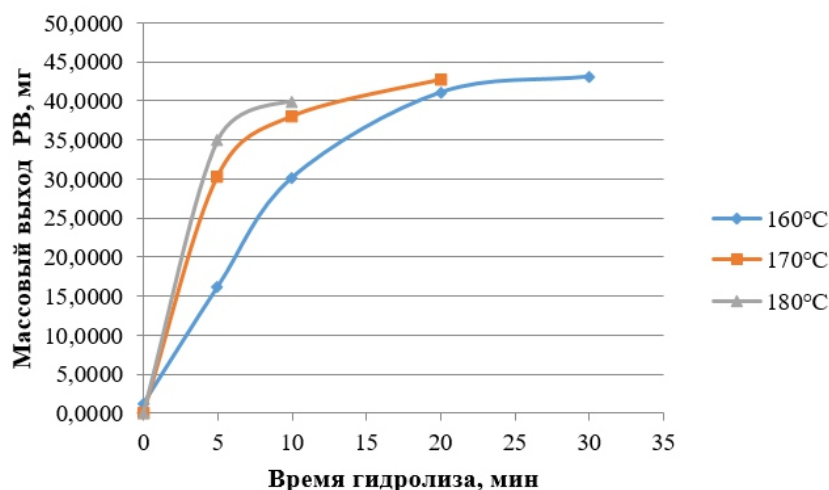


Рис. 4. Зависимость выхода редуцирующих веществ от продолжительности гидролиза сосновых опилок при температуре 160 °С, 170 °С, 180 °С, концентрации сернистой кислоты 4 % при первой ступени гидролиза

Вторая ступень гидролиза осуществляется при тех же температурах, однако, длительность гидролиза в отличие от первой ступени увеличилась (рис. 5). По данным графика, можно сделать вывод, что продолжительность гидролиза влияет меньше, чем температура обработки.

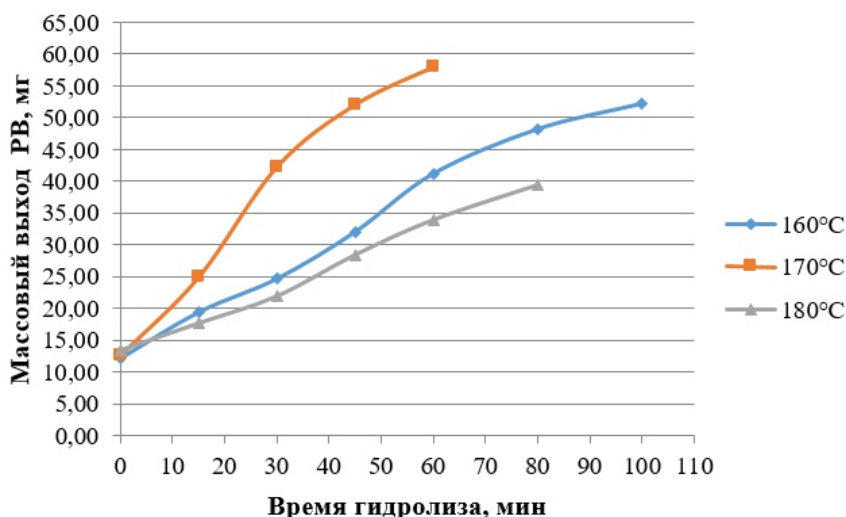


Рис. 5. Зависимость выхода редуцирующих веществ от продолжительности гидролиза сосновых опилок при температуре 160 °C, 170 °C, 180 °C, концентрации сернистой кислоты 4 % при второй ступени гидролиза

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований влияния температуры гидролиза на общий выход редуцирующих веществ из древесины осины показал, что наиболее рациональным режимом процесса является температура 170 °C (рис. 6), которая обеспечивает наибольший выход сахаров после 1 и 2 ступени гидролиза.

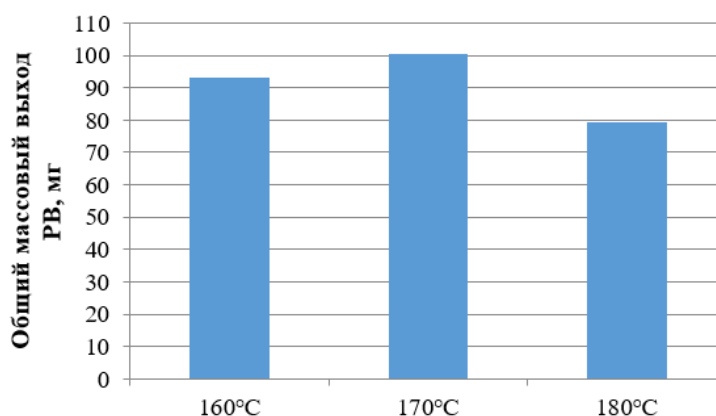


Рис. 6. Общий массовый выход РВ в зависимости от температуры гидролиза

Заключение

Проведённые нами исследования по гидролизу сосновых опилок при температурах 160 °C, 170 °C, 180 °C и концентрации сернистой кислоты 4 % масс показали, что наибольший выход редуцирующих веществ в гидролизатах соснового опила наблюдался при температуре 170 °C.

Исходя из эксперимента, данные которого представлены на рисунках 3-5 можно сделать вывод, что периодический процесс гидролиза соснового опила целесообразно проводить в двухступенчатом режиме: на первой ступени – после выхода легкогидролизуемых сахаров производить их слив и далее осуществлять заливку сернистой кислоты для второй ступени процесса. При подобном ведении представляется возможным увеличение общего выхода сахаров до 6,5 %. В результате эксперимента, можно сделать вывод, что двухступенчатый гидролиз целесообразен, так как продолжается выделение сахаров.

