

Дерево

ISSN 0011-9008

обработывающая
промышленность

2/2017

БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



СЕНТЯБРЬ
SEPTEMBER

5-7

КРАСНОЯРСК
KRASNOYARSK

Ведущий региональный проект
по деревообработке в России!



XIX МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ExpoDrev Russia '17 KRASNOYARSK

INTERNATIONAL SPECIALIZED EXHIBITION

• ОБОРУДОВАНИЕ • ТЕХНОЛОГИИ • ИНСТРУМЕНТ • ОСНАСТКА
ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ, ЛЕСОЗАГОТОВКИ, МЕБЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ИТОГИ
ВЫСТАВКИ 2016:

Площадь экспозиции: **6850** кв. м.
Количество экспонентов: **111**, из них **28** зарубежных компаний.
География экспонентов: **14** стран и **19** регионов России.

0+

МВДЦ «Сибирь»

г. Красноярск, ул. Авиаторов, 19

тел.: (391) 22-88-561, 22-88-611

expodrev@krasfair.ru

Организатор:



сибирь
международный
Выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадова



Официальная поддержка:



Генеральный
информационный партнер:



Дерево

ISSN 0011-9008

обработка промышленность

2/2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

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 ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»



Зам. главного редактора – **Разумов Евгений Юрьевич**, д.т.н., доцент. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

Сафин Рушан Гареевич, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «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 ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

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

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

Рыкунин Станислав Николаевич, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

Семенов Юрий Павлович, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

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

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

Черных Михаил Михайлович, д.т.н., профессор, академик (действительный член) Академии технической эстетики и дизайна. Декан факультета «Реклама и дизайн» ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. Калашникова»



Štefan Barčík, Prof. ing., Ph.D. – Заместитель главного редактора, ответственный за международную ред. коллегию.
Vice-dean for Science, Research and Ph.D study
Department of Machinery Control and Automation
Faculty of Environmental and Manufacturing
Technology Technical University in Zvolen, Slovak Republic

Etele Csanady, Prof., Dr.
University of West Hungary

Nencho Deliiski, Prof., DSc.
University of Forestry, Bulgaria

Ladislav Dzurenda, Dr. prof.
Technical University, Slovakia

Vlado Goglia, Sc.D., Dr.h.c., prof.
Department of Process Techniques Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia

Ruzica Beljo Lucic, Prof.
Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia

Alfred Teischinger, Prof., Dr.
University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Austria

Директор журнала
Хасанин Руслан Ромелевич
тел.: 8-927-404-31-85
e-mail: journal_woodworking@mail.ru

Директор по рекламе
Жданов Сергей Николаевич
моб. тел.: 8-987-717-89-98
e-mail: 458424@mail.ru

«Деревообрабатывающая
промышленность», 2017

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990

Сдано в набор 21.06.2017.
Подписано в печать 23.06.2017.

Формат бумаги 60x88/8
Усл. печ. л. 8
Тираж 720 экз. Заказ № 3092
Цена свободная
Адрес редакции:
117303, Москва, ул. Малая
Юшуньская, д. 1, корп. 1,
Тел.: 8 904 763 52 89

www.dop1952.ru
e-mail:
journal_woodworking@mail.ru

Подписка:
journal_woodworking@mail.ru

Отпечатано в
ООО «Вертола»

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАЗОВАНИЕ

<i>Братский государственный университет</i>	3
---	---

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

<i>Садртдинов А.Р., Сафин Р.Г., Исмагилова Л.М., Галеев Т.Х., Мингалеева Р.Г.</i> Тенденции образования и потенциал использования отходов растительного происхождения лесопромышленного и агропромышленного комплексов	8
<i>Побединский В.В., Санников С.П., Сопига В.А.</i> Оценка повреждений лесонасаждений при пожарах с применением нечеткого моделирования	18
<i>Волдаев М.Н.</i> Цифровая трансформация лесной отрасли России	24
<i>Анисимов П.Н., Онучин Е.М.</i> Результаты экспериментального исследования макета контейнера-сушилki измельчающе-транспортной машины для производства щепы	31

Физико-механические процессы в деревообработке

<i>Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Мухтарова А.Р., Илалова Г.Ф.</i> Разработка энергоэффективного комплекса конвективной сушки пиломатериалов	38
<i>Ugryumov S.A., Razumov E.Y.</i> Research of multilayer plywood bond strength	44
<i>Сафина А.В., Губернаторов В.В., Гараев Р.Р., Разумов Е.Ю.</i> Интенсификация процесса водной экстракции чаги путем периодического понижения давления среды	50

Химическая технология древесины

<i>Тимербаева А.Л., Сафин Р.Р., Хасанишина Р.Т., Зиятдинов Р.Р.</i> Использование термической обработки древесного наполнителя в производстве древесно-стружечных плит	54
<i>Лямина Л.В., Сафин Р.Р., Гараева А.Ф.</i> Физико-механические характеристики древесно-полимерного композита на основе поливинилового спирта	60

Образование

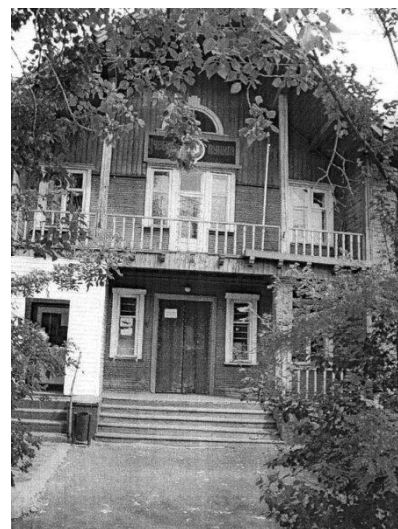
БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Чуть больше 50 лет назад в 5 тысячах км от Москвы начал расти молодой красивый город. В суровый край со всей земли собирались люди строить Братск. Для воплощения грандиозных замыслов требовался высококвалифицированный труд специалистов и уже в 1957 году под руководством Клавдии Георгиевны Поповой, супруги начальника строительства И.И. Наймушина, открылся первый Учебно-консультационный пункт (УКП) Иркутского филиала Всесоюзного заочного инженерно-строительного института, который временно размещался в деревянном здании поселка Падун. А еще через два года пункт передается Иркутскому политехническому институту.

- В 1961 году Братский УКП реорганизован в общетехнический факультет Иркутского политехнического института.
- В 1963 году факультет получил от Братскгэсстроя новое здание в поселке Энергетик (корпус № 1).
- 1964 год – Иркутский политехнический институт открывает в Братске дневную форму обучения по 5 специальностям.
- 1967 год – Братскгэсстрой передал вузу 90-квартирный жилой дом.
- 1968 год – факультет получил еще один новый корпус на 1200 мест (корпус № 2).
- 1969 год – открыто подготовительное отделение (рабфак).
- 1972 год 19 февраля – открытие нового спортивного зала.

В 1974 г., учитывая кадровое обеспечение, достаточную материальную базу, хорошую подготовку студентов, факультет был преобразован в филиал Иркутского политехнического института (ИПИ). Директором филиала становится Н.Н. Яценко, доктор технических наук, профессор. Начинается строительство третьего учебного корпуса, сдаются учебные мастерские, научно-исследовательские лаборатории, первое студенческое общежитие. Работает два факультета: строительный и электромеханический. Педагогический коллектив вел постоянную работу по созданию в Братске самостоятельного вуза. Совершенствовалась организация учебного процесса, улучшалась материально-техническая база. В 1975 году открывается учебно-консультационный пункт в городе Усть-Куте. Легендарный город растет и неузнаваемо меняется. Мощные предприятия Братска требуют больше высококвалифицированных специалистов. В 1980 году в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР и Совета Министров РСФСР, Братский филиал ИПИ был преобразован в Братский индустриальный институт (БРИИ), что стало значимым событием для северного региона Иркутской области. Ректором института назначен О.П. Мартыненко, доктор технических наук, профессор. БРИИ рос, креп и постепенно стал одним из ведущих региональных ВУЗов. Были созданы новые факультеты, получили развитие направления подготовки специалистов гуманитарного и естественно-научного профиля, введена система многоуровневой подготовки специалистов, создан университетский комплекс. Эти годы ознаменовались развитием вузовской науки, открытием аспирантуры, докторантуры, специализированного совета по защите диссертаций. Постепенно были построены и введены в эксплуатацию преподавательское общежитие № 2 и блок испытания строительных конструкций. А в 1984 год введен в эксплуатацию третий учебный



корпус площадью 10 тыс. кв.м. и третье студенческое общежитие на 600 мест. В 1986 году закончилось строительство общежития № 4 на 400 мест. В 1988 году создан редакционно-издательский отдел (РИО). В 1989 году учебно-консультационный пункт в городе Усть-Илимске преобразован в общетехнический факультет. В 1990 году при БРИИ открылся технический лицей, первый в городе Братске. В 1991 году в первом общежитии начал работу санаторий-профилакторий для преподавателей и студентов. В 1992 году 2 января вышел в свет первый номер газеты «Педагогический вестник Братска». В 1997 году организовано отделение ускоренного обучения в составе заочного факультета. Создан гуманитарно-педагогический факультет.



Формирование широкого спектра специальностей, по которым велось образование в БРИИ, позволило вузу претендовать на получение более высокого статуса. В августе 1999 года Братский индустриальный институт был преобразован в Братский государственный технический университет (БрГТУ). В 1999 году в структуру вуза вошел Братский целлюлозно-бумажный колледж. Вузовская газета получила новое название – «Университет». В 2002 году в структуру университета вошел педагогический колледж № 2. Сдан в эксплуатацию наземный переход между учебными корпусами и столовой. В 2003 году появился новый спорткомплекс. И в том же году университет возглавил новый ректор – профессор Сергей Владимирович Белокобыльский. Новая страница в истории вуза начинается в 2004 году. Результатом работы коллектива профессионалов БрГТУ получает статус Братского государственного университета (БрГУ). За полувековую историю образовательной деятельности первый и единственный государственный вуз г. Братска подготовил тысячи высококвалифицированных специалистов: механиков, энергетиков, строителей, инженеров лесного дела, экономистов, историков, математиков, юристов. Постепенно росло количество специальностей, становилось больше студентов, поэтому появилась необходимость в создании еще одного учебного корпуса. Так в 2005 году гуманитарно-педагогический факультет был перенесен в новый 4 корпус.

На сегодняшний день образовательный процесс в БрГУ ведется в четырех учебных корпусах, активно проводится научная, исследовательская деятельность.

Вуз по праву гордится своими выпускниками – руководителями и ведущими сотрудниками крупнейших промышленных предприятий города и региона: Братского алюминиевого завода группы компаний «РусАл», Братской ГЭС ОАО «Иркутскэнерго», Братского филиала группы «Илим» и др. Выпускники университета успешно трудятся в органах исполнительной и представительной власти всех уровней. В Государственной Думе Федерального Собрания РФ интересы братчан представляет В.Б. Шуба, в Законодательном Собрании Иркутской области – Андрей Кайдаш и Андрей Чернышев. В региональном правительстве работают В.И. Пашков и А.Ф. Зезуля, в Братской городской Думе – Н.И. Бабин, А.И. Лойчиц, Т.Г. Шебедева, А.Н. Кочетков, А.А. Калоев, в администрации г. Братска – С.Г. Московских, Т.И. Литвинова, В.Р. Шнейдер.

Лесопромышленный факультет



Лесопромышленный факультет берет начало с 1976 года как основа для кадрового и научного потенциала лесного комплекса Иркутской области. Факультет прошел длинный путь развития, формируя прочный и высококвалифицированный коллектив, высокотехнологичные лаборатории и специализированные аудитории, производственные базы и многое другое.

С 2003 г. факультет осуществляет многоуровневую подготовку по направлению – 554200 «Лесное дело». На выпускающих кафедрах факультета работают высококвалифицированные специалисты – доктора и кандидаты наук, профессора и доценты. На факультете обучаются аспиранты по пяти научным специальностям.



только теоретическую, но и практическую подготовку студентов. Арендзуемый университетом участок лесного фонда и филиалы кафедр позволяют организовать практическую подготовку студентов в производственных условиях.

Сегодня лесопромышленный факультет занимает ключевые позиции в развитии лесного комплекса Иркутской области, участвует в прикладных федеральных и региональных программах по выполнению НИОКР, ведет совместно с Министерством промышленной политики и лесного комплекса разработку концепции развития лесного комплекса до 2018 г., формирует и развивает инновационные методы кооперации промышленных предприятий лесного комплекса с вузом.

Научные направления факультета – это рациональное природопользование, лесная экология, экологически безопасные ресурсосберегающие технологии переработки древесины.

В состав факультета входят:

- Базовая кафедра лесных машин и оборудования (Базовая кафедра ЛМиО);
- Кафедра воспроизводства и переработки лесных ресурсов (ВиПЛР);
- Лаборатория дизайна и производства мебели ЛПФ ФГБОУ ВО «БрГУ»;
- Научно-образовательный инновационно-производственный центр «Учебно-опытный лесхоз»;

Состав лабораторной базы:

- Лаборатория «Технология машиностроения», аудитория №3009А;
- Лаборатория «Лесные машины», аудитория №3009;
- Лаборатория «Гидравлика», аудитория №3010;
- Ангар – «Модуль».

В составе факультета две выпускающие кафедры, которые ведут подготовку специалистов по шести профилям подготовки:

Направление «Технологические машины и оборудование»

Профиль «Машины и оборудование лесного комплекса»

Квалификация – бакалавр.

Кафедра «Лесные машины и оборудование» является единственной в регионе от Красноярска до Хабаровска, готовящая высококвалифицированные кадры бакалавров – механиков лесного профиля.

Большинство технологических операций по заготовке, транспортировке и переработке древесины выполняются современными высокопроизводительными отечественными и зарубежными машинами на базе автомобилей, колесных и гусеничных тракторов, раскряжевочно-сортировочных линий и оборудования шпало-лесопильных цехов.

Для формирования специальных знаний и навыков обучающиеся изучают: основы конструирования лесных машин; теорию и конструкцию лесных машин; техническую эксплуатацию лесозаготовительных машин; проектирование технологического оборудования лесных машин; ремонт лесозаготовительных машин; дорожно-строительные машины; технологию и оборудование лесозаготовок; основы маркетинга и предпринимательской деятельности; экономику производства и предприятия; организацию, планирование и управление производством и др.

Кафедра имеет в своем составе необходимые лаборатории для изучения конструкций автомобилей, тракторов и лесных машин на их базе, освоения ремонта и технического обслуживания. Кафедра «Лесные машины и оборудование» привлекает обучающихся к научной работе и направляет выпускников для обучения в аспирантуре.

Направление «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»
Профили «Лесоинженерное дело», «Технология деревообработки», «Технологии и дизайн мебели»

Квалификация – бакалавр.

Лес – важнейшее природное богатство. Универсальные свойства древесины широко используются в народном хозяйстве.

Современная лесозаготовительная промышленность – это высокоразвитая отрасль народного хозяйства страны, применяющая разнообразные лесозаготовительные, лесотранспортные и лесообрабатывающие машины и оборудование.

На подготовку бакалавров данного профиля направлен учебный процесс, в ходе которого обучающиеся изучают гуманитарные и социально-экономические, математические и естественно-научные дисциплины. Специальную технологическую подготовку будущие бакалавры получают при изучении специальных дисциплин: технология и оборудование лесопромышленных производств, транспорт леса, комплексное использование древесины, экономика, организация, планирование и управление производством и др.

Выпускники окончившие факультет по профилю «Лесоинженерное дело», работают на инженерных должностях в производственных подразделениях Братского и Усть-Илимского ЛПК, в леспромхозах и лесохозяйственных предприятиях региона, а также могут продолжить свое обучение в аспирантуре нашего университета или других лесотехнических вузах страны.

Деревообработка – одно из древнейших ремесел человека, не потеряла своей значимости и в настоящее время. Повсюду нас окружают изделия из древесных материалов. Это красивая и удобная мебель, полы, окна и двери наших домов, легкие планеры и изящные гибкие лыжи, каркасы и обшивка различных зданий и сооружений и др.

В России практически нет городов, где не было бы деревообрабатывающих предприятий или предприятий других отраслей промышленности, включающих в состав участки и цехи по производству изделий из древесины. Потребность в выпускниках данного профиля реализуется на лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях, мебельных, спичечных и фанерных комбинатах, заводах по производству плитных и композиционных материалов, спортивного инвентаря, в деревообрабатывающих цехах предприятий машиностроения и металлургии и др.



Направление «Ландшафтная архитектура»
Профиль «Садово-парковое и ландшафтное строительство»

Квалификация – бакалавр.

В процессе обучения по профилю «Садово-парковое и ландшафтное строительство» предусматривается изучение гуманитарных, социально-экономических и естественно-научных дисциплин.

Специальную подготовку обучающиеся получают при изучении следующих дисциплин: декоративное растениеводство; архитектурная графика и основы композиций; ландшафтоведение; градостроительство с основами архитектуры; садово-парковое искусство; ландшафтная архитектура и др. Проведение учебных и производственных практик предполагается на базе учебно-опытного лесхоза и предприятий зеленого строительства г. Братска и г. Иркутска.

Объектами профессиональной деятельности выпускников являются объекты ландшафтного строительства и лесопаркового хозяйства, ландшафтной архитектуры.

Направление «Лесное дело»
Профиль «Лесное дело»

Квалификация – бакалавр.

В 2003 году в БрГУ открыта многоуровневая подготовка по направлению «Лесное дело». Первая ступень подготовки – бакалавр лесного дела. Эта специальность для людей, увлеченных охраной и защитой лесов, лесопарковым и ландшафтным строительством. Объектами профессиональной деятельности выпускников являются леса, технологические процессы по воспроизводству, улучшению породного состава, качества лесных насаждений; сбережение, охрана, защита и рациональное использование лесного фонда, лесопарки, естественные и искусственные ландшафты.

В процессе учебы обучающиеся изучают интересные и разнообразные дисциплины: морфология и систематика растений; лесная энтомология и фитопатология, дендрология; лесоведение и лесоводство; таксация леса; мониторинг лесных земель. Обучающиеся ежегодно проходят несколько учебных и производственных практик на базе учебно-опытного лесхоза и предприятий.

Лучшие выпускники могут перейти на высшие ступени многоуровневой подготовки. На высшей ступени многоуровневой подготовки – магистерской – в течение 2 лет можно изучить следующие направления лесного дела: лесные культуры, селекция и семеноводство; лесоустройство, лесная таксация, управление лесами и природопользование. Выпускники магистратуры могут обучаться в аспирантуре по специальностям «Лесоведение, лесоводство, лесные пожары и борьба с ними» и «Экология».

Наиболее одаренным обучающимся предоставляется возможность стажировки или продолжения учебы в ведущих лесных вузах страны или за рубежом.

Для поступающих на специальности Лесопромышленного факультета установлены вступительные экзамены по предметам:

- Русский язык, Математика, Физика – для МЛ, ЛИД, ТДО и ТиДМ;
- Русский язык, Математика, Биология – для ЛД и СПС.

© Информация взята с официального сайта ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», <http://xn--90ae2bn.xn--p1ai/>.

Лесоинженерное дело

УДК 674.81: 62-6:62-95

ТЕНДЕНЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО И АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСОВ

А.Р. Садрtdинов, Р.Г. Сафин, Л.М. Исмагилова, Т.Х. Галеев, Г.Р. Мингалеева

Использование отходов производства в качестве вторичного сырья или условного топлива для компенсации производственных затрат, является неотъемлемой составляющей экономически эффективного развития предприятия. Предприятия, имеющие большой потенциал использования своих же отходов, относятся к лесопромышленному и агропромышленному комплексам, на которых образуется достаточно большое количество отходов растительного происхождения. В большинстве случаев отходы, образующиеся на ЛПК и АПК, утилизируются с применением процессов сжигания, т.к. это самый оптимальный и простой метод переработки, в процессе которого продукты горения используют для получения горячей воды или пара для технологических нужд, однако сжигание имеет малую эффективность, т.к. не позволяет перерабатывать отходы с влажностью 60-70%. В результате возникла актуальная задача разработки предложений по эффективному использованию отходов производства. В связи с этим был проанализирован биоэнергетический потенциал мирового запаса растительной биомассы, в частности был оценен энергетический потенциал растительной биомассы России, в том числе накопленных и образующихся отходов. Изучены современные методы переработки растительных отходов и сделан вывод, что наиболее перспективным и набирающим популярность, является процесс газификации, которым возможно перерабатывать отходы в широком диапазоне влажности, размеров и содержания примесей. Основным преимуществом газификации является, получение горючего газа, имеющего большой энергетический потенциал. Итогом работы, в результате полного обобщенного анализа всех видов отходов, их качественных и количественных характеристик, а также методов переработки, стали предложенные рекомендации по использованию отходов на малых и крупных предприятиях.

Ключевые слова: отходы, лесопромышленный комплекс, потенциал использования, рекомендации.

The use of waste products as secondary raw materials or conventional fuel to compensate for production costs is an integral part of a cost-effective enterprise development. Companies that have a lot of potential use their own wastes are wood and agricultural, which formed quite a large number of vegetable waste. In most cases the waste generated in the timber industry and agriculture, recycled using combustion processes, as this is the best and easiest method of processing, during which the products of combustion is used to produce hot water or steam for process needs, however, has a low burning efficiency, because it does not allow the recovery of waste with a humidity of 60-70%. As a result, there was an urgent task to develop proposals for the efficient use of waste products. Therefore it was analyzed bioenergetic potential world reserves of plant biomass, in particular energy potential was assessed Russian plant biomass, including accumulated and vegetable waste generated. Studied modern methods of processing plant waste, and concluded that the most promising and increasingly popular, gasification is the process by which the waste may be processed in a wide range of moisture content, size and content of impurities. The main advantage of gasification is to obtain a combustible gas having high energy potential. The result of the work, as a result of the generalized full analysis of all types of waste, their qualitative and quantitative characteristics, as well as processing techniques have become the proposed recommendations on the use of waste in small and large enterprises.

Keywords waste, timber industry, potential use, recommendations.

Введение

Согласно анализу данных о растительной биомассе и ее биоэнергетическому потенциалу в мире и в частности в России, леса Земли занимают 30 % поверхности суши. Большая часть - это естественные леса, а плантации занимают около 5 % площади, занятой лесом [1]. Тропические и субтропические леса составляют 56% лесов в мире, в то время как остальное умеренные и арктические леса. Суммарный объем древесной биомассы определенный для 166 стран, оценивается в 420 млрд. т. Значительная часть ресурсов древесной биомассы сосредоточено в Южной Америке и приблизительно 27 % приходится на Бразилию. На долю России приходится около 22 % [2-3].

При переработке деловой древесины около 40 % сырья превращается в первичные и вторичные отходы. Эти отходы могут использоваться только как источник энергии - непосредственно или в виде топлива с улучшенными потребительскими свойствами. Таким образом, 70-75% мировой заготовки древесины представляют потенциальный возобновляемый источник энергии. К этому можно добавить отходы лесозаготовок и лесного хозяйства, которые включают крону деревьев и другую лесную биомассу [4-8].

Энергетический потенциал отходов

При рассмотрении существующей структуры ресурсов биотоплива в России выявлено следующее. По данным Федерального агентства лесного хозяйства и Минсельхоза РФ общее количество отходов в агропромышленном комплексе (АПК) достигает более 650 млн.т (из них твердые - 109 млн.т), а отходов из древесной биомассы порядка 700 млн.т.

Рассматривая отходы сельского хозяйства, определено, что наибольшая часть отходов приходится на отрасль животноводства (56%), второе место занимают отходы растениеводства (35,6%), а на долю перерабатывающих отраслей приходится 4,7% отходов. В тоже время в растениеводческих отраслях АПК ежегодно образуется 150 тыс.т соломы; 3 тыс.т лузги риса, проса, гречихи, подсолнечника; 1 тыс.т стержней початков кукурузы; 100 тыс.т костры льна; 750 тыс.т семян рапса и других масличных культур; 350 тыс.т отходов сорго (сок, стебельная масса) и т.д. [9-10]. Что касается древесной биомассы, то 72 % всех ресурсов сосредоточены на предприятиях ЛПК (из них 74 % дровяная

древесина и 26 % ветви, сучья и т.д.), на лесопильных предприятиях образуется порядка 11 % (горбыли, рейки, опил и т.д.), около 9 % на деревоперерабатывающих производствах и 8 % на целлюлозно-бумажных комбинатах (ЦБК) в виде коры [11].

Структура ресурсов древесного топлива существенно изменяется по федеральным округам России. Изменения связаны со степенью развитости деревообрабатывающих производств. Энергетический эквивалент этих ресурсов - 285 ПДж, что составляет около 10 % от объема внутреннего спроса на первичную энергию в России - 964 млн.т условного топлива или 2825 ПДж. В лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности в год потребляется 13 млн.т условного топлива (380 ПДж), т.е. 75 % потребностей этой отрасли могут быть покрыты за счет собственных энергетических ресурсов. В настоящее время на долю древесной биомассы в потреблении топлива лесопромышленным комплексом России приходится менее 4,0 млн. т условного топлива (117 ПДж), т.е. около 30 % от отраслевой потребности в топливе [5, 12-13]. Таким образом, располагаемый ресурс используется меньше, чем на половину. В настоящее время около 14 % мирового потребления энергии обеспечивается биомассой. Приблизительно 25 % из этого количества приходится на индустриальные страны, которые заинтересованы в инвестициях, способствующих сокращению выбросов парниковых газов [14]. Большая часть энергии из биомассы используется для потребностей в энергии домашних хозяйств в развивающихся странах. Мировой потенциал энергии биомассы составляет около 100 ЭДж, из них более 40 ЭДж приходится на древесную биомассу. При полном использовании энергетического ресурса биомассы его достаточно для обеспечения 30 % современного мирового потребления энергии, а использование только древесной биомассы достаточно для покрытия 12,5 % мирового потребления энергии [15-16].

Потенциал отходов древесной биомассы особенно важен для стран, в которых леса покрывают значительную часть территории, например для Канады, США, скандинавских стран и, в первую очередь, для России. Потенциал отходов лесного хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности составляет около четверти всех исследованных ресурсов биомассы [17]. Подобным образом

обстоит дело и с потенциалом биомассы сельскохозяйственного происхождения, который высок в странах с большими площадями земель, занимаемых сельскохозяйственными культурами, к которым относится и Россия.

Полученная информация доказывает важность переработки отходов ЛПК и АПК и актуальность разработки новых востребованных технологий комплексной энергетической переработки биомассы, позволяющих наиболее полно извлечь из нее ценные и полезные продукты, такие как тепло и электричество, а также продукты и сырье для химической промышленности.

Характеристика отходов

Исследование видов растительной биомассы показало, что для АПК и ЛПК приняты различные классификации образующихся отходов. Вначале была изучены виды отходов АПК.

К сельскохозяйственным отходам относятся органические отходы отраслей растениеводства, животноводства и перерабатывающей промышленности.

Отходы сельскохозяйственных производств делятся на используемые и неиспользуемые. Используемые отходы – отходы, относительно которых имеется возможность и целесообразность их использования непосредственно или после обработки. Используемые отходы рассматриваются как вторичные сырьевые ресурсы. К этой группе отходов относится наибольшее число отходов в АПК, которые могут быть реализованы в дальнейшем (после обработки) в качестве сырья или добавок к нему при производстве новой продукции либо непосредственно (без переработки) как продукция другого назначения (например, корма) [18]. Неиспользуемые отходы – отходы производства, для которых на сегодняшний день не установлена возможность или целесообразность использования как непосредственно, так и после обработки.

Вторичные сырьевые ресурсы и отходы АПК можно классифицировать по следующим признакам:

- по источникам образования: растительные (стебли зерновых и технических культур, корзинки и стебли подсолнечника, льняная костра, стержни кукурузных початков, картофельная мезга, отходы сенажа и силоса, свекловичный жом, жмых (шрот), зернокартофельная барда, виноградные

выжимки и т.д.); животные – кровь, кость, сыворотка, молочные отходы, навоз и т.д.;

- по агрегатному состоянию: твердые, пастообразные, жидкие и газообразные;

- по материалоемкости: многотоннажные (условно свыше 100 тыс. т в год) – солома, картофельная и кукурузная мезга и др.; малотоннажные (условно до 100 тыс. т в год) – гудрон, остаточные пивные дрожжи, табачные отходы и др.;

- по направлениям последующего использования: для производства пищевых продуктов путем промышленной переработки, в качестве кормов в сыром или доработанном виде, в качестве сырья для производства продукции технического назначения (как сырье для переработки в смежных отраслях), в качестве удобрений, в строительстве, в качестве топлива.

Основные виды отходов для производства твердого, жидкого или газообразного биотоплива, относятся к растениеводческому подкомплексу АПК, а именно солома, сечка и шелуха зерновых и крупяных культур, лузга, стебли и листья сельскохозяйственных растений, стержни початков кукурузы и оболочка кукурузных зерен, костра льна и другое растительное сырье. Потенциально возможные объемы растительного сырья и отходов для использования в энергетике России позволят уже в 2020 г. получить более 10600 тыс.т условного топлива [19].

Исходя из ранее представленной классификации отходов АПК, отходы растениеводства можно классифицировать следующим образом:

- по агрегатному состоянию – являются твердыми отходами;

- по технологической стадии получения – при первичной переработке сырья;

- по материалоемкости – являются многотоннажным сырьем;

- по степени использования – полностью используемые;

- по степени воздействия на окружающую среду – являются безопасными;

- по направлениям последующего использования – могут использоваться на кормовые, пищевые и технические цели.

Анализ отходов ЛПК показал, что при рассмотрении древесинных отходов как топливо, их можно разделить на первичное топливо (относится сырье, которое не подходит для

другого использования – дровяная древесина, порубочные остатки, пни и корни деревьев, хвоя, древесина кустарников, древесина от рубок ухода, неликвидная древесина, отходы деревообработки и др.) и вторичное топливо (сырье, используемое в целях не связанных с энергетикой). Отдельным видом топлива, связанного с переработкой древесины, являются продукты ЦБП [2, 20].

Лесная биомасса включает фитомассу древесной растительности, биомассу сухостоя и захламленности. Сырьем для производства топлива могут служить составляющие всех частей дерева. При более детальном рассмотрении отходов ЛПК была сформирована классификация по следующим укрупненным признакам:

- по экологическому (влияние отходов на окружающую среду);
- по размерно-качественному (направлениям использования древесных ресурсов и их потребительским свойствам);
- по экономическому (доступности ресурсов);
- по производственному (лесозаготовки, лесопереработка, деревообработка).

В свою очередь отходы по производственному признаку могут быть разделены на отходы лесозаготовительной промышленности (получаемые в процессе заготовки и вывозки древесины из леса, не имеющие экономической ценности) и отходы лесоперерабатывающей промышленности (образующиеся в процессе производства пиломатериалов, фанеры, древесностружечных плит и т.п.). Древесные отходы также рассматриваются по следующим источникам образования.

Отходы лесозаготовительной промышленности включают:

- отходы лесозаготовок на лесосеке (тонкомерная древесина, валежник, обломки стволов, отходы кроны в виде сучьев, ветвей, вершинки, хвои, листьев, а также пни и корни);
- отходы, образующиеся на погрузочной площадке (верхнем складе) – отходы кроны и отходы раскряжевки (опилки, козырьки и откомлевки);
- отходы, образующиеся на нижнем складе (сучья, ветви, вершинки, древесная зелень, откомлевки, козырьки, опилки, низкокачественная стволовая древесина и кора).

Отходы лесоперерабатывающей промышленности разделяют на отходы механической и химической переработки древесины. При механической переработке древесины в лесопилении и деревообработке образуются кусковые отходы в виде горбылей, рейки, срезков, отрезков бревен и мягкие отходы в виде опилок, стружек, шлифовальной пыли; в фанерном производстве карандаши, отструг, отрезки чураков, шпон-рванина, а также кора. При химической переработке древесины образуется лигнин и черные щелока (отходы гидролизного производства).

Качественно отходы переработки древесины можно классифицировать:

- по сортаментам исходного сырья (отходы пиломатериалов, отходы фанеры и древесноволокнистых плит, отходы древесностружечных плит);
- по породам древесины (хвойная, лиственная);
- по влажности (сухие до 15 %, полусухие 16-30 %, влажные 31 % и выше, мокрые 100%);
- по структуре (кусковые крупные, кусковые средние, кусковые мелкие, сыпучие).

Представленная классификация в достаточной степени условна. Полный учет всех признаков возможен лишь при конкретном рассмотрении каждого вида отходов. В этой связи были проанализированы свойства отходов ЛПК и АПК.

Различные виды биомассы обладают множеством свойств, часть которых существенны с точки зрения использования отходов в качестве топлива или сырья для производства топлива.

Важнейшей характеристикой сырья является его элементный состав, определяемый как выраженная в процентах массовая доля элемента в соответствующей массе сырья. Элементный состав древесной биомассы очень мало зависит от породы дерева и от части ствола (сердцевина, ядро, заболонь), в отличие от коры. Горючая масса древесины характеризуется следующим компонентным составом: С = 50-51 %; Н = 6 %; О = 43-44 %; N = 0,6 %. Для коры ели, сосны и осины величина аналогичных элементов отличаются незначительно: С = 51-53 %; Н = 5,5-6,5 %; О = 39-40 %; N = 1,5-2,5 %. Только кора березы (береста) имеет иной состав: С = 69 %; Н = 8,7 %; О = 22 %; N = 1,3 %. Кора всех пород деревьев содержат 0,03-0,07 % серы [21-22]. Элементный состав горючей массы для

хвои и листья также близок к составу древесины. Зольность древесины, определяемая наличием в ее составе минеральных веществ, в расчете на сухую массу не превышает 1 %. Зольность ветвей, сучьев и коры не отличается от зольности стволовой древесины. Зольность чистой коры несколько выше и составляет для сосны 1,4-2,2 %, ели – 2,3 %, березы – 2,4 %, осины – 2,7% [21].

Влажность также один из важных параметров особенно для древесного сырья. Из-за влажности рабочая масса древесного сырья может изменяться в широких пределах, чем любая другая составляющая рабочей массы сырья. Для свежесрубленной древесины и коры влажность составляет 40-60 %. Для воздушно-сухой древесины, пролежавшей на открытом воздухе летний сезон влажность составляет 13-17 %. Отходы деревообрабатывающих производств могут иметь влажность 5-20 %. Очень высока влажность коры после «мокрой» окорки на ЦБК - до 80% [23].

Не маловажной характеристикой сырья является его теплота сгорания. Так как состав горючей массы древесного топлива практически не зависит от породы, то и низшая теплота сгорания для сухого обеззоленного топлива одинакова для стволовой древесины и составляет 18,8 МДж/кг. Для абсолютно сухой коры сосны она составляет 20-21 МДж/кг, ели – 18-19 МДж/кг, осины – 21 МДж/кг, березы – 22,7 МДж/кг, лиственницы – 22 МДж/кг. Низшая теплота сгорания абсолютно сухой хвои сосны составляет 20,6 МДж/кг, листья березы – 19,1 МДж/кг [24].

Зависимость теплоты сгорания от влажности, является важнейшей особенностью древесного топлива, т.к. в зависимости от влажности древесина не уступает по величине теплоты сгорания торфу, сланцам, твердым бытовым отходам, а при малых значениях влажности не уступает бурому и каменному углю.

Также следует учесть параметр выхода летучих, при нагревании сырья без доступа воздуха, т.к. этот параметр весьма важен при проектировании установок по термической переработке и утилизации отходов. Для древесины всех пород выход летучих 85 %, для коры ели – 72,5 %, сосны – 80%, березы – 77 %, осины – 65 % [25-26]. Исходя из рассмотренных основных свойств сырья, были сформированы краткие характеристики следующей биомассы.

Дрова – расколота, распиленная или круглая древесина с корой из стволов, веток, пеньков. Влажность 55-60 %, после сушки в летний период влажность может снизиться максимум на 15 %. Зольность менее 2 % сухого вещества.

Дробленая древесина – сырье в границах от лесорубочных остатков до использованных деревянных конструкций и изделий. Оно может быть различной влажности и представляет собой куски разной величины. Именно дробленое сырье из вторичной древесины используется в газификаторах, поскольку приготовление из него однородной щепы затруднено, и оно может иметь примеси в виде песка, красок, лаков, связующих. Зольность достигает 10% и более.