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

Литература

1. Сафин Р.Р., Илалова Г.Ф., Иглепова Ю.В., Сафина А.В., Петров В.И. Обзор зарубежных исследований в области переработки отходов однолетних сельскохозяйственных культур // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2018. № 4. – С. 53-60.
2. Илалова Г.Ф., Гиматдинова А.Р., Шамсутдинова А.И., Мухтарова А.Р., Илалова А.Ф. Исследование быстрого пиролиза измельченной древесины // *Сборник научных трудов 7-й Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: пути инновационного развития»*. – 2018. – С. 123-126.
3. Илалова Г.Ф., Гиматдинова А.Р., Тунцев Д.В., Гизатова М.В., Илалова А.Ф. Влияние предварительной термической обработки на термокондуктивный пиролиз осины // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2018. – № 2. – С. 68-73.
4. Илалова Г.Ф., Иглепова Ю.В., Илалова А.Ф., Шагеева А.И., Мухтарова А.Р. Исследование обработки однолетних сельскохозяйственных растений для получения биоугля // *Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых - будущее России»*. – 2018. – Т. 6. – С. 285-288.
5. Safin, R.R., Ilalova, G.F., Khasanshin, R.R. Study of pyrolysis of annual crop refuse under reduced pressure // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Т. 299 SSP. – С. 974-979.
6. Галяветдинов Н.Р., Талипова Г.А., Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р. Разработка древесно - наполненного композитного состава для 3D принтеров // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2019. № 1. – С. 33-39.
7. Safin R.R., Ilalova G.F., Hasanshin R.R. Improving the performance of decking board for use in landscape design // *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. – 2018. – Т. 7. – № 4.36. – С. 1027-1029.
8. Галяветдинов Н.Р., Сабирова Г.А., Сафин Р.Р., Галиханов М.Ф. Исследование биоразлагаемых древесно-наполненных композиционных материалов на основе полилактида // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2019. – № 3. – С. 61-68.
9. Galyavetdinov N.R., Talipova G.A., Safin R.R. Study of the destructive properties of biodegradable wood-filled composite material // *Materials Science Forum*. – 2020. – Т. 992 MSF. – С. 290-295.
10. Илалова Г.Ф., Шамсутдинова А.И., Мухтарова А.Р. Обзор экспериментальной установки термомеханической модификации древесины // *Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых - будущее России»*. – 2017. – Т.5– С. 60-63.
11. Шагеева А.И., Сафина А.В., Илалова Г.Ф., Порфирьева К.М. Обзор последних разработок в каталитической конверсии целлюлозы // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2019. – № 1. – С. 74-83.
12. Губернаторов В.В., Шамсиев Р.Р., Шарычев О.С. Термообработка древесной муки в условиях плотного слоя // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2017. – № 3. – С. 47-51.
13. Пузаков В.Е., Сафин Р.Р., Губернаторов В.В. Исследования воздействия ультрафиолетового излучения на свойства древесины // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2017. – № 48. – С. 68-71.
14. Валеева Р.Т и др.. Гидролиз растительного сырья [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Электрон. текстовые данные.– Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015.– 88 с.– Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62161.html>. – ЭБС «IPRbooks»
15. Валеева Р.Т., Мухачев С.Г., Красильникова О.В. Высокотемпературный гидролиз соломы серной кислотой // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 219-221.
16. Rongfu Chen, Yoon Y. Lee, Robert Torge. Kinetic and modeling investigation on two-stage reverse-flow reactor as applied to dilute-acid pretreatment of agricultural residues // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 1996. – №57. – pp. 133– 147.
17. Харина М.В. Предобработка и ферментативный гидролиз лигноцеллюлозосодержащих отходов сельского хозяйства // автореферат дис. ... кандидата технических наук / Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань, – 2013.
18. B. Adney, J. Baker Measurement of Cellulase Activities // *Chemical Analysis and Testing Task Laboratory Analytical Procedure*. Golden: NREL, 1997. 11 p.
19. Кислухина О.В., И. Кюдулас. Биотехнологические основы переработки растительного сырья. – Каунас: Технология, 1997.

20. Саерова К.В., Илалова Г.Ф., Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Сафиуллина А.Х. Высокотемпературный гидролиз соснового опила сернистой кислотой с целью выявления концентрации редуцирующих веществ // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 57. – С. 54-59.

21. Ковернинский И.Н. Комплексная химическая переработка древесины: уч. для вузов / И.Н. Ковернинский, В.И. Комаров, С.И. Третьяков, Н.И. Богданович, О.М. Соколов, Н.А. Тумакова, Л.И. Селянина, Е.В. Дьякова. – 3-е изд., испр. и доп. Архангельск, 2006, 374 с.

22. Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. Обзор современных технологических решений повышения энергоэффективности в процессах сушки пиломатериалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 21. – С. 50-52.

23. Белякова Е.А., Сафин Р.Р., Бодылевская Т.А. Разработка методики классификации термомодифицированной древесины с помощью цветовой гаммы. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2013. – № 1. – С. 30-34.

24. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Тимербаева А.Л., Сафина А.В. Исследование физических и энергетических свойств топливных гранул на основе термомодифицированного древесного сырья. // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88. – № 4. – С. 925-928.