Щепа – имеет кускообразную форму с относительно чистой поверхностью среза и относительно одинаковым размером кусков. Влажность щепы зависит от влажности древесины, а зольность 0,6 % для древесины ствола, 3 % для веток и коры, 5 % для хвои.

Опилки и стружка - побочный продукт при деревообработке. Размер частиц 1-5 мм. Влажность зависит от перерабатываемого материала (от 4 % до естественной влажности), а зольность составляет менее 0,5 %.

Кора – в чистом виде может быть использована как топливо. Особенностью коры является высокая влажность (80-150 %). Характеризуется повышенной по сравнению с древесиной зольностью (4% и более) из-за примесей, попадающих в нее за период роста дерева, транспортировки и хранения [27].

Древесный порошок – имеет низкую влажность (до 5%). Зольность не превышает 0,3%.

Аналогичным образом было проанализировано и охарактеризовано другое сырье, а полученные данные сведены в табл. 1.

Методы переработки отходов

Изучение различных способов переработки биомассы, показало, что отходы ЛПК и АПК можно перерабатывать различными методами. Однако изучение свойств древесных отходов выявило, что не все методы могут быть применимы к конкретным видам отходов, в результате чего были проведены исследования по определению применимости тех или иных методов переработки. Рассматривались следующие основные виды растительных отходов ЛПК и АПК.

Таблица 1 – Характеристика некоторых видов биомассы

Вид топлива	Влага, % масс.	Зола, % масс.	Сера, % масс.	Хлор, % масс.	Теплота сгорания, сухая б/зол., МДж/кг	Удельный вес, кг/м ³
Опилки	8 - 60	0,4 - 0,6	0 - 0,3	0 - 0,05	16 - 18	200 - 350
Гранулы, брикеты	9 - 10	0,4 - 0,8	0 - 0,3	0 - 0,05	19 - 21	550 - 700
Энергетический лес	25 - 50	1 - 5	0,005 - 0,03	0,01 - 0,1	18 - 20	200 - 350
Кора	21 - 65	2 - 6	0 - 0,01	0 - 0,02	20 - 25	300 - 550
Солома	10 - 20	4 - 10	0,05 - 0,2	0,05 - 1,5	18 - 20	Низкий
Зерновые	14	2 - 4	0 - 0,5	0,02 - 2,3	17 - 22	250 - 390
Шелуха зерновых	12	10	0,2	0,2	20	Высокий
Зерна какао	7	5	0,3	0,02	30	495
Отходы цитрусовых	8 - 10	4 - 7	0,2	0,02	21	600
Навоз, помет	4 - 92	15 - 42	0,3 - 1,1	0,6 - 2,4	19 - 21	Низкий

Древесная мука и пыль. Один из методов переработки это сжигание, которое позволяет обеспечить практически безотходную утилизацию, однако для этого требуется оборудование, имеющее специальные распылительные горелки, стоимость которых довольно высока [24]. Поэтому древесную пыль сжигают преимущественно в котельных или ТЭЦ, работающих на пылевидном угле или торфе. Также данные отходы можно газифицировать в газогенераторах с вихревым циркуляционным потоком с получением синтез-газа или жидкого биотоплива, полученного при конденсации газа [28]. Однако, как и в случае сжигания, стоимость конструкции таких газогенераторных установок весьма высока и капиталоемка. Другим методом переработки является использование древесной муки и пыли в технологиях создания композиционных материалов, клеевых составов, шпатлевки, замазки и т.д. Такой подход позволяет создать безотходное производство и получить готовый продукт.

Мелкофракционные отходы (опилки, стружка и щепа). Термические методы (сжигание,

газификация и пиролиз) на сегодняшний день являются основными в переработке мелкофракционных отходов. Однако существуют и другие менее распространенные методы, такие как автогидролиз, применяемый в целлюлозно-бумажной промышленности. Опилки и стружки также возможно использовать и в производстве ДСтП, ОСП и т.д. Наиболее развивающимся направлением переработки опилок является получение экологически чистого топлива с улучшенными свойствами

методом прессования опилок в брикеты, пеллеты и гранулы.

Кусковые отходы. Кусковые отходы являются крупномерными отходами и поэтому их перерабатывают в основном термическими методами (сжигание, газификация и пиролиз), т.к. другие методы переработки включают дополнительные этапы подготовки сырья и излишние финансовые затраты.

Отходы лесозаготовок (кора, древесная зелень, сучья, ветви и т.д.). Основным методом переработки коры является экстракция, т.к. кора содержат комплекс веществ, обладающих высокой биологической активностью (витамины, ферменты, белки, жиры и другие вещества), представляющих практический интерес. Кору возможно перерабатывать и термическими методами, однако это не безопасно с экологической точки зрения в связи с содержанием в коре серы, что приводит к образованию токсичных выбросов и требует установки дополнительных систем очистки газообразных продуктов [29].

Отходы целлюлозно-бумажного производства. Переработка данных отходов является сложной задачей, вследствие содержания в них различных солей, щелочей и других, трудно перерабатываемых веществ. К данным отходам также возможно применить термические методы переработки, кроме сжигания, т.к. и в случае коры будут образоваться токсичные выбросы [29].

Лузга подсолнечника и шелуха зерновых. Для переработки наиболее перспективен метод быстрого пиролиза, так как применение методов сжигания и газификации не целесообразно из-за размерных и влажностных характеристик сырья.

Пиролиз позволяет при умеренных температурах (450-550°C) получать до 70-80% жидкого топлива (бионефть) от массы сухого вещества, а также газообразного топлива (пиролизный газ). Бионефть является промежуточным продуктом и используется для производства разных видов моторного топлива, а также в качестве котельного топлива как альтернатива мазуту [22].

Солома. Также как и другие отходы АПК, солому в основном перерабатывают методом пиролиза с получением аналогичных продуктов с незначительным изменением их состава. Кроме того солома содержит большее количество хлора и серы относительно других отходов, что не позволяет использовать сжигание и отчасти газификацию, вследствие образования токсичных соединений, таких как фураны и диоксины. Пиролиз же позволяет связать данные компоненты в жидкости (бионефти). Другим методом переработки соломы является ее каталитическая деполимеризация. Процесс заключается в термическом растворении твердой биомассы в присутствии доноров водорода с участием катализатора. Основной продукт термического растворения – жидкий субстрат, который можно перерабатывать в моторное топливо. Данный метод также применим при переработке древесины и торфа.

Рассмотренные сведения о возможных методах и технологиях переработки применительно к конкретным видам отходов были проанализированы и сведены в табл. 2.

Рекомендации

Анализ древесной биомассы, данных по ее образованию и возможных методов переработки, позволил выработать методику выбора технологии переработки древесных отходов и дать рекомендации для малых, средних и крупных предприятий. Методика заключается в рассмотрении характеристик и данных по образованию каждого конкретного вида отхода и выработке рекомендаций по оптимальному методу переработки.

Рекомендации для малых и средних предприятий. Согласно проведенным исследованиям в большинстве малых и средних предприятиях в преобладающем количестве образуются опилки и стружка, чуть меньше кусковых отходов и практически незначительное количество древесной пыли. Однако данные объемы отходов не позволяют перерабатывать их различными методами. Например, для

производства ДСтП таких количеств опилок недостаточно, а также требуется внедрение специальной линии. Изготовление брикетов, пеллетов и гранул, при малых объемных выходах опилок и стружек, также не рационально вследствие дополнительных капитальных затрат на оборудование и экономической не целесообразности. Решением для малых и средних предприятий является применение термических методов переработки отходов с утилизацией образующегося тепла.

Сжигание это самый оптимальный и простой метод переработки, в процессе которого продукты горения (топочные газы) используют для получения горячей воды или пара для технологических нужд, однако сжигание имеет малую энергетическую эффективность и практически не позволяет перерабатывать отходы с влажностью 60-70%. Пиролиз также является менее рациональным методом, т.к. имеет жесткие требования к организации процесса переработки, что требует более сложного и дорогого оборудования. Кроме того, на процесс пиролиза, как и на сжигание, большое влияние оказывает влажность, что отражается на составе пиролизного газа и бионефти, а также на количестве и качестве образуемого угля.

Наиболее развивающимся и перспективным направлением переработки отходов на малых и средних предприятиях является метод газификации. Метод имеет преимущества над сжиганием и пиролизом, т.к. позволяет практически безотходно перерабатывать любые виды отходов различной влажности в горючий газ, который в дальнейшем используют в котлах для получения горячей воды и пара. Также нужно отметить, что для малых и средних предприятий получение горючего газа наиболее выгодно, чем качественного синтез-газа, т.к. это приводит к удорожанию технологического процесс, а необходимость и применимость такого синтез-газа ставится под вопрос.

Рекомендации для крупных предприятий. Крупные предприятия укрупнено делятся на лесозаготовительные и деревообрабатывающие производства. На каждом из них образуются большие объемы всевозможных видов отходов. Основными методами переработки для лесозаготовительных предприятий являются экстракция и газификация. Экстракцию применяют для коры и древесной зелени, а газификацию для образующихся опилок и кусковых отходов, имеющих высокую

влажность. На крупных деревообрабатывающих производствах, отходы в виде опилок и стружек можно использовать при производстве ДСтП,

однако это требует внедрения производственной линии, что экономически не выгодно, а вывозить отходы на такие производства затратно.

Таблица 2 – Возможные варианты методов переработки отходов

Отходы	Древесная мука	Опилки	Стружка	Щепа	Кусковые отходы (обрезки досок)	Кора	Отходы лесозаготовок (сучья, ветви, кора)	Отходы целлюлозно-бумажного производства
Методы переработки	С, Г, ДКМ	С, Г, ДКМ, П (БП), Пр, АГ	С, Г, ДКМ, П (БП), АГ	С, Г, П, АГ	С, Г, П	С, Г, БП, Э	С, Г, Э	Г, П, МБ
Получаемый продукт	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, жидкие продукты, древесно-полимерные композиты	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, бионефть, пиролизный газ, гранулы и pellets, древесно-полимерные композиты, целлюлозный нанопорошок	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, бионефть, пиролизный газ, ДСтП и ОСДП, целлюлозный нанопорошок	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, уголь, бионефть, пиролизный газ, целлюлозный нанопорошок	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, уголь, бионефть, пиролизный газ	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, бионефть, пиролизный газ, экстрактивные вещества (масла, эфиры)	Тепловая энергия, технологический пар, синтез-газ, экстрактивные вещества (масла, эфиры)	Синтез-газ, бионефть, пиролизный газ, различные товарные продукты

Примечание: С – сжигание; Г – газификация; ДКМ - использование в композиционных материалах; П – пиролиз; БП – быстрый пиролиз; Пр – прессование; АГ – автогидролиз; Э – экстракция; МБ – микробиологическая переработка; КД – каталитическая деполимеризация

Закключение

Анализ существующих способов, технологий и оборудования, показывает, что как и для малых предприятиях, оптимальными вариантами для крупных предприятий являются термические методы переработки, т.к. возможны варианты использования и сжигания, и пиролиза, и газификации. Метод сжигания оптимален при переработке крупномерных отходов, такие как горбыль, и сухих отходов влажностью 8-15%, однако при повышении влажности эффективность резко снижается. Метод пиролиза оптимален при переработке сухого сырья с получением угля или бионефти, однако не позволяет перерабатывать крупномерные и высоковлажные отходы. Метод газификации позволяет перерабатывать все виды отходов различной влажности, однако при переработке крупномерных отходов вне зависимости от влажности снижается интенсивность процесса газификации, а

следовательно, выход горючего газа (синтез-газа). В отличие от малых и средних предприятий получение качественного синтез-газа на крупных предприятиях принципиально значимо в связи с возможностью организовать малое производство ценных товарных продуктов из синтез-газа, одним из которых может быть производство диметилового эфира или метанола, т.к. эти продукты востребованы на мировом и Российском рынке [30-31].

Представленные результаты получены в рамках реализации гранта Президента РФ МК-3434.2015.8 (договор № 14.Z56.15.3434-МК от 16.02.2015 г.).

Литература

1. Елистратов, В.В. Климатические факторы возобновляемых источников энергии. / В.В. Елистратов, Е.М. Аментьева, М.М. Борисенко, Н.В. Кобышева. - Электрон. дан. - СПб. : СПбГПУ, 2010. - 235 с.

2. Лесная биоэнергетика / Под ред. Ю.П. Семенова. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 348 с.

3. Тимербаев, Н.Ф. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова // Вестник Казанского технологического университета, 2011. – №4. – С.79-84.

4. Тунцев, Д.В. Энерго- и ресурсосберегающая технология сушки и утилизации отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, А.С. Савельев, И.С. Романчева // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе, 2015. – С. 367-369.

5. Садртдинов, А.Р. Эффективность газогенераторных установок по переработке отходов растительного и синтетического происхождения при выработке энергии / А.Р. Садртдинов, Т.Х. Галеев, А.Л. Тимербаева, Ф.Ф. Шагеев // Вестник Югорского государственного университета, 2015. – № S2 (37). – С. 108-110.

6. Установка для производства древесного угля: пат. 2468061 Российская Федерация / Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Р.Г. Сафин, Р.Р. Сафин, А.Е. Воронин, А.Р. Садртдинов, И.И. Хуснуллин. – № 2011103417/05, заявл. 31.01.2011; опубл. 27.11.2012, Бюл. № 33.

7. Тимербаев, Н.Ф. Непрерывно действующая мобильная установка для производства древесного угля / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Садртдинов, В.В. Степанов // Вестник Казанского технологического университета, 2011. – № 18. – С. 201-205

8. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии: Учебник / Под ред. А.И. Завражнова. - СПб.:Издательство «Лань», 2013. - 496 с.

9. Тунцев, Д.В. Ресурсосбережение при утилизации отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, Э.Е. Антипова, И.Ф. Гараева // Вестник технологического университета, 2015. – Т. 18. – №5. – С. 248-250.

10. Рециклинг отходов в АПК : справочник. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 296 с.

11. Завражнов, А.И. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии - Электрон. дан. - СПб. : Лань, 2013. - 496 с.

12. Тимербаев, Н.Ф. Технологии газификации древесины: перспективы и инновации / Н.Ф. Тимербаев, А.Р. Садртдинов, И.Н.

Ковернинский, Л.Р. Смирнова, Т.Х. Галеев, Д.А. Ахметова // Вестник Казанского технологического университета, 2014. – Т. 17. – № 15. – С. 221-226.

13. Грачев, А.Н. Технология быстрого пиролиза при энергетическом использовании низкокачественной древесины / А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, И.А. Валеев, Р.Г. Хисматов, А.А. Макаров, Д.В. Тунцев // Энергетика Татарстана, 2008. – № 4. – С. 16-20.

14. Тимербаев, Н.Ф. Комплексный метод очистки топочных газов образующихся при сжигании твердых бытовых отходов / Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, А.Р. Садртдинов / Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология, 2008. – Т. 51. – № 12. – С. 96-99.

15. Садртдинов, А.Р. Альтернативное моторное топливо из растительной биомассы / А.Р. Садртдинов, Л.М. Исмагилова, Т.Х. Галеев / Современное состояние и перспективы развития научной мысли, 2016. – С. 49-51.

16. Сафин, Р.Г. Разработка технологии переработки высоковлажных древесных отходов в высокооктановые компоненты моторного топлива / Р.Г. Сафин, Н. Ф. Тимербаев , А.Р. Садртдинов , Д.Б. Просвирников // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т. 16. – № 7. – С. 250-254.

17. Садртдинов, А.Р. Совершенствование техники и технологии процесса газификации отходов деревообработки : дисс. канд. тех. наук // Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2011. – 139 с.

18. Просвирников, Д.Б. Особенности переработки древесных материалов методом паровзрывного автогидролиза и технологические пути использования получаемого лигно-целлюлозного продукта / Д.Б. Просвирников, В.А. Салдаев // Деревообрабатывающая промышленность, 2012. – № 4. – С. 8-13.

19. Степанова, И.А. Утилизация отходов агропромышленного комплекса: учебное пособие / И.А. Степанова, А.С. Степанов. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 164 с.

20. Холодков, В.С. Оценка ресурсов древесного топлива Ленинградской области с использованием ГИС-технологий: дисс. канд. сель-хоз. наук // С.Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С.М. Кирова, 2008. – 154 с.

21. Сафин, Р.Г. Разработки КНИТУ в области газификации древесных материалов / Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Д.А. Ахметова, Т.О. Степанова // Вестник Казанского

технологического университета, 2016. –Т.19. – №3. – С. 11-14.

22. Tuntsev, D.V. Pyrolyzates: products of plant biomass fast pyrolysis / D.V. Tuntsev, F.M. Filippova, R.G. Khismatov, N.F. Timerbaev // Russian Journal of Applied Chemistry, 2014. –Vol. 87. –№ 9. –Р. 1367-1370.

23. Садртдинов, А.Р. Влияние предварительной тепловой обработки древесных отходов на процесс газификации и качество синтез газа / А.Р. Садртдинов, А.Н. Николаев, А.С. Торопов, В.А. Салдаев // Вестник Казанского технологического университета, 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 89-90.

24. Сафин, Р.Г. Термическая переработка древесных отходов сжиганием / Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиатдинова, Д.А. Ахметова, Т.О. Степанов // Вестник Казанского технологического университета, 2015. – Т. 18. – № 23. – С. 56-59.

25. Тунцев, Д.В. Схема контактного пиролиза отходов лесозаготовки / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, А.М. Касимов, И.С. Романчева., А.С. Савельев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. – Т. 2. – № 2-3 (7-3). – С. 146-149.

26. Газогенератор для газификации влажного топлива : пат. 2453768 Российская Федерация / Р.Р. Сафин, Д.Ф. Зиатдинова, Р.Г. Сафин, Е.Ю.

Разумов, Н.Ф. Тимербаев, А.Е. Воронин, А.Р. Садртдинов, А.Р. Хисамеева. – № 2010154606/06; заявл. 30.12.2010.

27. Саттарова, З.Г. Совершенствование технологии переработки древесных отходов в генераторный газ: дисс. канд. тех. наук // Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань, 2013. – 128 с.