© Илалова Г.Ф. – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: achtung.guzik@mail.ru; Саерова К.В. – магистрант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: senya97@inbox.ru; Сафин Р.Р. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектуры и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: cfaby@mail.ru, Мухаметзянов Ш.Р. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: joker775.87@mail.ru; Сафиуллина А.Х. – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: ShayaAlbina@mail.ru.

UDC 66.094.940

RESEARCH OF HIGH-TEMPERATURE HYDROLYSIS OF PINE SAWDUST WITH SULFURIC ACID WITH THE PURPOSE OF INCREASING THE YIELD OF REDUCING SUBSTANCES

G.F. Ilalova, K.V. Saerova, R.R. Safin, Sh.R. Mukhametzyanov, A.Kh. Safiullina

Today, the Russian Federation is the world leader in forest resources, but it lags behind in the production of competitive goods based on products of deep forestry processing, this is due to the fact that logging waste is not fully used, only partially, mainly in pulp and paper and the forestry industry, as well as a lack of skills and technology for processing woody biomass. The article describes the technology of high-temperature hydrolysis of pine sawdust with sulfurous acid in order to detect reducing substances (RS) in the hydrolysis residue. The influence of sulfurous acid concentration, temperature and duration of treatment on the RS concentration was studied.

Keywords: hydrolysis, the reducing substances, the concentration of sulfurous acid, wood waste.

References

1. Safin R.R., Ilalova G.F., Iglepova Yu.V., Safina A.V., Petrov V.I. [Review of foreign in the field of processing waste of annual research of agricultural crops] // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Woodworking industry]. – 2018. № 4. – Pp. 53-60. (InRuss.).

2. Ilalova G.F., Gimatdinova A.R., Shamsutdinova A.I., Muhtarova A.R., Ilalova A.F. [Research of fast pyrolysis of crushed wood] // Sbornik nauchnyh trudov 7-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Tekhnika i tekhnologii: puti innovacionnogo razvitiya» [Collection of scientific papers of the 7th International Scientific and Practical Conference "Engineering and Technology: Ways of Innovative Development"]. – 2018. – Pp. 123-126. (InRuss.).

3. Ilalova G.F., Gimatdinova A.R., Tuncsev D.V., Gizatova M.V., Ilalova A.F. [Influence of preliminary heat treatment on thermoconductive pyrolysis of aspen] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry]. – 2018. – № 2. – Pp. 68-73. (InRuss.).
4. Ilalova G.F., Iglepova YU.V., Ilalova A.F., Shageeva A.I., Mukhtarova A.R. [Research on the processing of annual agricultural plants to obtain biochar] // *Sbornik nauchnyh statej 3-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh «Nauka molodyh - budushchee Rossii»* [Collection of scientific articles of the 3rd International scientific conference of promising developments of young scientists "Science of the young is the future of Russia"]. – 2018. – V.6. – Pp. 285-288. (InRuss.).
5. Safin, R.R., Ilalova, G.F., Khasanshin, R.R. Study of pyrolysis of annual crop refuse under reduced pressure // *Solid State Phenomena*. – 2020. – V. 299 SSP, – Pp. 974-979.
6. Galyavetdinov N.R., Talipova G.A., Safin R.R., Mukhametzyanov Sh.R. [Development of wood-filled composite for 3D printers] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry]. – 2019. № 1. – Pp. 33-39. (InRuss.).
7. Safin R.R., Ilalova G.F., Hasanshin R.R. Improving the performance of decking board for use in landscape design // *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*. – 2018. – V. 7. – № 4.36. – Pp. 1027-1029.
8. Galyavetdinov N.R., Sabirova G.A., Safin R.R., Galikhanov M.F. [Research of biodegradable wood-filled composite materials based on polylactide] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry]. – 2019. – № 3. – Pp. 61-68. (InRuss.).
9. Galyavetdinov N.R., Talipova G.A., Safin R.R. Study of the destructive properties of biodegradable wood-filled composite material // *Materials Science Forum*. – 2020. – V. 992 MSF. – Pp. 290-295.
10. Ilalova G.F., Shamsutdinova A.I., Mukhtarova A.R. [Review of an experimental installation for thermomechanical modification of wood] // *Sbornik nauchnyh statej 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok molodyh uchenyh «Nauka molodyh - budushchee Rossii»* [Collection of scientific articles of the 2nd International scientific conference of promising developments of young scientists "Science of the young is the future of Russia"]. – 2017. – V. 5. – Pp. 60-63. (InRuss.).
11. Shageeva A.I., Safina A.V., Ilalova G.F., Porfir'eva K.M. [An overview of the latest developments in the catalytic conversion of cellulose] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry]. – 2019. – № 1. – Pp. 74-83. (InRuss.).
12. Gubernatorov V.V., Shamsiev R.R., Sharychev O.S. [Heat treatment of wood flour in a dense layer] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry]. – 2017. – № 3. – Pp. 47-51. (InRuss.).
13. Puzakov V.E., Safin R.R., Gubernatorov V.V. [Issledovaniya vozdeystviya ul'traioletovogo izlucheniya na svoystva drevesiny] // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex]. – 2017. – № 48. – Pp. 68-71. (InRuss.).
14. Valeeva R.T et al.. *Gidroliz rastitel'nogo syr'ya* [Elektronnyj resurs] [Hydrolysis of plant materials [Electronic resource]]: uchebnoe posobie/ Elektron. tekstovye dannye.– Kazan': Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tekhnologicheskij universitet [study guide / Electron. text data. - Kazan: Kazan National Research Technological University], 2015.– 88 pp. – Access mode: <http://www.iprbookshop.ru/62161.html>. – ELS «IPRbooks». (InRuss.).
15. Valeeva R.T., Muhachev S.G., Krasil'nikova O.V. [High temperature hydrolysis of straw with sulfuric acid] // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Kazan Technological University Bulletin]. – 2014. – V. 17. – № 1. – Pp. 219-221. (InRuss.).
16. Rongfu Chen, Yoon Y. Lee, Robert Torge. Kinetic and modeling investigation on two– stage reverse–flow reactor as applied to dilute–acid pretreatment of agricultural residues // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 1996. – №57. – pp. 133– 147.
17. Kharina M.V. [Pretreatment and enzymatic hydrolysis of lignocellulose-containing agricultural waste] // *avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk* [abstract dis. ... candidate of technical sciences] / Kazan National Research Technological University. Kazan, – 2013. (InRuss.).
18. B. Adney, J. Baker Measurement of Cellulase Activities // *Chemical Analysis and Testing Task Laboratory Analytical Procedure*. Golden: NREL, 1997. 11 p.
19. Kisluhina O.V., I. Kyudulas [Biotekhnologicheskie osnovy pererabotki rastitel'nogo syr'ya]. – Kaunas: Tekhnologiya [Kaunas: Technology], 1997. (InRuss.).
20. Saerova K.V., Ilalova G.F., Safin R.R., Muhametzyanov Sh.R., Safiullina A.Kh. [High-temperature hydrolysis of pine sawdust with sulfurous acid in order to identify the concentration of reducing substances] //

Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forestry complex]. – 2020. – № 57. – Pp. 54-59. (InRuss.).

21. Koverninskij I.N [Complex chemical processing of wood: textbook for universities] / I.N. Koverninsky, V.I. Komarov, S.I. Tretyakov, N.I. Bogdanovich, O. M. Sokolov, N.A. Tumakova, L.I. Selyanina, E.V. Dyakova. – 3-e izd., ispr. i dop. Arhangel'sk [3rd ed., Rev. and add. Arkhangelsk], 2006, 374 c. (InRuss.).

22. Safin R. R., Khakimzyanov I. F., Kainov P. A., Nikolaev A. N., Safina A.V. Review of modern technological solutions for improving energy efficiency in the processes of drying lumber// Bulletin of the Kazan technological University. - 2014. - Vol. 17. - No. 21. - P. 50-52. (InRuss.).

23. Belyakova E. A., Safin R. R., Bodylevskaya T. A. Development of a method for classifying thermomodified wood using a color scheme. // Woodworking industry, 2013, no. 1, Pp. 30-34. (InRuss.).

24. Safin R. R., Khasanshin R. R., timerbayeva A. L., Safina A.V. Investigation of physical and energy properties of fuel pellets based on thermomodified wood raw materials.//Engineering and physical journal, 2015, Vol. 88, No. 4, Pp. 925-928. (InRuss.).

© **Palova G.F.** – Post-graduate student of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: achtung.guzik@mail.ru; **Saerova K.V.** – Master's Degree student of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU; **Safin R.R.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: cfaby@mail.ru; **Mukhametzyanov Sh.R.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products; **Safiullina A.Kh.** – assistant of the Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail: ShayaAlbina@mail.ru.

УДК 691.11

АНАЛИЗ ПРОТЕКАНИЯ ВАКУУМНО-КОНДУКТИВНОЙ СУШКИ СТЕНОВЫХ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОГО ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Л.В. Лямина, Ш.Р. Мухаметзянов, В.А. Мосина

Предоставлены результаты экспериментальных исследований вакуумно-кондуктивной сушки стеновых панелей из термомодифицированного наполнителя. Построены кривые сушки стеновых панелей в зависимости от различных параметров: температурных режимов, различной толщины плиты, остаточного давления в вакуумной камере. В ходе проведенной работы выявлено, что сушка панелей с термомодифицированным наполнителем протекает значительно быстрее нежели сушка панелей с необработанным наполнителем.

Ключевые слова: биоразлагаемые плиты, ДСтП, вакуумно-кондуктивная сушка, термомодифицирование.

Введение

Разработка экологичных древесно-стружечных материалов с давних пор носит актуальный характер. Однако в основном исследования направлены на снижение токсичности клеевой составляющей данного композита, в связи с чем предлагаются решения по снижению эмиссии фенола путем введения различных добавок или замене фенол содержащих смол на другие более экологичные связующие [2–4].

Ранее опубликованные нами исследования были направлены на разработку технологии древесно-стружечных панелей, где в качестве связующего использовался поливиниловый спирт [1]. Эта технология может найти применение в производстве плит для создания мебели. В то же время целесообразным является создание древесно-стружечных стеновых панелей тепло- и звукоизоляционной направленности. В этом случае для предотвращения развития плесневелых грибов и различных дереворазрушающих микроорганизмов необходимым условием является биологическая защита древесных частиц. Для этих целей обычно используется модификация различными химическими

составами [2–4]. Однако химическая модификация опасна как для человека, так для экологии в целом. В этой связи в последние годы на первый план вышли исследования в области высокотемпературной обработки (термомодификации) древесины, которая позволяет повысить биостойкость без использования химических веществ [2].

Таким образом, при создании экологичных стеновых материалов целесообразно рассмотреть данный вид предобработки древесного наполнителя и его влияние на технологический процесс производства древесно-стружечных панелей на связующем в виде поливинилового спирта.