28. Садртдинов, А.Р. Получение древесного угля и жидких продуктов пиролиза / А.Р. Садртдинов, И.И. Хуснуллин, З.Г. Саттарова // Деревообрабатывающая промышленность, 2012. – № 1. – С. 4-6.

29. Тимербаев, Н.Ф. Очистка топочных газов энергетических установок работающих на твердых органических отходах / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Садртдинов // Вестник Казанского технологического университета, 2010. – №11. – С.247-251.

30. Исмаилова, Л.М. Технология утилизации отходов лесопромышленного комплекса с получением целевого продукта - диметилового эфира / Л.М. Исмаилова, А.Р. Садртдинов, Р.Г. Сафин // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность, 2015. – С. 194-197.

31. Поздеев, А.Г. Современный метод получения метанола из древесных отходов / А.Г. Поздеев, А.Р. Садртдинов, Т.Х. Галеев // Вестник Казанского технологического университета, 2013. – Т. 16. – № 20. – С. 160-162.

© **А.Р. Садртдинов** – к.т.н., доцент кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», almaz.sadrtinov@gmail.com; **Р.Г. Сафин** – д.т.н., профессор кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», safin@kstu.ru; **Л.М. Исмаилова** - аспирант кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **Т.Х. Галеев** - аспирант кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **Г.Р. Мингалеева** – д.т.н., профессор кафедры «Котельные установки и парогенераторы», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», mingaleeva-gr@mail.ru.

УДК 630*852

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ ПРИ ПОЖАРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.В. Побединский, С.П. Санников, В.А. Сопига

Исследована проблема оценки повреждений лесонасаждений от пожаров. Задача решается с применением нечеткого моделирования. В качестве визуального диагностического параметра, характеризующего повреждения древесины, принята величина потенциального отпада коры после пожара. На основе нечеткого вывода получена функциональная зависимость величины отпада коры от высоты нагара на стволе и диаметра элемента леса. Формализация процедуры нечеткого вывода включает постановку задачи в общем виде, введение нечеткости, разработку правил нечеткой продукции и нечеткий вывод результирующей функции в среде Fuzzy Logic Toolbox приложения MatLab.

Ключевые слова: повреждение лесонасаждений после пожара; послепожарный отпад коры, высота нагара на стволе; нечеткое моделирование; нечеткий вывод.

The problem of assessment forests damage from forest fires has been studied. The problem is solved using fuzzy modeling. As a visual diagnostic parameter characterizing the damage to the wood, the magnitude of the potential post-fire crust was adopted. On the basis of fuzzy inference, the functional dependence of the crustal decay on the height of the deposit on the trunk and the diameter of the element of the forest was obtained. The formalization of the procedure of fuzzy inference procedure involves setting the problem in general, introduction fuzziness, developing fuzzy product rules, and fuzzy output of the resultant function in the environment in the Fuzzy Logic Toolbox of the MatLab application.

Key words: damage to forest plantations after a fire; Post-fire cortex drop, the height of the deposit on the trunk; fuzzy modeling; fuzzy inference.

Введение

Ежегодно огромные территории лесных насаждений гибнут от пожаров, поэтому в регионе бедствий наносятся колоссальные убытки экономике и экологической обстановке. Решение проблемы лесных пожаров в рамках лесной пирологии носит комплексный характер и охватывает различные направления борьбы с пожарами и устранения их отрицательных последствий. Одним из важных направлений является обоснование и оптимизация лесохозяйственных мероприятий на пройденных пожаром площадях. Для определения комплекса мероприятий важнейшей исходной характеристикой является степень повреждения лесонасаждений от огня. Но в этих вопросах возникает ряд сложностей. Так для определения сезонности заготовок поврежденной древесины необходимо прогнозировать ее биологическое состояние. Если дерево повреждено огнем незначительно и осталось живым, то оно может быть оставлено для дальнейшего роста. При повреждениях, вызывающих гибель дерева, оно подлежит немедленной рубке. Из-за неправильной оценки большое количество деревьев, которые получили критические

повреждения оставляются на подрост, но в летний период они погибают, повреждаются древесными вредителями, теряет техническую ценность, а к зиме связанная и свободная влага не снижается, как у здорового дерева, и зимой насыщенная свободной влагой древесина полностью промерзает. Заготовки такой древесины чрезвычайно сложные, т.к. мерзлая древесина практически не поддается пиленю. Таким образом, для лесозаготовок на площадях, пройденных пожарами, необходима точная оценка состояния древесины. Однако достоверно спрогнозировать дальнейшее развитие состояния дерева не представляется возможным из-за влияния многих факторов и отсутствия необходимых статистических данных. В некоторых работах по этой теме [1] предложены таблицы с данными послепожарного отпада коры, но рассматриваются случаи в ограниченных пределах и результаты получены на основании статистических данных, вызывающие сомнения в репрезентативности статистических выборок для их оценки.

Вместе с тем в науке лесной пирологии накоплен большой потенциал знаний, который на базе современных информационных технологий может и должен дать развитие

новым методам научных исследований в этой предметной области. Здесь можно привести уже достаточно развитое в мировой практике направление приложений теории нечетких множеств (ТНМ) – нечеткое моделирование, которые позволяют более эффективно решать задачи в условиях неопределенности, недостаточности или даже отсутствия информации в любых сферах деятельности человека [3, 4].

Практические приложения алгоритмов нечеткого вывода уже доказали свою эффективность широчайшим спектром их применения, однако в области пирологии, где они с успехом могут проявляться, ТНМ не используется. Основной причиной сложившегося положения можно считать недостаточность исследовательских работ, посвященных вопросам моделирования таких объектов, что не позволяет в полной мере реализовать достижения прогресса.

Таким образом, разработка новых методов моделирования и оценки степени повреждений древостоев от пожаров позволяет решить важную практическую задачу обоснования и оптимизации лесохозяйственных мероприятий на пройденных пожаром площадях и является актуальной.

Целью настоящей работы являлось получение функциональной зависимости повреждений лесонасаждений после пожаров на основе нечеткого моделирования и реализация модели в программной среде Matlab.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- выполнение содержательной постановки задачи моделирования повреждений лесонасаждений после пожаров.
- выполнение практической реализации задачи нечеткого вывода функциональной зависимости повреждений лесонасаждений после пожаров, включающей определение основных параметров с характеристиками нечеткости, обоснование выбора соответствующих функций принадлежности для входных и выходных переменных задачи (приведение к нечеткости);
- разработка и оптимизация базы правил нечеткой продукции;
- синтез нечеткой модели средствами Fuzzy Logic Toolbox приложения Matlab.

Выполнение содержательной постановки задачи моделирования повреждений лесонасаждений при пожарах

В методике выполнения нечеткого вывода [2] содержательная постановка задачи используется для того, чтобы представить эмпирические данные о состоянии объекта в форме определенных эвристических правил. В этом случае выполняется словесное описание задачи состояния объекта в данном случае величины отпада коры в зависимости от заданных параметров. Так же в содержательном описании задачи определены наиболее специфические особенности оценки состояния лесонасаждений.

Общие представления о характеристиках лесонасаждений и влияния различных параметров, типа лесов на состояние деревьев и связи с рассматриваемыми параметрами приведены в работах [1], некоторые результаты которых используются в качестве исходных данных в настоящих исследованиях. Развивая положения указанных работ, в рамках нечеткого моделирования появляется возможность обобщения разрозненных статистических и экспертных данных, и получения более полной картины потенциального отпада коры в зависимости от сочетаний параметров, на основе которых выполняется оценка.

Итак, величина отпада коры является достаточно информативным диагностическим параметром, который пропорционален вероятности гибели дерева [2]. Если сопоставить величину отпада с высотой нагара на стволе и толщиной дерева, то при различных сочетаниях указанных параметров величина отпада принимает разные значения.

Дадим самые основные достаточно достоверные зависимости величины отпада от толщины ствола и высоты нагара в описательном виде, аналогичном правилам в теории нечетких множеств («если $A=B$ и $C=D$ и ... то $m_i=n_j$ и ...») [3], используя ранее проведенные исследования, лесохозяйственную практику, а также известные статистические данные и экспертные оценки:

- если «Толщина ствола» = «Минимальная» и «Высота нагара» = «Минимальная», то «Отпад» = «Малый»;
- если «Толщина ствола» = «Максимальная» и «Высота нагара» = «Минимальная», то «Отпад» = «Минимальный»;

– если «Толщина ствола» = «Средняя» и «Высота нагара» = «Средняя», то «Отпад» = «Малый»;

– если «Толщина ствола» = «Большая» и «Высота нагара» = «Большая», то «Отпад» = «Средний».

Аналогично выводятся правила для других сочетаний лингвистических соотношений входных характеристик и выходной величины, например, «Малый», «Большой», «Средний» и др.

Определение основных параметров для нечеткого моделирования повреждений лесонасаждений при пожарах

Для вывода функции примем величину потенциального послепожарного отпада коры, O , измеряемой в процентах в диапазоне от 0 до 100 %. Эта величина тесно коррелирует с толщиной ствола и высотой нагара на дереве. Исходя из этого, для моделирования примем диаметр $D_{1,3}$ элементов леса на высоте 1,3 м, величина которого изменяется в основном диапазоне заготавливаемой древесины от 12 до 60 см и величину высоты нагара. Параметр высоты h нагара на стволе может быть представлен в виде лингвистической переменной, на универсуме которой он принимает числовые значения от 0 до 4,5 м.

В качестве дополнительных условий также определим тип пожара – низовой, поскольку низовые пожары самые распространенные. Их количество в среднем достигает 98 %, а площадь около 90 % всех зарегистрированных [1]. Для исследований приняты были сосновые древостои возрастом от 60 до 90 лет. В составе древостоя доля березы достигала 40 %. Относительные полноты древостоев

варьировались от 0,5 до 1,00, производительность от Iа-го до III-го классов бонитета.

Определение входных и выходных переменных задачи моделирования (приведение к нечеткости)

В качестве входных переменных, как было указано, приняты высоты нагара и толщина элемента леса. Они изменяются в следующих диапазонах: диаметр $D_{1,3}$ от 12 до 60 см и высота нагара h от 0 до 4,5 м.

В качестве выходной величины принято значение потенциального отпада коры с оценкой для двух условий: по запасу O_z и по густоте O_r лесонасаждений. Эти величины варьируется в пределах от 0 до 100 %.

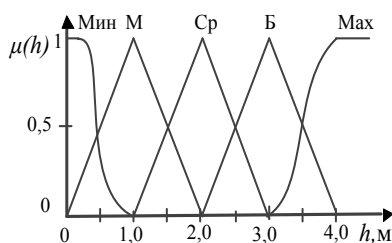
Определим для входных и выходных переменных нечеткие функции принадлежности в виде лингвистических переменных. В данном случае будет наиболее рационально принять пять значений входных и выходной лингвистических переменных.

На рисунках 1, а и 1, б показаны функции принадлежности входных переменных «Высота нагара h »; б – «Диаметр $D_{1,3}$ » в виде треугольных нечетких чисел и трапецидальных интервалов, а на рисунке 1, в приведена нечеткая функция лингвистической переменной «Отпад O » (напомним, что отпад оценивается для двух условий). В качестве обозначений лингвистических переменных для предложенных функций приняты следующие значения: Мин – минимальный; М – малый; Ср – средний; Б – большой; Мах – максимальный.

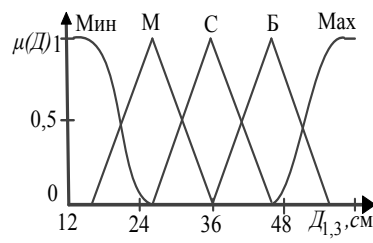
– «Диаметр $D_{1,3}$ » {Мин, М, Ср, Б, Мах};

– «Высота нагара h » {Мин, М, Ср, Б, Мах};

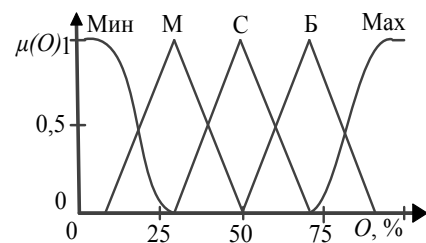
– «Отпад O » {Мин, М, Ср, Б, Мах}.



а)



б)



в)

Рис. 1. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных: а – «Высота нагара h »; б – «Диаметр $D_{1,3}$ »; в – «Отпад O »

Будем полагать, что терм-множества значений лингвистических переменных представлены треугольными и трапецидальными нечеткими числами, а на границах области определения S-образными и Z-образными нечеткими интервалами (рис. 1). Общая схема нечеткого вывода приведена на рис. 2.

Соответственно с методом Мамдани разработанные базы правил нечеткой продукции в полном объеме приведены в табл. 1 и 2.

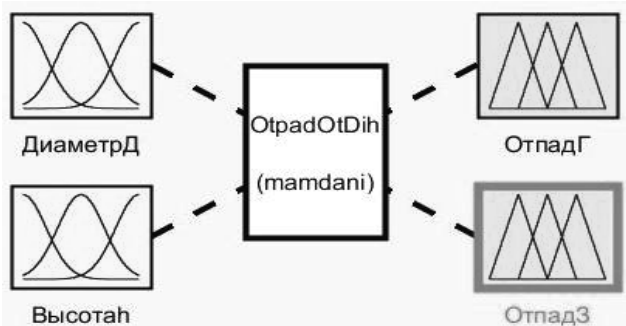


Рис. 2. Общая схема нечеткого вывода с двумя выходными переменными [3]

Таблица 1 – Состав базы правил нечеткой продукции для моделирования степени отпада по густоте O_1 лесонасаждений

Значения лингвистической переменной «Толщина $D_{1,3}$ »	Значения выходных нечетких подмножеств «Отпад O_1 »				
	при изменении нечеткой функции «Высота h »				
	Мин	М	С	Б	Мах
Мин	М	С	Б	Мах	Мах
М	М	М	С	Б	Мах
С	Мин	М	С	Б	Мах
Б	Мин	Мин	М	С	Б
Мах	Мин	Мин	М	М	С

Таблица 2 – Состав базы правил нечеткой продукции для моделирования степени отпада по запасу O_3 лесонасаждений

Значения лингвистической переменной «Толщина $D_{1,3}$ »	Значения выходных нечетких подмножеств «Отпад O_3 »				
	при изменении нечеткой функции «Высота h »				
	Мин	М	С	Б	Мах
Мин	М	С	С	Б	Б
М	Мин	М	С	Б	Б
С	Мин	Мин	С	С	С
Б	Мин	Мин	М	М	С
Мах	Мин	Мин	Мин	М	М

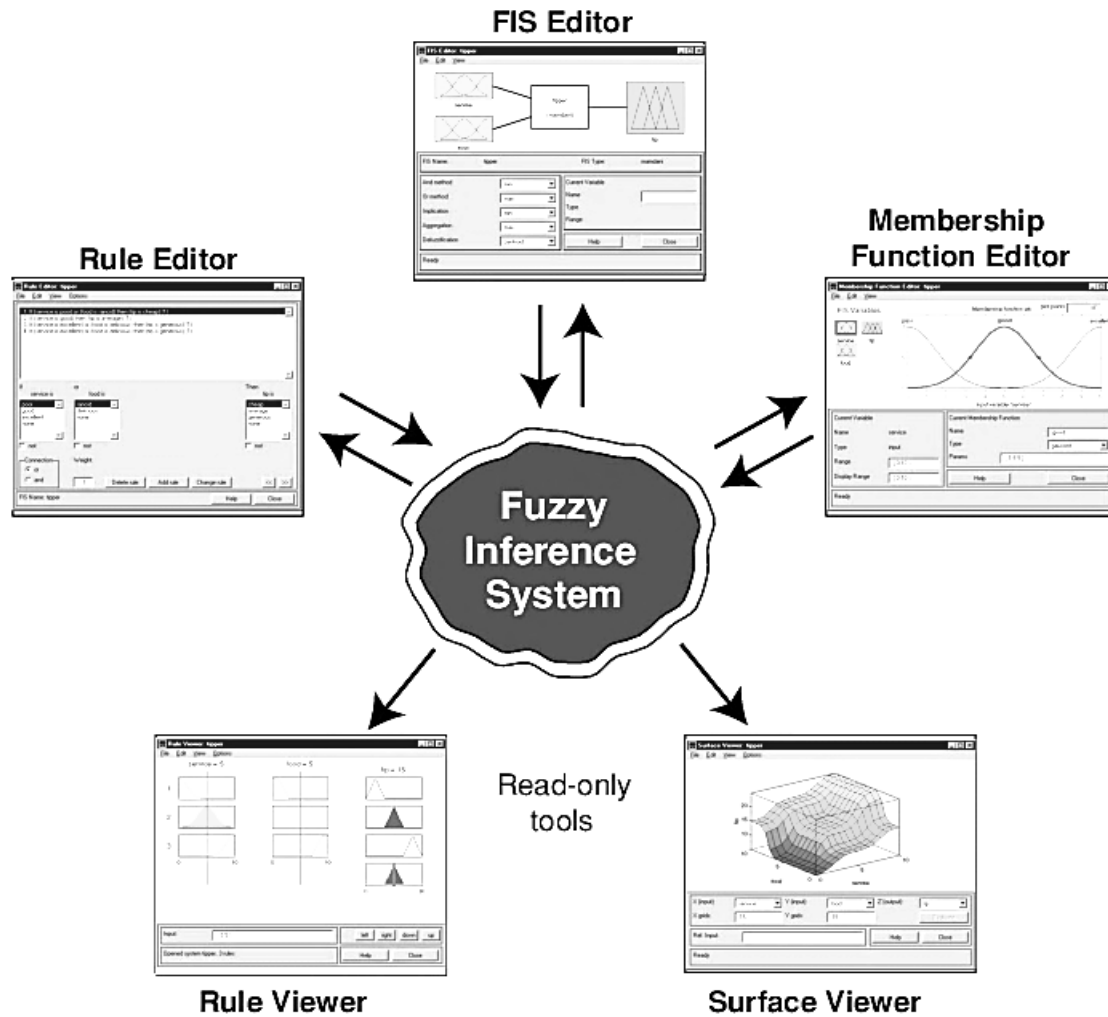
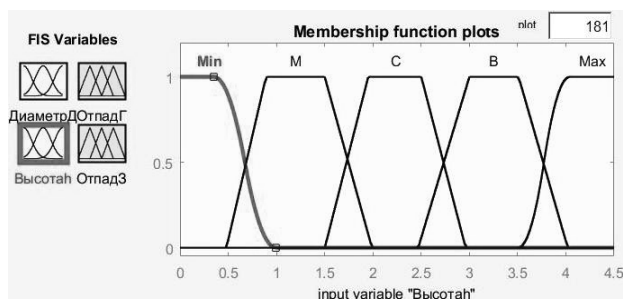
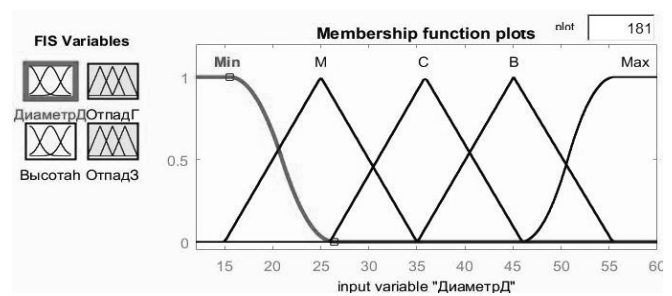


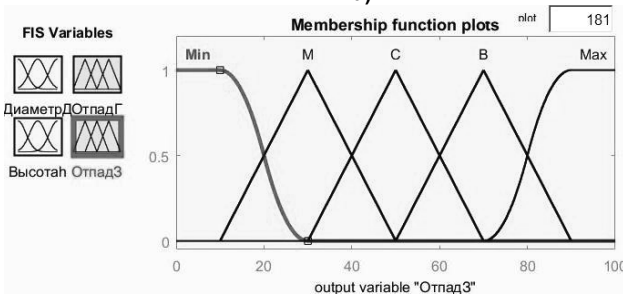
Рис. 3. Схема нечеткого вывода в среде Matlab [3]



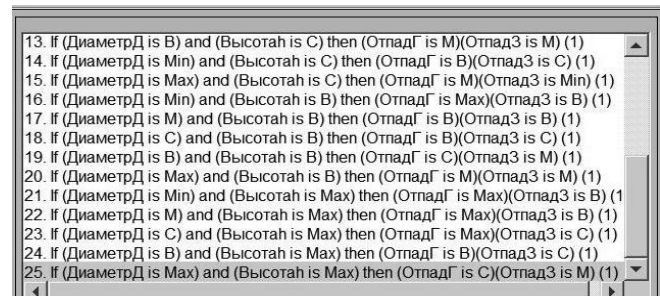
а)



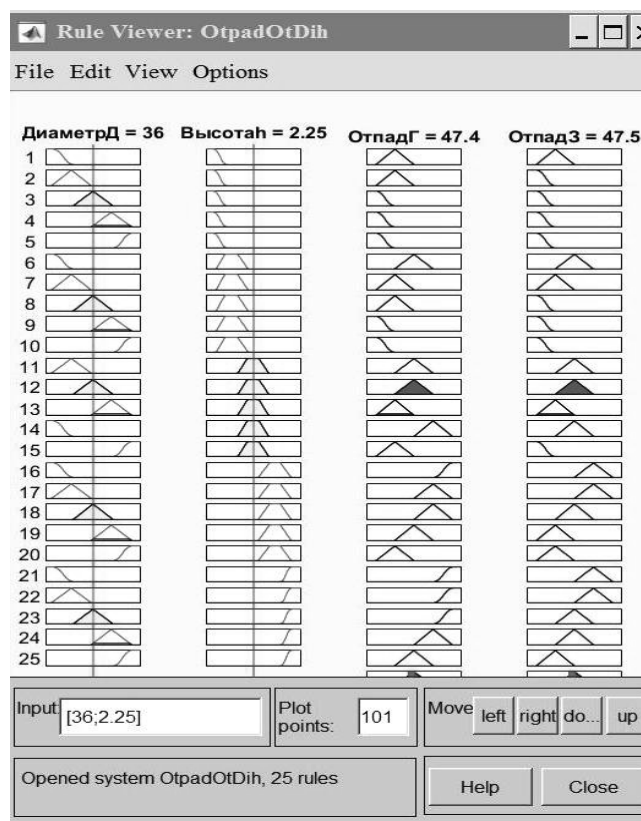
б)



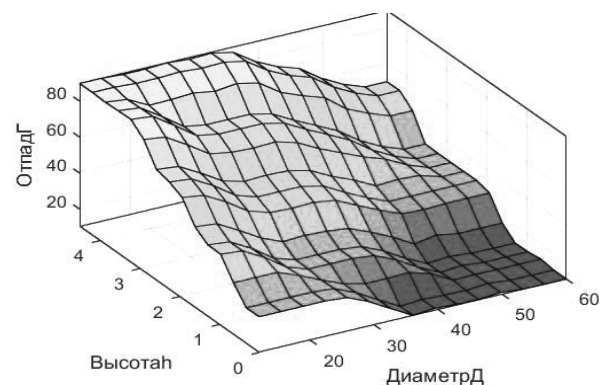
в)



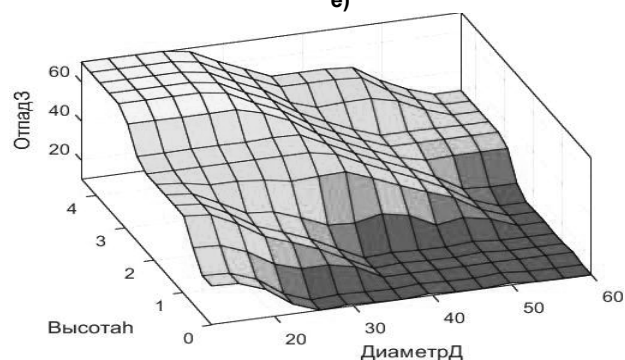
г)



д)



е)



ж)

Рис. 4. Нечеткий вывод заключительных функций $O_G = f(h, D_{1,3})$ и $O_Z = f(h, D_{1,3})$ в среде FIS Editor приложения Matlab: а – нечеткая функция принадлежности переменной «Высота нагара h»; б – нечеткая функция принадлежности переменной «Диаметр $D_{1,3}$ »; в – нечеткая функция принадлежности лингвистической переменной «Отпад O»; г – база правил нечеткого вывода; д – процедура нечеткого вывода и приведения к четкости; е, ж – функции нечеткого вывода $O_G = f(h, D_{1,3})$ и $O_Z = f(h, D_{1,3})$

Изложенная формальная постановка задачи нечеткого вывода реализована в специализированной компьютерной программе FIS Editor приложения Matlab Fuzzy Logic Toolbox [3]. Методика нечеткого вывода аналогична приведенной, например, в работе [2] и изображена на рис. 3.

Полученные в результате нечеткого вывода функции отпада по запасу $O_Z = f(h, D_{1,3})$ и отпада по густоте $O_G = f(h, D_{1,3})$ лесонасаждений изображены на рисунках 4, е, ж.

Выводы

1. Впервые разработана модель нечеткого вывода для определения отпада после пожара, учитывающая наиболее достоверные статистические данные и факторы неопределенности в описании прогноза повреждений древостоев.

2. Несмотря на то, что прогнозирование послепожарного отпада деревьев по высоте нагара на стволах для всех видов пожаров и условий произрастания древостоев не может

быть унифицированным, тем не менее, предложенные решения и результаты исследований носят универсальный характер для рассмотренных условий, что позволяет обобщить ранее полученные теоретические и экспериментальные данные по проблеме моделирования послепожарного отпада.

3. Практическая значимость результатов исследований заключается том, что предложенная модель послепожарного отпада может быть рекомендована для использования в моделировании и проектировании лесохозяйственных мероприятий на территориях лесонасаждений, поврежденных пожарами. Полученные функциональные зависимости (рисунки 4, е, ж) потенциального отпада после пожара позволяют с учетом данных о среднем диаметре элемента леса и средней высоте нагара установить полноту сохранившейся жизнеспособности части древостоя и избежать потери времени, когда древесина отмерших деревьев утратит техническую ценность, а непосредственно после пожара обосновать

проведение выборочных или сплошных санитарных рубок.

Библиографический список

1. Шубин, Д.А. Анализ горимости лесов и послепожарные последствия в сосняках Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд.

с.-х. н. по спец. 06.03.01 [Текст] / Д.А. Шубин. – Екатеринбург, УГЛТУ, 2009. – 16 с.

2. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат. – М.: БИНОМ, 2009. – 798 с.

3. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a [Электронный ресурс] URL: <http://www.mathworks.com>.

© **Побединский В.В.** – д.т.н., профессор кафедры Сервиса и технической эксплуатации Уральского государственного лесотехнического университета, robod@el.ru; **Санников С.П.** – к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов Уральского государственного лесотехнического университета, ssp-54@mail.ru; **Сопига В.А.** – к.с.н., доцент кафедры Общетехнических дисциплин Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России, a44a33@mail.ru.

УДК 630*30

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

М.Н. Волдаев

Повышение эффективности лесного хозяйства, лесозаготовительной, деревообрабатывающей, мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности требует внедрения передовых технологий, новых междисциплинарных подходов к организации производства, маркетинга и т.п. Внедрение научно-технических достижений в современном мире прочно ассоциируется в первую очередь с цифровизацией и интеллектуализацией. В работе проведено аналитическое исследование сложившегося уровня внедрения цифровых технологий на предприятиях лесного комплекса. Сформулированы наиболее перспективные направления работ в рамках цифровой трансформации отрасли.

Ключевые слова: лесной комплекс, цифровая трансформация, цифровизация, интеллектуализация, «цифровая лесосека».

The effectiveness increase of forestry, logging, woodworking, furniture and pulp-and-paper industries requires the introduction of advanced technologies and multidisciplinary approaches to the organization of production, marketing, etc. In the modern world the introduction of scientific and technological achievements becomes primarily associated with digitization and intellectualization. The analytical study of the existing level of digital technology implementations into timber complex enterprises is carried out. The most promising trends of work areas in timber and related industries are formulated.

Key words: timber complex, digital transformation, digitization, intellectualization, «digital wood-cutting area».

Введение

Согласно [1] лесная отрасль России сегодня требует существенной модернизации основных направлений деятельности с использованием современных инновационных научно-технических достижений. Современное состояние и перспективы развития лесного комплекса отражено в [2,3]. В результате реализации программы [1] в итоге предполагается сохранение лесистости территории Российской Федерации на уровне 46,5процента; сохранение площади ценных лесных насаждений на уровне 70,4 процента от площади занятых лесными насаждениями

повышение объема платежей в бюджетную систему Российской Федерации от использования лесов, расположенных на землях лесного фонда на 33 процента (достижение уровня 27 рублей в расчете на 1 га земель лесного фонда); достижение отношения фактического объема заготовки древесины к установленному допустимому объему изъятия древесины на уровне 34,1 процента. Совершенно очевидно, что без внедрения современных технологий и оборудования в лесном хозяйстве, лесозаготовительной, деревообрабатывающей, мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности, новых

междисциплинарных подходов к организации производства, организации маркетинга и т.п. будет невозможно добиться существенного увеличения производительности труда и качества продукции на предприятиях лесного комплекса.

Внедрение передовых технологий в современном мире прочно ассоциируется в первую очередь с внедрением инфотелекоммуникационных технологий. Сегодня все большую актуальность приобретают вопросы цифровизации производств. В проекте Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг. цифровая экономика определяется как деятельность, в которой ключевыми факторами производства являются данные, представленные в цифровом виде [4].

В своем выступлении на пленарном заседании Петербургского международного экономического форума Президент РФ В.В. Путин отметил [5]:

Первое – необходимо сформировать принципиально новую, гибкую нормативную базу для внедрения цифровых технологий во все сферы жизни. При этом все решения должны приниматься с учётом обеспечения информационной безопасности государства, бизнеса и граждан.

Второе – государство окажет поддержку тем компаниям, которые являются носителями разработок и компетенций в сфере цифровых технологий, имеющих так называемый сквозной межотраслевой эффект. Это: обработка и анализ больших массивов данных, искусственный интеллект и нейротехнологии, технологии виртуальной и дополненной реальности и ряд других.

Третье – с участием государства и частного бизнеса будем создавать опорную инфраструктуру цифровой экономики, в том числе безопасные линии связи и центры обработки данных. Кстати, обращаю внимание, это должна быть инфраструктура, основанная на самых передовых технологиях и разработках.

Четвёртое – намереныкратно увеличить выпуск специалистов в сфере цифровой экономики, а, по сути, нам предстоит решить более широкую задачу, задачу национального уровня – добиться всеобщей цифровой грамотности. Для этого следует серьёзно усовершенствовать систему образования на всех уровнях: от школы до высших учебных

заведений. И конечно, развернуть программы обучения для людей самых разных возрастов.

В связи с этим можно утверждать, что тенденции смены парадигмы функционирования экономики обуславливают необходимость развития соответствующих подходов в отдельных отраслях.

Методы исследования

В свете вышеизложенного проведено аналитическое исследование сложившегося уровня внедрения цифровых технологий в лесной отрасли, охватывающего лесное хозяйство, лесозаготовительную и деревоперерабатывающие отрасли.

В качестве обсуждения перспективных направлений совершенствования процесса цифровизации и интеллектуализации лесного комплекса приведены примеры из нефтегазовой отрасли, которую связывают с лесной такие факторы, как: а) производственные процессы – добыча (заготовка) и переработка сырья, б) географическая разбросанность предмета труда; в) высокая степень влияния природно-производственных условий на эффективность производственного процесса.

Результаты и их обсуждение

Развитие технологий и глобализация обусловили цифровую трансформацию как объективную закономерность. Лесная отрасль, являясь неотъемлемой частью структуры национальной экономики России, конечно же не могла быть не затронута процессами цифровой трансформации.

Цифровая трансформация в лесных отраслях начала проявляться еще в 80-х гг XX века с внедрения автоматизированных систем учета и контроля сырья и продукции, линий автоматизированной сортировки и переработки древесины. Сегодня современное оборудование в области первичной обработки, механической, химико-механической и химической переработки древесины представляет собой сложную автоматизированную систему, требующую от оператора навыков высококвалифицированного рабочего, инженера и программиста одновременно.

Массовое внедрение в повседневную жизнь ЭВМ, достижения в разработке ПО изменили облик не только крупных производств в деревопереработке, но и в лесном хозяйстве: цифровые технологии стали активно применяться при дешифрировании материалов

аэрофотосъемки и съемки из космоса, обработке материалов лесоустройства, материально-денежной оценке лесосек, появились геоинформационные системы.

В лесозаготовительную отрасль цифровизация пришла с массовым внедрением валочно-сучкорезно-раскряжевых машин, оборудованным специализированным ПО, способным не только контролировать режим работы оборудования в автономном режиме, но и планировать производство сортиментов в зависимости от ситуации на рынке.

На сегодняшний день цифровые технологии в лесной отрасли можно структурировать следующим образом:

- обеспечивающие оптимизацию процессов конкретных участков и изолированные от процессов смежных с ними участков;
- обеспечивающие автоматизацию процессов конкретных участков и связанных с процессами смежных с ними участков, ограниченно применяемые в процессах отрасли на несмежных участках;
- обеспечивающие автоматизацию процессов конкретных участков и имеющие возможность интегрироваться с цифровыми технологиями, моделирующими или отслеживающими процессы любого из производств отрасли.

К первой группе относятся системы автоматизации производств на перерабатывающих предприятиях, начиная от ПО на станках с ЧПУ. ПО оборудования не может оптимизировать процесс производства продукции переработки в зависимости от конъюнктуры рынка, конкретизации размерно-качественных характеристик древостоев – источников сырья и т.п. Кроме того, к данной группе можно отнести наработки российских ученых в части автоматизированного принятия решений о назначении деревьев в рубку при их обработке лесозаготовительной машиной [6].

Ко второй группе относятся продукты, широко применяемые в лесном хозяйстве: автоматизированная информационная система «Государственный лесной реестр» (далее — АИС ГЛР), Единая государственная автоматизированная информационная система учёта древесины и сделок с ней (далее - ЕГАИС учета древесины и сделок с ней), а также ПО в области ГИС, картографирования и т.п., широкое применяемое в лесоустройстве. Также следует отметить специализированное ПО, разработанное учеными Петрозаводского госуниверситета, в части автоматизации

проектирования и оптимизации лесотранспортных процессов. Информация, представленная в данных автоматизированных информационных системах, по замыслу их разработчиков может применяться в дальнейших процедурах планирования процессов в области охраны, защиты и воспроизводства лесов и переработки древесины, то есть имеется возможность связи и влияния на принятие решений по оптимизации функционирования данных процедур.

Примеры цифровой трансформации процессов в лесной отрасли, которые бы были примером для третьей группы, пока однозначно представить сложно.

Отличительная особенность цифровых технологий, уже ставших реальностью в лесной отрасли, описанных выше – то, что они обеспечивают исключение ручного труда при выполнении трудоемких операций или обеспечивают многократное повышение производительности труда при обработке большого количества данных без задачи постоянной оптимизации производства при максимально возможном охвате всей цепочки изготовления продукции.

Наиболее подготовлена к цифровизации сегодня лесопильно-деревообрабатывающая отрасль, где внедрение автоматизации работы оборудования носит массовый характер. Внедрение цифровых технологий на лесозаготовках за рубежом позволяет говорить о значительных успехах в этой отрасли, в России – пока нет. АИС в лесном хозяйстве сегодня представляют ценность с точки зрения баз данных, но процедуры использования этих баз для решения отраслевых задач, особенно для лесозаготовительных предприятий, пока трудно осуществимо.

Логичным было бы использование достижения в области цифровой трансформации одной из отраслей России. Несомненно, лидером в области цифровой трансформации сегодня можно назвать нефтегазовую отрасль.