Методы и материалы

Первоначально были выбраны температурные режимы обработки древесного материала (опила). Температура тепловой обработки составила 220 °С. Термомодификация проходила в условиях плотного слоя в контейнере, помещенном в камерную печь. Внешний вид камеры и контейнера показаны на рисунке 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка термической модификации измельченной древесины в плотном слое

Древесные опилки фракции от 2 до 5 мм засыпались в специальные секции, которые загружались в камерную печь. После чего печь герметично закрывалась, и устанавливалась температура обработки равная 220°С. После достижения внутри слоя материала заданной температуры, определяемой с помощью заранее заложенной в слой термопары, происходила выдержка древесного материала в данных условиях в течении 3 часов. Далее установка отключалась, и происходило естественное охлаждение термомодифицированного древесного материала в закрытой печи до достижения температуры внутри слоя ниже температуры самовоспламенения.

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

Таблица 1 – Состав образцов композита

Компонент	Получаемая влажность					
	10%	20%	30%	40%	55%	70%
Опилки в абсолютно сухом состоянии, г	150	150	150	150	150	150
ПВС в абсолютно сухом состоянии, г	100	100	100	100	100	100
Вода, г	15	30	45	60	82,5	105

Подготовленные образцы подвергались исследованию на скорость сушки согласно ранее разработанной вакуумной технологии [1]. Уровни варьирования различных факторов сушки указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Переменные факторы и уровни их варьирования

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

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

Результаты

В связи с тем, что при термомодифицировании снижается гигроскопичность и водопоглощение древесины, то при формировании образцов не наблюдалось значительного увлажнения древесных частиц. Это объясняет более высокую скорость протекания процесса сушки композитов с термомодифицированным наполнителем по сравнению с образцами на основе необработанных древесных частиц [1]. На базе выполненных опытов были построены кривые скорости сушки образцов стеновых плит на основе термически обработанного древесного наполнителя (рис. 2).

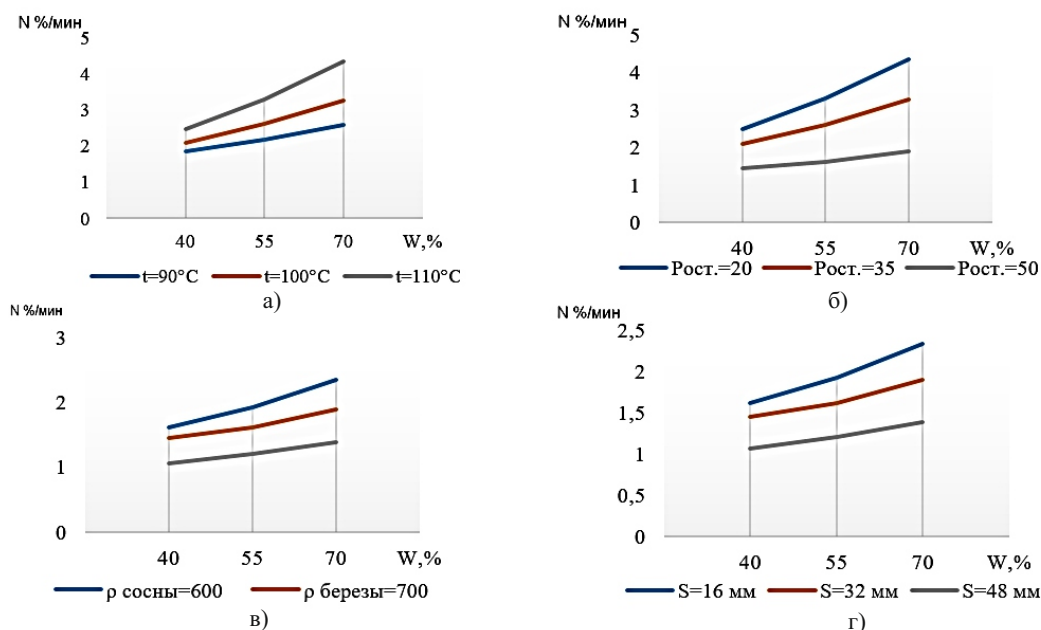


Рис. 2. Кривые скорости сушки в интервале влажности от 80 до 40 % ДСтП на основе термически обработанного древесного наполнителя и водного раствора поливинилового спирта при различных режимах процесса и параметрах материала: а – при различных температурах нагревательной плиты; б – при различных давлениях в камере; в – при различной плотности плиты, г – при различной толщине плиты

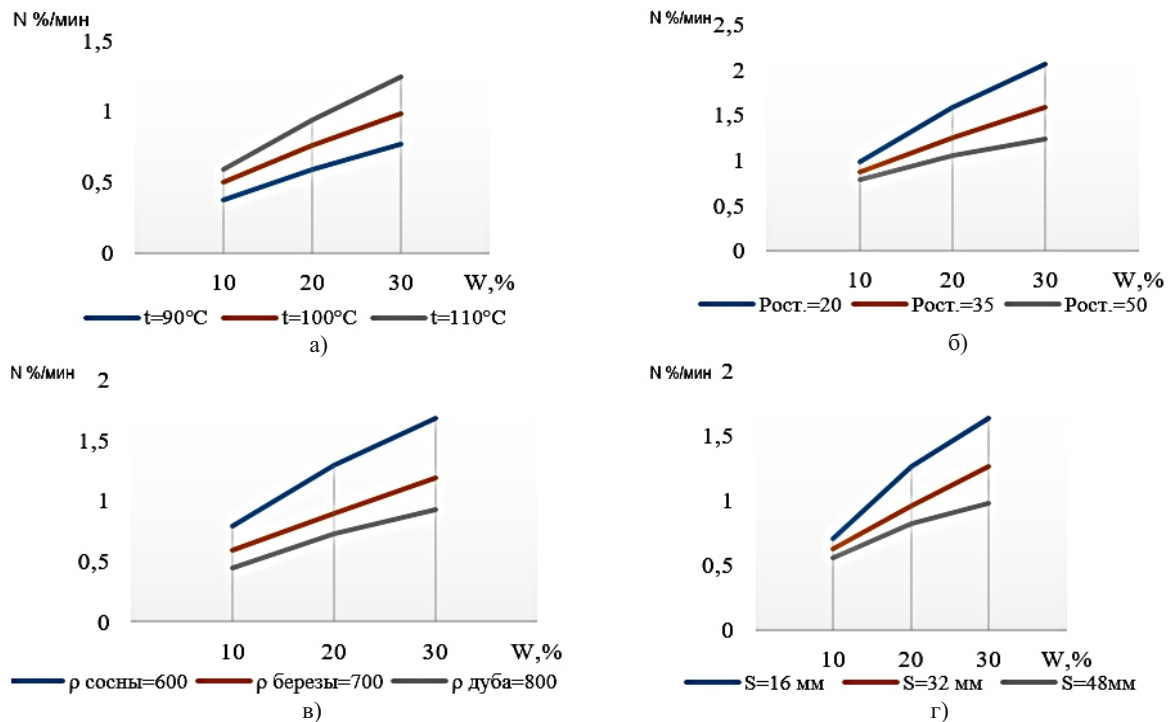


Рис. 3. Кривые скорости сушки ДСтП на основе термически обработанного древесного наполнителя и водного раствора поливинилового спирта в интервале влажности от 30 до 10 %: а – при различных температурах нагревательной плиты; б – при различных давлениях в камере; в – при различной плотности плиты, г – при различной толщине плиты

На основе планирования эксперимента и полученных экспериментальных данных, представленных на рисунках 2 и 3 созданы уравнения регрессии для скорости сушки образцов стеновых древесно-стружечных плит на основе термомодифицированного древесного наполнителя и поливинилового спирта:

– для влажности материала выше предела насыщения клеточных стенок:

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

– для влажности материала ниже предела насыщения клеточных стенок:

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

Заключение

В результатах планирования эксперимента и проведенных опытов по вакуумно-кондуктивной сушке образцов древесно-стружечных плит из термически модифицированных древесных частиц и поливинилового спирта разработана математическая модель скорости сушки в процессе формирования и прессования ДСтП в зависимости от температуры нагрева пресса, давления в камере, а также толщины и плотности формируемых изделий.

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

Литература

1. Лямина Л. В., Галяветдинов Н. Р., Мухаметзянов Ш. Р., Мосина В. А. Методика расчета скорости вакуумно-кондуктивной сушки экологических древесно-стружечных панелей на основе ПВС//Деревообрабатывающая промышленность. Москва.2020. – С. 21-26.
- 2.Талипова Г. А., Галяветдинов Н. Р., Сафин Р. Р. Отличительные свойства влагостойкой фанеры, полученной путем склеивания термомодифицированного шпона// Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск. 2014.№ 38, С.29-31.
3. Сабирова Г. А., Сафин Р.Р., Хайруллин Р.З. Исследование температуры размягчения по Вика композитов на основе биоразлагаемых компонентов// Актуальные проблемы лесного комплекса, Брянск.2020. № 57, С.50–54.
4. Safin R.R., Talipova G.A., Galyavetdinov N.R., Nazipova F.V., Salimgaraeva R.V. The Study of the destructive Properties of wood-filled Composites for the Production of biodegradable packaging Materials//International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM.2020. № 19. С. 541.
5. Fishman, M.L., Coffin, D.R. Onwulata, C.I., Willett, J.L. Two stage extrusion of plasticized pectin/poly(vinyl alcohol) blends // Carbohydrate Polymers.2006. V. 65. P. 421429
6. Corti A., Cinelli P., Antone S.D', Kenawy E. -R., Solaro R. Biodegradation of polyvinyl alcohol in soil environment: Influence of natural organic fillers and structural parameters // Macromol. Chem. and Phys. 2002. V. 203. P.12
- 7.Jessica Thais de Lira Bazzetto, Geraldo Bortoletto Junior, Flavia Maria Silva Brito The Influence of Processing and Particle Size on Binderless Particleboards Made from Arundo donax L. Rhizome /Polymers //2020, p. 12.
8. Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. Обзор современных технологических решений повышения энергоэффективности в процессах сушки пиломатериалов// Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 21. – С. 50-52.
9. Белякова Е.А., Сафин Р.Р., Бодылевская Т.А. Разработка методики классификации термомодифицированной древесины с помощью цветовой гаммы. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2013. – № 1. – С. 30-34.
10. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Тимербаева А.Л., Сафина А.В. Исследование физических и энергетических свойств топливных гранул на основе термомодифицированного древесного сырья.//Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88. – № 4. – С. 925-928.