Фундаментальные основы цифровизации и интеллектуализации нефтегазовой отрасли разработаны и совершенствуются под руководством академика РАН Дмитриевского А.Н. (Институт проблем нефти и газа РАН). В основе цифровых и интеллектуальных технологий нефтегазовой отрасли лежит использование методов искусственного

интеллекта, которое могло бы быть взято на вооружение и лесной отраслью. Из них в последние годы широкое применение нашли следующие [7]:

- Искусственные нейронные сети (ИНС) /Artificial neural networks, ANN/ – обучаемая система соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров – искусственных нейронов;
- Нечеткая логика /Fuzzy logic/, которая допускает частичную принадлежность множеству;
- Генетические алгоритмы /Genetic algorithms/ – эвристические алгоритмы поиска и оптимизации процессов путем случайного подбора, комбинирования, вариации и скрещивания искоемых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе;
- Машинное обучение /Machine learning/ использует два вида обучения: а) индуктивное (Information Extraction) – для выявления закономерностей в эмпирических данных; б) дедуктивное (Data Mining) – для формализации знаний экспертов с целью формирования базы знаний;
- Интеллектуальный агент (ИА) получает через систему сенсоров информацию о состоянии управляемых им процессов и осуществляет воздействие на них через систему актуаторов для достижения определенных параметров;
- Роевой интеллект (РИ) /Swarm intelligence/ описывает коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы;
- Добыча данных, или интеллектуальный анализ данных /Data mining/ – процесс выявления новых закономерностей в больших наборах данных с привлечением методов статистики и искусственного интеллекта, а также управления базами данных;
- Рассуждения по прецедентам /case-based reasoning, CBR/ – ЭС получения решения путем поиска подобных типовых ситуаций в памяти, хранящей прошлый опыт решения аналогичных задач, и адаптации найденных решений к новым условиям;
- Байесовские сети /Bayesian networks/ – компьютерные модели вероятностных систем для изучения причинно-следственных связей и прогнозирования последствий оперативного вмешательства;
- Экспертные системы /Expert systems/ – комплекс программ, использующих базы

знаний, человеческий опыт для решения проблем, где требуется консультация экспертов предметной области;

- Система автоматического управления (САУ) /Automatic process control/ – инженерная дисциплина для поддержания производственного процесса в пределах желаемого диапазона с целью оптимизации работы основных активов;
- Системы автоматизации производственных процессов (САПР) /Work flow automation/ – набор методологий и технологий, которые нацелены на интеграцию данных и приложений в автоматизированные рабочие процессы. Это один из ключевых элементов цифрового нефтяного месторождения и интегрированных производственных операций;
- Прокси-модели /Proxу models/ – системы, которые используют упрощенные модели физических процессов (пластовые модели, модели скважин, поверхностные модели сбора и подготовки) в конкретных границах времени и ограничений. Суррогатные модели пластов являются прокси-моделями, так как они разрабатываются с использованием технологий машинного обучения. Они также классифицируются как «модели резервуаров на основе искусственного интеллекта»;
- Виртуальные среды /Virtual environments/ – технологии моделирования, вычисления и визуализации для создания частичных или полных виртуальных обстановок реальных нефтегазовых объектов (месторождений, скважин, систем) для анализа производственных задач и визуализации.

Наиболее яркие подтверждения существенного опыта в области цифровизации нефтегазового комплекса – результаты деятельности ПАО «Газпромнефть».

На добычных активах «Газпромнефти» внедряется программа «Цифровое месторождение», главная задача которой – не просто насытить производство автоматизированными решениями, но найти оптимальные точки их приложения, применять передовые технологии там, где они отвечают на ключевые вызовы бизнеса [8]. Программа «Цифровое месторождение» объединяет в себе теоретические и практические подходы, позволяющие повысить эффективность работы добывающих активов «Газпромнефти». В основе программы лежит автоматизация технологических процессов за счет внедрения передовых IT-решений, а также реорганизация

сопутствующих бизнес-процессов. Помимо этого, характерная особенность программы — внедрение непрерывного процесса улучшений с помощью лучших мировых практик. Такой подход позволяет постоянно находить слабые места любого процесса и оптимизировать применяемые IT-решения в соответствии с изменяющимися внешними условиями. Определение технологического потенциала состоит из нескольких шагов, основанных на методиках «Бережливого производства». Работа начинается с выявления бизнес-процессов, где актив потенциально может сделать рывок вперед. Для каждого месторождения они разные, поэтому это самый важный шаг для определения направления, в котором следует

двигаться дальше. Выбранные процессы берутся за основу для дальнейшего анализа, разборки на составные части и выявления зон для улучшений. В результате актив получает список областей для дальнейшего совершенствования и причин, которые в данный момент препятствуют эффективной работе. Этот список подкрепляется конкретными расчетами средств, которые предприятие сможет сэкономить, усовершенствовав свои процессы. Примеры реализации проекта приведены в [8]. Представленный результат вполне может стать прототипом реализации «цифровой лесосеки» (рис. 1).

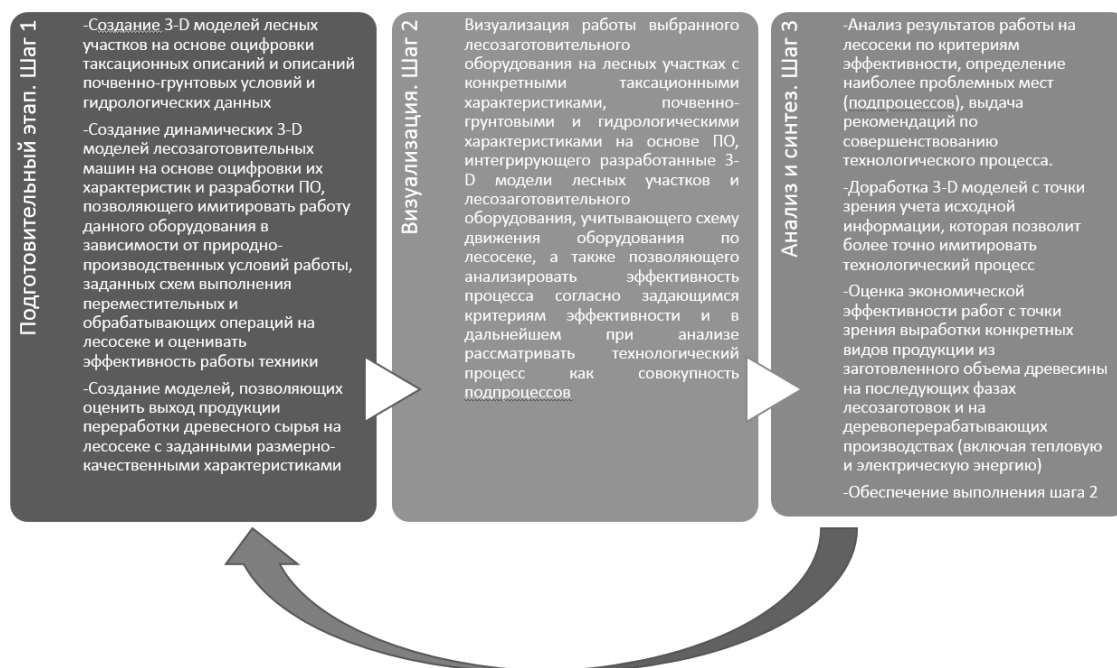


Рис. 1. Вариант реализации процесса «цифровая лесосека»

В [9] представлено описание цифрового нефтеперерабатывающего завода (далее – НПЗ) будущего, на котором отслеживание информации и ее передача происходит посредством промышленного интернета. Реализация данного подхода в перспективе может существенно повысить эффективность на деревоперерабатывающих производствах.

Одна из тенденций, характерных для цифрового производства или производства будущего, – возможность совместной работы специалистов разного профиля для выработки оптимального решения сложных задач. В «Газпром нефти» уже реализовано несколько

проектов, объединяющих разные функции. В частности, в Научно-техническом центре компании работает Центр сопровождения бурения, обеспечивающий всестороннюю экспертизу при строительстве высокотехнологичных скважин. В свою очередь в блоке логистики, переработки и сбыта создается Центр управления эффективностью операций – программа, задача которой – интегрировать информацию из различных систем, работающих на НПЗ, от видеокamer до системы KPI, и затем предоставлять эту информацию пользователю в удобном для него виде. Помимо информационной функции, Центр

управления позволяет одновременно задействовать большое количество людей для обсуждения происходящего на отдельной установке или производстве в целом.

Создаваемый сегодня в «Газпромнефти» Центр управления эффективностью — это платформа, на базе которой будут собраны все лучшие практики, технологии, которые доступны сейчас. Результатом этой работы должна стать единая платформа управления переработкой и сбытом, которой сегодня нет ни у одной компании отрасли. Сотни тысяч датчиков, десятки различных систем передают информацию в Центр и обрабатывают ее. Это и системы планирования, управления производством, управления надежностью. Если говорить упрощенно, то задача — перейти от

десятков систем к одной, которая будет охватывать все этапы управления цепочкой добавленной стоимости блока [10]. Данный принцип в перспективе также может применен к цепочке добавленной стоимости на предприятиях лесного комплекса.

На рис. 1 представлена укрупненная схема взаимодействия на базе подобного центра, охватывающего процессы в лесном хозяйстве, лесозаготовительной и деревоперерабатывающей отраслях, овалы характеризуют общие для смежных фаз производства вопросы, решение которых повышает эффективность каждого из данных процессов и всего процесса, контролируемого центром в общем.

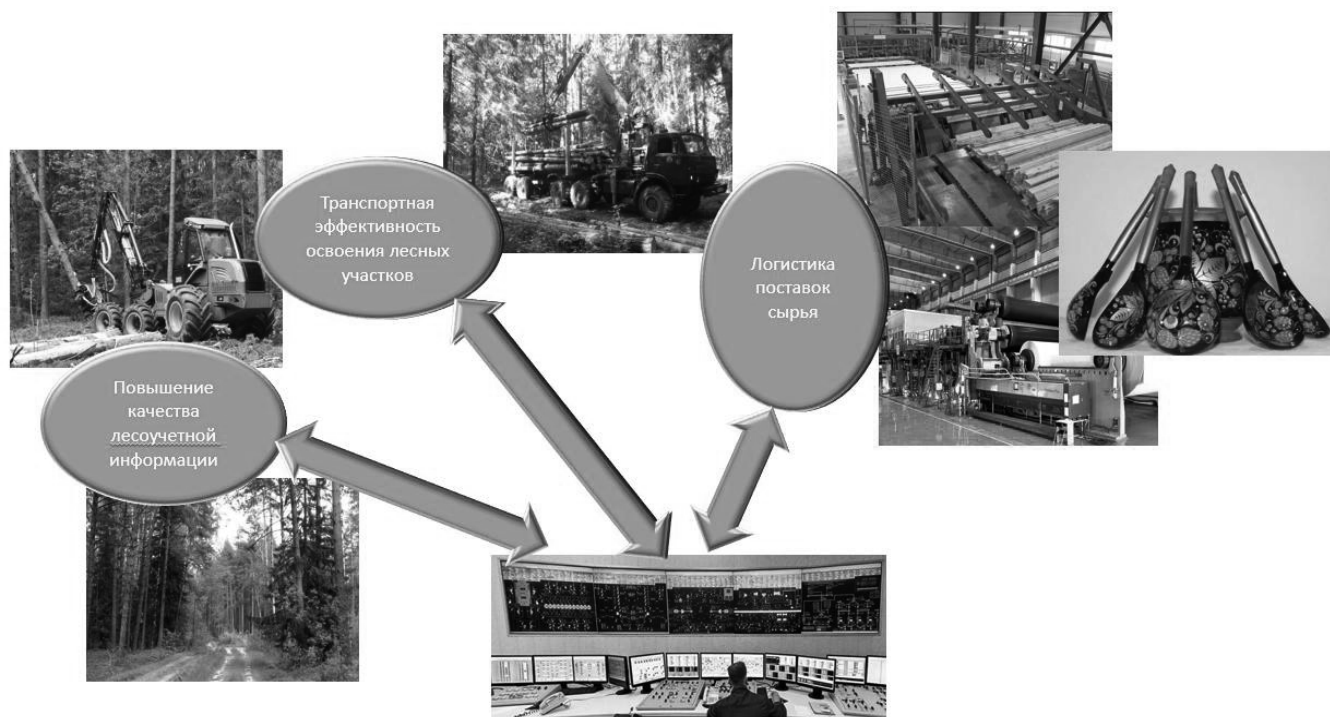


Рис. 2. Вариант реализации процесса «Центр управления эффективностью операций на предприятии лесного комплекса»

Заключение

В связи с вышеизложенным в части современного состояния лесных отраслей, тенденция развития цифровой экономики России и существующих практик наиболее перспективные направления работ в рамках цифровой трансформации лесной отрасли, которые позволят повысить эффективность всей цепочки производства готовой продукции, начиная от выращивания и сохранения лесных

богатств, заканчивая получением современных высокотехнологичных изделий на основе древесины следующие:

- разработка фундаментальных основ цифровизации с учетом опыта, наработанного в различных отраслях экономики России;
- изучение передового зарубежного опыта цифровизации и возможности его применения в лесной отрасли России;
- внедрение современных принципов (Industry 4.0) в относительно подготовленную для

цифровизации лесопильно-деревообрабатывающую отрасль, совершенствование ПО, внедрение возможности обрабатывать big data, применение опыта проектирования «цифровых заводов» в нефтегазовой отрасли России;
– разработка на основе принципов «бережливого производства» и опыта «цифровое месторождение» проекта «цифровая лесосека», предусматривающего возможность оптимизации лесохозяйственного и лесозаготовительного производства как по отдельности, так и в комплексе, позволяющего моделировать работу реального оборудования на основе уже имеющегося в отрасли специализированного ПО в конкретных природно-производственных условиях (данные АИС ГЛР) и в режиме реального времени оптимизировать технологические параметры производства;
– создание единых платформ управления всеми циклами производственных цепочек, начиная от выращивания посадочного материала, завершая производством высокотехнологичной продукции переработки древесины.

Литература

1. Государственная программа Российской Федерации "Развитие лесного хозяйства" на 2013 – 2020 годы [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 318 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие лесного хозяйства" на 2013 – 2020 годы" //Собрание законодательства Российской Федерации. – 2014. - № 18. - ст. 2164; 2016; - № 41. - ст. 5839. - Сведения доступны также в информ.-правовой системе «ГАРАНТ»
2. Запруднов, В.И. Современное состояние лесного сектора российской федерации, задачи и перспективы развития лесозаготовительной промышленности / В.И.Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С Горшенина // Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 81–101
3. Пинягина, Н.Б. Тенденции и перспективы развития лесного сектора России / Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина, Е.Б. Назаренко, О.В. Гамсахурдия // Лесной вестник. – 2016. – № 2. – С. 112–119
4. НГК 2030:цифровой,оптический и роботизированный / А. Дмитриевский, Н. Ерёмин, [и др.] // Журнал «Нефть России». – 2017. - № 3. – Режим доступа : WWW. URL: <https://neftrossii.ru/docs/magazines/NR/2017/NR-2017-3.pdf>
5. Президент России: офиц. сайт. – Режим доступа : WWW. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/54667>
6. Танрывердиев И.О. Разработка средств автоматизированного управления лесозаготовительных машин на основе инфотелекоммуникационных технологий: Дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Илья Оруджевич Танрывердиев; ФГБОУ ВО «ПГТУ». –Йошкар-Ола, 2015. -141 с.
7. Еремин, Н.А. Интеллектуализация месторождений / Н.А. Еремин, А.Н. Дмитриевский, Л.И. Тихомиров // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12. – С. 44–49
8. Борзов, А. Потенциал в процессе / А. Борзов // Сибирская нефть. – 2016. – № 9. – С. 24–29
9. Зорина, С. Заоблачные дали / С. Зорина // Сибирская нефть. – 2016. – № 6. – С. 10–15
10. Зорина, С. Платформа эффективности / С. Зорина // Сибирская нефть. – 2017. – № 4. – С. 44–48

УДК 630*3

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТА КОНТЕЙНЕРА-СУШИЛКИ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕ- ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ

П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин

Целью данного исследования является исследование эффективности утилизации тепловых выбросов двигателя Стирлинга измельчающе-транспортной машины в контейнере-сушилке собственной разработки. По результатам экспериментальных исследований накопительного контейнера-сушилки получено уравнение регрессионной зависимости эффективности сушки от начальной влажности щепы. Выявлено оптимальное значение расхода газовой смеси в контейнер-сушилку данной конструкции.

Ключевые слова: конвективная сушка щепы, утилизация тепловых выбросов двигателя Стирлинга, топливная щепка.

The aim of this study is research of utilization efficiency of heat emissions of the Stirling engine of mobile wood chipper in a container-dryer. The container-dryer design for wood chip drying due to thermal emissions of the Stirling engine has been developed. According to the results of the experiments we obtained regression equations of the efficiency of drying of wood chips dependence on the initial moisture content of wood chips. Most suitable volume-flow rate of drying agent in a container dryer of this design is revealed.

Keywords: drying of wood chips; waste heat of Stirling engine; wood chip fuel

Введение

В настоящее время основное количество топливной и технологической щепы производится из высоко влажного древесного сырья. Для производства щепы топливного назначения из лесосечных отходов и низкокачественной древесины различных видов рубок [1] всё большее применение находят мобильные рубительные машины [2-4]. Данные устройства используются и на лесосеке и на деревообрабатывающем производстве. Используемые сейчас мобильные рубительные машины производят щепу, влажность которой практически равна влажности исходного сырья.

Учеными предлагаются различные технические решения, позволяющие снизить влажность производимой щепы [5, 6]. Большинство разработок связаны с сушкой щепы на деревообрабатывающем производстве [7, 8]. Однако при производстве щепы на лесосеке с помощью самоходных рубительных машин важным является снижение влажности щепы до её транспортировки потребителю. Что позволяет снижать транспортные расходы из-за уменьшения объема и веса высушенной щепы [9]. Поэтому актуальным является разработка технических решений позволяющих производить сухую щепу в условиях лесосеки.

Особенно важным является снижение влажности щепы в том случае, если устройство для её производства имеет автономное энергообеспечение от части производимой

щепы [10]. Для этого разрабатываются технические решения, позволяющие производить сушку щепы во время её производства самоходной рубительной машиной с использованием тепловых выбросов двигателя внешнего сгорания.

Предлагается устройство измельчающе-транспортной машины (далее ИТМ) для производства сухой топливной щепы на лесосеке с автономным энергообеспечением от двигателя внешнего сгорания на древесном топливе [11]. Также предлагается устройство накопительного контейнера-сушилки ИТМ, в котором происходит сушка производимой щепы с помощью смеси дымовых газов двигателя внешнего сгорания и охлаждающего двигатель воздуха.

Целью данного исследования является экспериментальное исследование утилизации тепловых выбросов двигателя внешнего сгорания на древесном топливе в предложенном накопительном контейнере-сушилке ИТМ и определение зависимости снижения влажности щепы от начальной влажности щепы и параметров устройства.

Методы и материалы

Методика исследования состоит в следующем: 1) определены параметры газовой смеси охлаждающего воздуха и дымовых газов двигателя Стирлинга в результате вычислительного эксперимента на

математический модели функционирования ИТМ; 2) определены масштабы моделирования экспериментальной установки, с помощью применения теории подобия и размерности; 3) проведены экспериментальные исследования сушки щепы в контейнере-сушилке с использованием сушильного агента, имитирующего тепловые выбросы двигателя Стирлинга; 4) в результате статистической обработки результатов эксперимента получены эмпирические зависимости.

В настоящем исследовании рассматривается сушка щепы в накопительном контейнере-сушилке ИТМ, изображенной на рисунке 1. ИТМ конструктивно состоит из базовой машины 1, на которой размещены кабина оператора 2, двигатель Стирлинга 3 и газогенератор 4; рубительного модуля 5, на котором установлены дисковый рубительный агрегат 6 с приемным окном 7, щепопровод 8, манипулятор 9 с рабочим органом 10; и прицепа 11, на котором установлен накопительный контейнер-сушилка 12, соединённый с двигателем Стирлинга воздухопроводом 13, а с газогенератором соединённый гибким шнековым транспортером 14.

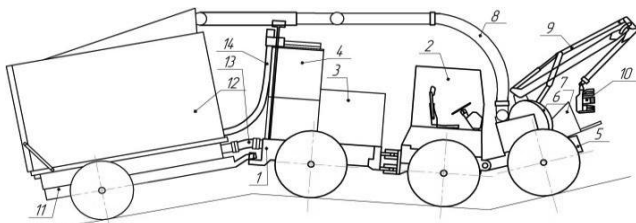


Рис. 1. ИТМ для производства сухой топливной щепы

На рисунке 2 представлена принципиальная схема энергетической установки ИТМ с газогенераторным двигателем Стирлинга на щепе.

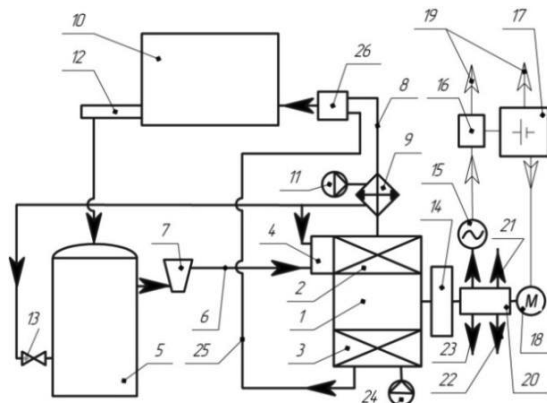


Рис. 2. Принципиальная схема энергетической установки на щепе для ИТМ

Энергетическая установка на древесном топливе для мобильной рубительной машины состоит из следующих компонентов: двигателя Стирлинга 1, имеющего с камеру сгорания 2 и холодильник 3, газовой горелки 4, газогенератора 5, который соединен магистралью генераторного газа 6 с газовой горелкой 4. Также имеется циклон 7 для очистки генераторного газа от золы. Магистрالياходящих дымовых газов 8, по которой дымовые газы из камеры сгорания 2 через рекуператор 9 направляются в контейнер-сушилку топливной щепы 10. Компрессора 11, нагнетающего атмосферный воздух через рекуператор 9 в газогенератор 5 и горелку 4. Рекуператора 9, служащего для передачи теплоты от уходящих дымовых газов к воздуху. Шнекового питателя 12, транспортирующего щепу из контейнера-сушилки топливной щепы 10 в газогенератор 5. Клапана 13, регулирующего расход воздуха в газогенератор. Маховика 14, соединенного с валом двигателя Стирлинга 1. Электрогенератора переменного напряжения 15, выпрямителя напряжения 16, аккумулятора электроэнергии 17, электрического двигателя постоянного тока 18 запитанного от аккумулятора электроэнергии, выводов электрической энергии постоянного напряжения 19. Раздаточной коробки 20, которая обеспечивает передачу механической энергии от маховика 14 к электрогенератору 15, к валу отбора мощности на гидростанцию 21, к валу отбора мощности на движитель 22, к валу отбора мощности на рубительную установку 23. Вентилятора охлаждения 24, нагнетающего охлаждающий атмосферный воздух в холодильник 3. Магистрاليا охлаждающего воздуха 25, по которой воздух из холодильника 3 направляется в контейнер-сушилку 10. Смесительного теплообменника 26, в котором охлаждающий воздух из магистрали 25 и уходящие дымовые газы смешиваются перед поступлением в контейнер-сушилку 10.

Тепловая энергия, выделяющаяся в процессе горения генераторного газа в камере сгорания нагревателя двигателя Стирлинга, используется для подвода тепловой энергии в цикл двигателя Стирлинга. Образовавшиеся после сжигания генераторного газа дымовые газы увлекаются по принципу эжекции потоком воздуха, предварительно подогретым в холодильнике двигателя Стирлинга. Получившаяся смесь теплого воздуха и горячих дымовых газов подаётся в накопительный

контейнер-сушилку для щепы по воздуховоду, где используется в качестве сушильного агента.

Конструкция предложенного контейнера сушиллки изображена на рисунке 3.

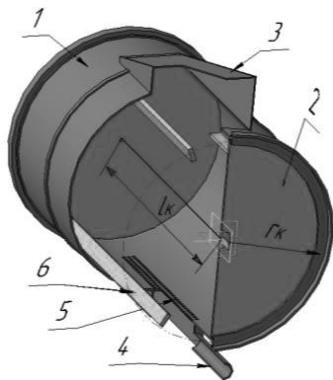


Рис. 3. Накопительный контейнер-сушиллка ИТМ

Контейнер-сушиллка представляет собой цилиндр 1 с подвижными боковыми стенками 2. Щепа поступает внутрь контейнера-сушиллки через верхнее загрузочное окно 3. В трубу 4 направляется поток горячих газов от двигателя Стирлинга, который распределяется равномерно с помощью отверстий 5. Таким образом, щепа в контейнере-сушиллке постоянно обдувается горячими газами, поступающими снизу через отверстия 5. Щепа в процессе сушки в контейнере-сушиллке постоянно перемешивается с помощью лопаток 6, прикреплённых к вращающимся боковым стенкам 2.

С целью определения зависимости качественных и количественных параметров сушильного агента поступающего в контейнер-сушиллку от начальных условий и режимов работы технологического оборудования ИТМ был проведен вычислительный эксперимент.

Использованием метода материального и теплового балансов процесса горения газов определено количество и состав газов в зависимости от начальных условий и режимных параметров работы энергетической установки, а именно: состав, количество, температура продуктов сгорания; состав, количество, температура газо-воздушной смеси (теплоносителя); необходимый расход охлаждающего воздуха.

Основные начальные условия: состав твердого древесного топлива; температура и влажностное содержание окружающего воздуха. Основные параметры работы установки: суммарная нагрузка на валу двигателя

Стирлинга; КПД и энергетический баланс двигателя Стирлинга.

Результаты вычислительного эксперимента представлены в таблице 1. Определяющим параметром является начальная относительная влажность щепы w_0 . Остальные зависимые факторы – влажность газовой смеси φ_{ca} ; расход щепы в контейнер-сушиллку $V_{щ}$; расход сушильного агента (газовой смеси) V_{ca} и его температура T_{ca} определяются значением w_0 и не будут варьироваться в эксперименте независимо. Зависимые параметры соответствуют производительности ИТМ, изображенной на рисунке 1, с двигателем Стирлинга мощностью 230 кВт

Таблица 1 – Параметры сушильного агента в зависимости от определяющих факторов

№ опыта	w_0 , %	φ_{ca} , %	$V_{щ}$, $\text{дм}^3/\text{с}$	V_{ca} , $\text{дм}^3/\text{с}$	T_{ca} , °C
1	47,9	3,2	74	340	125
2	40,8	3,5	71	342	112
3	35,5	3	70	343	109
4	30,8	3,3	68	340	99,8
5	25,2	3,2	68	341	96,5
6	47	2,7	74	299	134
7	41,9	3	71	300	120
8	35,7	2,6	70	300	115
9	31,2	3	68	301	105
10	25,5	2,8	68	301	102
11	47,3	2,2	74	260	145
12	41,5	2,4	71	259	131
13	36,8	2,3	70	260	123
14	31,3	2,2	68	262	117
15	25,3	2	68	260	113
16	47,8	1,8	74	221	157
17	41,5	2	71	220	142
18	35	1,9	70	220	132
19	30,5	2	68	222	123
20	24,9	1,9	68	221	117
21	46,7	1,6	74	180	170
22	42	1,7	71	180	153
23	35,7	1,6	70	180	145
24	30,8	1,5	68	181	138
25	25,8	1,4	68	181	131

Для корректного проведения экспериментальных исследований необходимо соблюдение законов подобия [3, 4]. Согласно теории подобия физические процессы, происходящие в реальной установке и опытной модели, будут подобны, если будут равны безразмерные критерии подобия. Следовательно, при проектировании

экспериментальной модели контейнера-сушиллки и проведении экспериментального исследования процесса сушки необходимо обеспечить равенство критериев подобия.

Кроме того, при определении размеров макета накопительного контейнера-сушиллки необходимо соблюдение геометрического подобия. Для этого используем масштаб линейных размеров для экспериментального образца $\lambda_l = \frac{L}{L_m}$. Если линейные размеры

моделируемого контейнера-сушиллки: длина $l_k=3,5$ м, радиус $r_k=1,4$ м; а масштаб линейных размеров модели $\lambda_l=6$, то линейные размеры модели $l_m=0,58$ м и $r_m=0,23$ м.

В эксперименте исследуется процесс тепло и массообмена между потоком горячей смеси газов и влажной щепой. При этом наблюдается вынужденное движение потока сушильного агента в каналах произвольной формы в слое щепы. Таким образом, в нашем случае критериями подобия будут критерии Рейнольдса, Нуссельта, Прандтля и Шервуда.

Рассчитаем критерий Рейнольдса для реальной установки. Для этого определим скорость потока и эквивалентный гидравлический диаметр условных каналов в слое щепы, по которым движется сушильный агент. Поскольку контейнер-сушиллка представляет собой горизонтально расположенный цилиндр, то при постоянном расходе сушильного агента скорость потока газа в слое щепы будет зависеть от высоты слоя и соответственно площади живого сечения. Площадь живого сечения S_a , m^2 , равна произведению длины хорды, м, l_x и длины контейнера, м, l_k . Длина хорды и соответственно площадь живого сечения зависят от объема щепы в контейнере. Определим центральный угол α , опирающийся на данную хорду l_x через объем щепы в контейнере $V_{щ}$ из формулы для площади сектора S_c

$$S_c = \frac{V_{щ}}{l_k} = \frac{r_k^2 \cdot (\alpha - \sin(\alpha))}{2}. \quad (1)$$

Угол α , определяющий объем щепы $V_{щ}$ в контейнере можно выразить из формулы (3) с помощью функции «solve» Mathcad.

Площадь живого сечения S_{ca} на поверхности щепы в контейнере, через которую

проходит сушильный агент из геометрических соотношений можно выразить формулой (4)

$$S_{ca} = 2 \cdot r_k \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot l_k. \quad (2)$$

Скорость потока сушильного агента v_{ca} , м/с, в слое щепы, при условии неподвижности слоя и равномерном распределении щепы в контейнере можно выразить в зависимости от объемного расхода сушильного агента V_{ca} , m^3/c формулой

$$v_{ca} = \frac{V_{ca}}{S_{ca} \cdot \varepsilon}, \quad (3)$$

где ε – порозность слоя, которая зависит от коэффициента объема K_V , который занимает сыпучий материал. В нашем случае для щепы $K_V=0,32$, тогда $\varepsilon=1 - K_V=0,68$.

При оптимальных для использования в газогенераторе и котлах размерах щепы $l_1=0,05$ м, $l_2=0,03$ м, $l_3=0,015$ м, объемно-эквивалентный диаметр частицы щепы равен $d_{щ}=0,035$ м и определен по формуле

$$d_{щ} = \left(\frac{6}{\pi} \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot l_3 \right)^{1/3}. \quad (4)$$

Эквивалентный гидравлический диаметр каналов d_e , м, по которым движется сушильный агент в слое щепы

$$d_e = \sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} \cdot d_{щ}. \quad (5)$$

Тогда число Рейнольдса для потока сушильного агента в каналах между частицами щепы определяется выражением

$$Re = v \frac{d_e}{\nu}. \quad (6)$$

Распределение числа Re по высоте контейнера-сушиллки диаметром 2,8 м, вычисленного при эквивалентном гидравлическом диаметре каналов в слое щепы $d_e=0,051$ м, представлено на рисунке 4.

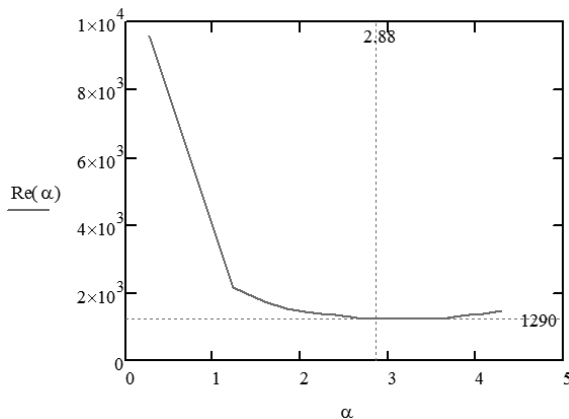


Рис. 4. Значение числа Рейнольдса для потока сушильного агента в слое щепы в сушилке формы горизонтального цилиндра

Из графика рисунка 4 видно, что преобладает ламинарный режим течения газа в каналах слоя щепы с переходным режимом течения между турбулентным и ламинарным в нижней части контейнера. Поскольку среднее интегральное значение числа Рейнольдса меньше критического, то критерии Нуссельта и Шервуда определяем по формулам для ламинарного режима течения газа [12]

$$Nu = 1,24 \cdot \left(\frac{d_{\text{щ}}}{H} \right)^{0,3} \cdot Re^{0,33} E^{0,084}, \quad (7)$$

$$Sh = 0,911 \cdot \left(\frac{d_{\text{щ}}}{H} \right)^{-0,2} \cdot Re^{0,33} E^{0,084}, \quad (8)$$

где H – высота слоя щепы, м, E – параметр, который учитывает влияние изменения влажности щепы на теплообмен. Параметр (E) определяется соотношением [12]

$$E = \frac{1 - w}{w}, \quad (9)$$

где w – интегральная относительная влажность материала.

Скорость потока сушильного агента в эксперименте и размеры щепы были подобраны таким образом, чтобы выполнялось равенство критериев подобия процессов происходящих в полноразмерном накопительном контейнере-сушилке и его макете в составе экспериментального стенда (рис. 6). Таким образом, соблюдая равенство критерия Рейнольдса, найдена скорость потока сушильного агента в эксперименте из формулы (6) при заданных размерах щепы. По скорости

сушильного агента был подобран его объёмный расход в эксперименте.

Структурная схема эксперимента представлена на рисунке 5.

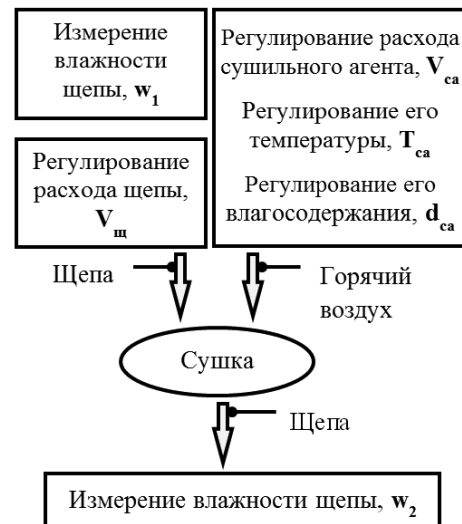


Рис. 5. Схема эксперимента

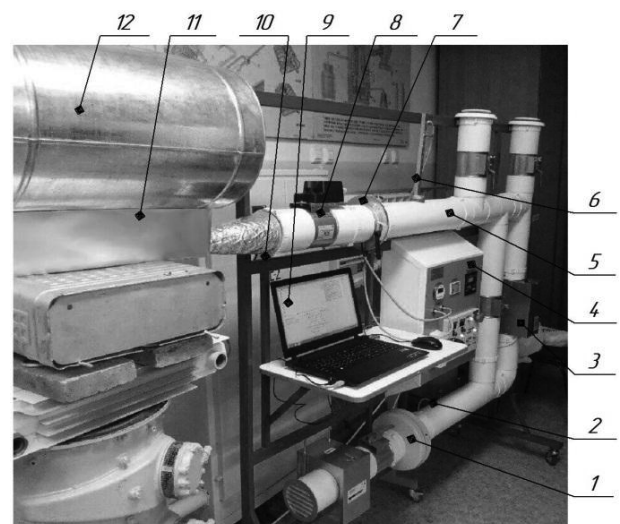


Рис. 6. Экспериментальная установка с макетом контейнера сушилки и лабораторным стендом для управления параметрами сушильного агента: 1 – вентилятор; 2 – температурный датчик MBT 153 с термометром сопротивления Pt 100 на входе; 3 – электронагревательный блок регулируемый; 4 – блок ручного управления; 5 – воздуховод; 6 – трубка пито; 7 – ирисовый клапан; 8 – регулирующая заслонка; 9 – компьютер (автоматическое регулирование и регистрирование данных); 10 – температурный датчик W-CABLE-6/170-3000/GGD-4-A с термометром сопротивления Pt 100 на выходе; 11 – распределительный короб контейнера; 12 – макет контейнера-сушилки

В ходе эксперимента в модель контейнера-сушилки загружалась щепа определённой влажности и снизу подавался горячий воздух. Регулируемые параметры – расход щепы, расход, температура и влагосодержание

горячего воздуха соответствуют реальным условиям. Продолжительность сушки щепы равна времени заполнения контейнера-сушилки. После сушки была измерена влажность щепы в соответствии со стандартом EN 14774-2:2009.