© **Лямина Л.В.** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: lyaminalv90@gmail.com; **Галяветдинов Н.Р.** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: pour777@mail.ru; **Мухаметзянов Ш.Р.** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: joker775.87@mail.ru; **Мосина В.А.** – магистрант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: mosina.veronika98@mail.ru

UDC 691.11

ANALYSIS OF VACUUM-CONDUCTIVE DRYING OF WALL CHIPBOARD PANELS BASED ON HEAT-TREATED WOOD FILLER

L.V. Lyamina, Sh.R. Mukhametzyanov, V.A. Mosina

The results of presented. Drying curves for wall panels are plotted depending on various parameters: temperature conditions, different plate thickness, and residual pressure in the vacuum chamber. In the course

of this work, it was found that the drying of panels with thermomodified filler proceeds much faster than the drying of panels with untreated filler.

Keywords: biodegradable plates, Dstp, vacuum-conductive drying, thermal modification.

References

1. Lyamina L. V., Galyavetdinov N. R., Mukhametzyanov sh. R., Mosina V. A. method for calculating the rate of vacuum-conductive drying of ecological wood-chip panels Based on PVS//Woodworking industry. Moscow, 2020, No. 21-26.
2. Talipova G. A., Galyavetdinov N. R., Safin R. R. distinctive properties of moisture-resistant plywood obtained by gluing thermomodified veneer// Actual problems of the forest complex. Bryansk, 2014, No. 38, Pp. 29-31.
3. Sabirova G. A., Safin R. R., Khairullin R. Z. investigation of the softening temperature by Vika of composites based on biodegradable components// Actual problems of the forest complex, Bryansk, 2020, no. 57, p. 50-54.
4. Safin R.R., Talipova G.A., Galyavetdinov N.R., Nazipova F.V., Salimgaraeva R.V. The Study of the destructive Properties of wood-filled Composites for the Production of biodegradable packaging Materials//International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM.2020. № 19. C. 541.
5. Fishman, M.L., Coffin, D.R. Onwulata, C.I., Willett, J.L. Two stage extrusion of plasticized pectin/poly(vinyl alcohol) blends // Carbohydrate Polymers.2006. V. 65. P. 421429
6. Corti A., Cinelli P., Antone S.D', Kenawy E. -R., Solaro R. Biodegradation of polyvinyl alcohol in soil environment: Influence of natural organic fillers and structural parameters // Macromol. Chem. and Phys. 2002. V. 203. P.12
7. Jessica Thais de Lira Bazzetto, Geraldo Bortoletto Junior, Flavia Maria Silva Brito The Influence of Processing and Particle Size on Binderless Particleboards Made from Arundo donax L. Rhizome /Polymers //2020, p. 12
8. Safin R. R., Khakimzyanov I. F., Kainov P. A., Nikolaev A. N., Safina A.V. Review of modern technological solutions for improving energy efficiency in the processes of drying lumber// Bulletin of the Kazan technological University. - 2014. - Vol. 17. - No. 21. - P. 50-52. (InRuss.).
9. Belyakova E. A., Safin R. R., Bodylevskaya T. A. Development of a method for classifying thermomodified wood using a color scheme. // Woodworking industry, 2013, no. 1, Pp. 30-34. (InRuss.).
10. Safin R. R., Khasanshin R. R., timerbayeva A. L., Safina A.V. Investigation of physical and energy properties of fuel pellets based on thermomodified wood raw materials.//Engineering and physical journal, 2015, Vol. 88, No. 4, Pp. 925-928. (InRuss.).

© **Lyamina L. V.** – assistant of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: lyaminalv90@gmail.com; **Mukhametzyanov Sh. R.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail:joker775.87@mail.ru; **Mosina V. A.** – master's student of the Department of the Department of Architecture and design of wood products, KNRTU, e-mail:mosina.veronika98@mail.ru.

Уважаемые авторы и читатели журнала «Деревообрабатывающая промышленность»!

Благодарим за интерес, проявленный к нашему Журналу.

Если Вы автор и намерены опубликовать свою статью в нашем журнале, в целях ускорения процесса редактирования, публикации и распространения вашего материала Вам необходимо ознакомиться с «Требованиями для авторов». При подготовке рукописи статьи к отправке в редакцию автору (соавторам) следует руководствоваться изложенными требованиями и условиями.

При этом обращаем Ваше внимание на то, что редакция не принимает Вашу статью к рассмотрению, если:

- статья оформлена (представлена) с нарушением требований, изложенных в данных Правилах;
- автором (соавторами, правообладателями) не переданы Издательству необходимые авторские права на использование произведения (статьи);

**Авторы, направляющие статьи в журнал,
должны соблюдать следующие требования**

УДК 721.05 (Шрифт Arial, кегль – 9, выравнивание по левому краю)

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (НАЗВАНИЕ СТАТЬИ ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ, ШРИФТ TIMES NEW ROMAN, КЕГЛЬ – 16, ВЫРАВНИВАНИЕ ПО ЛЕВОМУ КРАЮ ПОЛУЖИРНЫМ ШРИФТОМ)

И. О. Фамилия авторов (полужирным шрифтом) **инициалы и фамилия авторов** **Шрифт Arial, кегль – 9, выравнивание по левому краю**
. Например, И.И. Иванов)

*Аннотация является кратким изложением большей по объему работы. Она отражает научное содержание статьи, содержит сведения о решаемой задаче, методах решения, результатах и выводах. Аннотация не должна содержать рисунки, формулы, литературу и источники финансирования и ссылки на них. Рекомендуемый объем аннотации не менее 1000 букв. **Ключевые слова:** не менее 4 слов или словосочетаний, каждое ключевое слово или словосочетание отделяется от другого запятой. (Шрифт Times New Roman, кегль – 9, курсив, выравнивание по ширине, отступ справа и выступ слева – 1 см)*

Введение

Текст статьи набирается в текстовом редакторе Microsoft Word. Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «**Введение**», «**Методы и материалы**», «**Результаты**», «**Заключение**», «**Литература**». Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «**Введение**», «**Обзор исследований в области...**», «**Заключение**», «**Литература**». Макет журнала – одноколоночный, с параметрами страницы: верх -3 см, низ -2,5 см, левое поле – 1,8 см, правое поле – 1,8 см

Десятичные цифры набираются только через запятую, а не через точку (0,25 вместо 0.25). Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал, выравнивание по ширине. Абзац — 0,75 см.

Название параграфа

Формулы в статье набираются с использованием встроенного редактора формул MS Word 2007, курсивом. Использование букв кириллицы в формулах не рекомендуется. Расшифровка обозначений, принятых в формуле, производится в порядке их использования в формуле.

Все формулы желательно пронумеровать, но допустимо нумеровать лишь упоминаемые в тексте. Формулу следует располагать по центру строки, а ее номер по правому краю основного текста и заключать в круглые скобки.

Пример оформления формул

$$R = \frac{204,1187 - 9,797\tau - 1,58t + 0,1386\tau^2 + 0,0031t^2 + 0,0378\tau \cdot t}{1 - 0,056\tau - 0,0081t + 0,00067\tau^2 + 1,66 \cdot 10^{-5}t^2 + 0,00025\tau \cdot t} \quad (1)$$

Название параграфа

Рисунки и таблицы необходимо приводить после упоминания их в тексте.

Таблицы нумеруются в порядке упоминания их в тексте, нумерация сквозная (шрифт - Times New Roman, кегль – 11, для объемных – 11 и 12.). Все графы таблицы должны иметь заголовки, сокращение слов в таблицах не допускается (кроме общепринятых). Отсутствие данных обозначается прочерком (–). Названия таблиц размещаются над ними, выравниванием по ширине и выделяются полужирным шрифтом (шрифт названия таблиц – Arial, кегль - 8). Подрисуночная надпись выравнивается по ширине текста (шрифт названия таблиц – Arial, кегль -8). Точка в конце подрисуночной надписи не ставится. Цвет рисунков – черно-белый. Рисунки должны быть качественными, **сканированные картинки не принимаются!**

При ссылках на рисунки и таблицы в тексте статьи необходимо указывать аббревиатуру «рис. 1» или «табл. 1».

Пример оформления таблиц

Таблица 1 – Название таблицы

Заголовок	Заголовок		
	Подзаголовок	Подзаголовок	Подзаголовок
Текст	Текст	Текст	Текст
Текст	Текст	Текст	Текст
Текст	Текст	Текст	Текст

Пример оформления рисунков

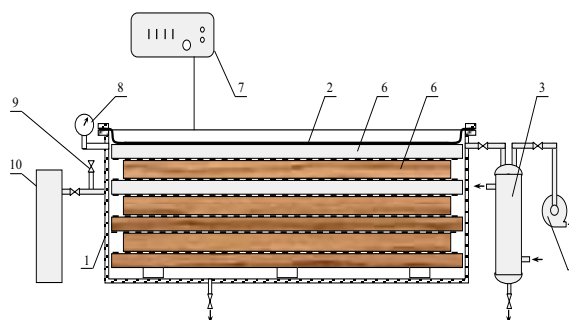


Рис. 1. Название рисунка: 1 – позиция 1; 2 – позиция 2

Заключение

Приводятся выводы по работе, рекомендации по использованию полученных результатов.

Здесь же при необходимости курсивом указывается источник финансирования исследования или благодарности.

Литература

В списке библиографических ссылок приводятся только источники, на которые автор ссылается в тексте. Список литературы составляется в порядке цитирования в работе, все указанные источники нумеруются. Ссылки на цитируемые источники в тексте статьи приводятся в виде цифр, соответствующих номеру работы в списке литературы, заключенных в квадратные скобки. Пример оформления ссылок на цитируемые источники: [1], [1, 2], [1-4]. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуется использовать не менее 15 источников.

Ссылку на источник необходимо приводить на том языке, на котором он был опубликован.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.05-2008.

© **Фамилия И.О. автора** – ученая степень, ученое звание, должность, наименование кафедры наименование организации, адрес электронной почты (шрифт - Times New Roman, кегль – 10, фамилия и инициалы выделяются полужирным шрифтом)

Данные на английском языке располагаются в конце статьи и следуют в том же порядке и с тем же форматированием, как в варианте на русском языке (УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, аннотация, ключевые слова, список литературы и сведения об авторах на английском языке)

UDC

PAPER TITLE

Authors Name/s per

Автор должен представить аннотацию на английском языке. В тексте аннотации на английском языке следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов. Следует избегать употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных терминов. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах резюме.

Key words: *приводится перевод ключевых слов или словосочетаний, каждое ключевое слово или словосочетание отделяется от другого запятой.*

References

Схема библиографического описания статьи с переводом заглавия на английский язык: - авторы (транслитерация); - [перевод заглавия статьи на английский язык в квадратных скобках]; - Название русскоязычного источника (транслитерация); [Перевод названия источника на английский язык]; - Выходные данные с обозначениями на английском языке; - Указание на язык статьи (In Russ.) после описания статьи. (Шрифт - Times New Roman, кегль – 11, выравнивание по ширине)

© **Authors Name/s per dept.** - academic degree, academic title, position, name of organization, e-mail address