Экспериментальная установка представлена на рисунке 6.

Результаты

Поскольку основным варьируемым независимым фактором, уровнем которого можно управлять в реальном технологическом процессе, является расход сушильного агента, то найдём уравнение регрессии описывающее влияние этого фактора на снижение влажности щепы в контейнере-сушилке.

На рисунке 4 представлены результаты эксперимента снижение влажности щепы в сушилке при различных значениях расхода сушильного агента при заданных значениях начальной влажности щепы.

Аппроксимация значений изменений влажности Δw , %, в сушилке произведена в программе CurveExpert с использованием экспоненциального закона [5] функций

$$\Delta w = a \cdot \exp(-b \cdot V_{ca}) + c \cdot V_{ca}^d \cdot \exp(-e \cdot V_{ca}), \quad (10)$$

где a , b , c , d , e – значения коэффициентов представленные в таблице 2.

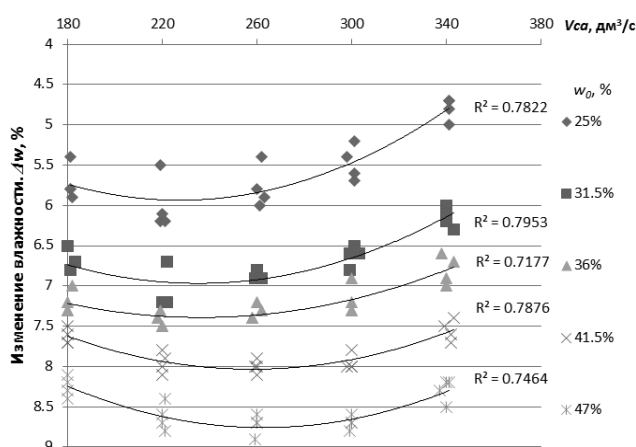


Рис. 7. Снижение влажности щепы Δw в контейнере-сушилке в зависимости от V_{ca} при различных значениях w_0

Наличие экстремума функции объясняется процессами происходящими в накопительном контейнере-сушилке предложенной конструкции. В силу того что контейнер имеет

форму горизонтального цилиндра и сушильный агент подаётся снизу, то поток его распределяется по объёму контейнера с разной степенью равномерности при разных объёмных расходах газа и разной плотности щепы, которая зависит от влажности. Также характер кривых объясняется различными параметрами сушильного агента, зависящими от объемного расхода и начальной влажности щепы (табл. 1).

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения (3) при различной начальной влажности щепы w_0

w_0	25%	30,5%	36%	41,5%	47%
a	2,80298	3,54316	2,64373	5,28724	6,85621
b	-0,0098	-0,0093	0,0019	-0,0038	0,02641
c	-0,0023	-0,0035	0,01276	-0,0011	-0,003
d	1,39885	1,35813	1,34314	1,39194	1,73306
e	-0,0065	-0,0062	5,22429	-0,0033	-0,0064

При объемном расходе сушильного агента ниже критического интенсивность сушки не высока и увеличивается с увеличением скорости потока газа в слое щепы. При дальнейшем увеличении скорости потока струя газа пробивает себе более широкие каналы в слое щепы и распределение его по объёму контейнера становится менее равномерным. Кроме того несколько снижается температура сушильного агента, поскольку по условиям эксперимента имитировалась утилизация тепловых выбросов газогенераторного двигателя Стирлинга, в виде смеси охлаждающего двигателя воздуха и дымовых газов, температура которой зависит от объемной доли компонентов.

Анализируя графики рисунка 4 можно сделать вывод, что имеется оптимальное значение расхода сушильного агента в контейнере-сушилке и оно составляет 0,26-0,22 м³/с в эксперименте, что соответствует действительному расходу 3,57-3,02 м³/с.

Заключение

Результаты экспериментальных данных подтверждают работоспособность предложенной конструкции контейнера-сушилки.

В результате эксперимента установлена регрессионная зависимость снижения влажности щепы в контейнере ИТМ после её сушки с помощью смеси горячих дымовых газов и воздуха охлаждающего двигатель Стирлинга от начальной влажности щепы и расхода

сушильного агента направляемого в контейнер. Выявлено оптимальное значение расхода газовой смеси в контейнер-сушилку данной конструкции.

Литература

1. Рукомойников К.П. Обоснование алгоритма расчета биоэнергетического потенциала лесного квартала // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 8.
2. Селиверстов А.А., Суханов Ю.В., Сюнёв В.С., Катаров В.К. Использование передвижных рубительных машин для производства топливной щепы в условиях республики Карелия // Лесопромышленник. - 2012. - № 2(62). - С. 19-23.
3. Анисимов П.Н. Технические системы для заготовки энергетической биомассы // Научному прогрессу – творчество молодых: матер.междунар. молод. научн. конф. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. - С. 8-9.
4. Гудков А.Ю., Свиридов В.Г., Полетаев Н.Н. Использование мобильных рубительных машин для производства биотоплива // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 4-2 (15-2). С. 184-187.
5. Анисимов П.Н., Онучин Е.М. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность Материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции. В 2 томах. - 2015. - С. 252-255.
6. Локштанов Б.М., Бачериков И.В., Орлов В.В. Обезвоживание и очистка топливной щепы в условиях лесосеки // Леса России XXI века: Материалы одиннадцатой Международной научно-технической конференции-СПб.:СПбГЛТУ, 2014. № 1, с. 160-166
7. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Мухтарова А.Р. Вакуумно конвективная сушка измельченного растительного сырья // Деревообрабатывающая промышленность. - 2016. - № 4. - С. 11-17.
8. Anisimov P.N., Onuchin E.M., Vishnevskaya M.M., Sidiganov J.N., Medyakov A.A. The study of biomass moisture content impact on the efficiency of a power-producing unit with a gasifier and the stirling engine // Journal of Applied Engineering Science. - 2016. - Т. 14. № 3. - С. 401-408.
9. Анисимов П. Н., Онучин Е.М. Энергетическая эффективность и экономическая целесообразность производства топливной щепы с помощью установки, использующей часть перерабатываемого сырья на собственные нужды // Россия в пространстве глобальных трансформаций. Материалы международной междисциплинарной научной конференции. - 2016. - С. 326-329.
10. Анисимов П. Н., Онучин Е.М. Моделирование работы системы энергообеспечения мобильных технологических линий по производству сухой топливной щепы с использованием части производимого биогенного топлива // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. - № 89. - С. 518-530.
11. Анисимов П. Н., Онучин Е.М. Заготовка топливной щепы с помощью измельчающе-транспортной машины с энергообеспечением от двигателя внешнего сгорания на древесном топливе // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. – 2016. - С. 55-58.
12. Колибаба О. Б., Сокольский А. И., Габитов Р. Н. Исследование сушки слоя твердых бытовых отходов в процессе термической переработки // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. - №3. – С. 21-25.

© П.Н. Анисимов – старший преподаватель кафедры «Энергообеспечение предприятий», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», anisimovpn@list.ru; Е.М. Онучин – к.т.н., заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», onuchinem@volgatech.net.

Физико-механические процессы в деревообработке

УДК 674.04

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО КОМПЛЕКСА КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

И.Ф. Хакимзянов, П.А. Кайнов, Мухтарова А.Р., Илалова Г.Ф.

В статье рассмотрены пути повышения эффективности процессов конвективной сушки древесных материалов. Получены режимные параметры проведения процесса сушки пиломатериалов.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, газификация, тепловой насос, сушка.

In article are considered the ways of increase of efficiency of processes of convective drying of wood materials. Regime parameters of carrying out process of drying of timber are received.

Keywords: energy efficiency, energy saving, gasification, heat pump, drying.

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция роста тарифов на энергоносители, в связи с чем особенно актуальной становится проблема энергосбережения в производственной деятельности предприятий. Поэтому внедрение энергосберегающих технологий является одним из важных направлений повышения эффективности производства и умелого ведения технологических процессов. При этом к одним из наиболее энергоемких процессов, используемых во многих отраслях промышленности, можно отнести процессы сушки, которые обычно обусловлены высокими энергетическими затратами [1]. В частности, в деревообрабатывающей промышленности затраты энергии на сушку пиломатериалов достигают 15 % от стоимости продукции. Немаловажную роль в подобных процессах играет и продолжительность, которая на большинстве деревообрабатывающих предприятий занимает от двух недель до двух месяцев в зависимости от сортамента высушиваемого материала, что также приводит к значительному потреблению тепловой и электрической энергии. Решению данной проблемы способствует совершенствование известных и поиск новых методов сушки древесины [2-16]. Одним из возможных решений является разработка сушильного комплекса с использованием теплового насоса, который работает от двигателя внутреннего сгорания [17-22], использующего в качестве топлива альтернативный источник энергии – отходы деревообработки, образующиеся на

деревоперерабатывающих предприятиях [23-26]. Однако существует недостаток данного вида топлива – это низкая энергетическая плотность. С целью устранения данного недостатка отходы деревообработки гранулируют. Кроме того, одним из перспективных способов повышения энергоэффективности топливных гранул является их предварительная термическая обработка – высокотемпературное воздействие без доступа кислорода воздуха, т.е. торрефикация [27, 28].

Методы и материалы

С целью снижения затрат в процессах конвективной сушки пиломатериалов был создан сушильный комплекс с использованием теплового насоса (рис. 1). При этом работа теплового насоса обеспечивается от двигателя внутреннего сгорания, работающего на генераторном газе.

Предложенная конструкция камеры для сушки пиломатериалов работает следующим образом: осушаемый пиломатериал 11 загружается в сушильную камеру 10 в виде штабеля, имеющего пространственные зазоры для вертикальной циркуляции воздуха. В период прогрева штабеля в работу включается вентилятор 9 и теплообменник 13, при этом сушильный агент (воздух) начинает циркулировать в замкнутом пространстве сушильной камеры 10 по контуру I (рис.1), т.е. без осушения при выключенном тепловом насосе.

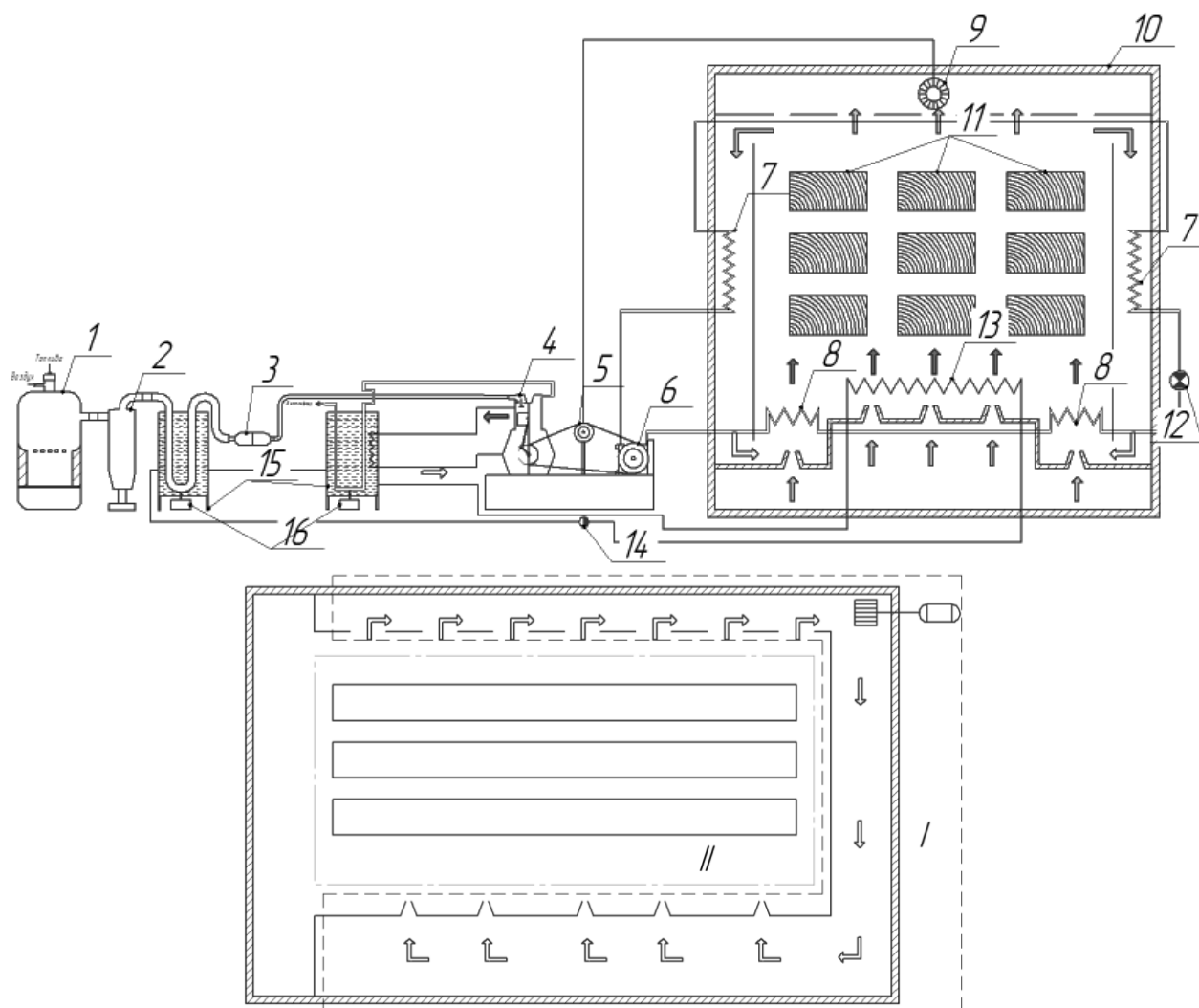


Рис. 1. Схема лесосушильного комплекса с тепловым насосом:
 1 – газогенератор; 2 – циклон; 3 – фильтр; 4 – двигатель внутреннего сгорания;
 5 – электрогенератор; 6 – компрессор теплового насоса; 7 – испарители; 8 – конденсаторы;
 9 – центробежный вентилятор; 10 – сушильная камера; 11 – пиломатериал;
 12 – дроссельный клапан; 13 – теплообменник; 14 – циркуляционный насос;
 15 – теплообменники для подогрева жидкого теплоносителя; 16 – конденсаторосборники

Центробежный вентилятор 9 направляет поток осушенного воздуха через теплообменник 13, расположенный в нижней части камеры, жидкостной теплоноситель которого подогревается за счет охлаждения генераторного газа, вырабатываемого при термохимической конверсии древесных отходов в газогенераторе 1, двигателя внутреннего сгорания 4, а также дымовых газов, образующихся при сгорании генераторного газа в двигателе внутреннего сгорания. Горячий воздух проходит через штабель и нагревает пиломатериал. Испаряющаяся с поверхности древесины влага увлажняет сушильный агент, при этом температура его снижается. Затем влажный воздух затягивается центробежным вентилятором 9 в зазор между фальш-потолком

и корпусом сушильной камеры 10 с противоположной стороны штабеля и цикл повторяется.

После окончания периода прогрева вентилятор 9 выключают и запускается парокомпрессионный тепловой насос, при этом в качестве испарителей выступают теплообменники 7, выполняющие роль осушителей, а в качестве конденсаторов – теплообменники 8, выполняющие роль калориферов. Воздух в сушилке начинает циркулировать по замкнутому малому контуру II.

После прохождения пиломатериалов влажный теплый воздух проходит через теплообменники 7, выполняющие роль осушителей, расположенные за фальш-стенками,

в которых он охлаждается до температуры насыщения. В результате часть влаги конденсируется на поверхности осушителей и стекает в конденсатосборники, из которых самотеком удаляется за пределы сушильной камеры 10 конденсатоотводчиком. Далее воздух вследствие подогрева от теплообменников 8, выполняющих роль калориферов, приобретает необходимую температуру и влагосодержание и путем естественной конвекции направляется к штабелю пиломатериалов.

Для аналитического расчета процессов сушки в предложенной камере была разработана математическая модель. Для описания изменения во времени полей влажности и температуры по толщине материала воспользуемся уравнениями, предложенными А.В. Лыковым в следующей форме:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) + a_m \delta \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a_\tau \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right) + \frac{r\epsilon}{c_m} \left(\frac{\partial U}{\partial \tau} \right). \quad (2)$$

Начальные условия, характеризующие начало всего сушильного процесса

$$U(0; x) = U_0, \quad (3)$$

$$T_m(0; x) = T_{m.0}. \quad (4)$$

Краевые условия для системы уравнений (1) и (2) представим в следующем виде

$$\alpha \cdot (T - T_{m.пов}) - r \cdot j_{пов} = -\lambda_m \left. \frac{\partial T_m}{\partial x} \right|_{x=0}, \quad (5)$$

$$j_{пов} - \beta \cdot (\rho_{пов} - \rho_n) = 0. \quad (6)$$

Для движущейся парогазовой среды дифференциальное уравнение переноса энергии в прямоугольных координатах с учетом стока тепла к материалу и замены субстанционной производной ее выражением принимает вид

$$\begin{aligned} c_{\mu,см} \rho_{см} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \\ = \lambda_{см} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \gamma_m \end{aligned} \quad (7)$$

Функция стока тепла в этом случае может

быть определена выражением

$$\gamma_T = [\alpha \cdot (T - T_{m.пов}) - r \cdot j_{пов}] \cdot F_m^*, \quad (8)$$

где F_m^* – удельная поверхность материала; характеризует поверхность прогреваемых пиломатериалов, приходящуюся на 1 м³ теплоносителя, который находится в сушильной камере.

Так как поток полностью заполняет пространство сушильной камеры, то можно считать, что теплоноситель одновременно обтекает все отдельные элементы штабеля. Тогда, рассматривая одномерную модель обтекания материала и пренебрегая молекулярной теплопроводностью теплоносителя, выражение (3.9) с учетом уравнения (3.10) запишем в виде

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{[\alpha \cdot (T_{cp} - T_{m.пов}) - r \cdot j_{пов}] \cdot F_m^*}{c_{\mu,см} \rho_{см}} \quad (9)$$

Тепловой баланс процесса прогрева сушильного агента в точке выхода из калорифера можно представить в виде

$$K \cdot \Delta t \cdot F_{кал} \cdot \partial \tau = \frac{c_{\mu,см}}{\mu_{см}} \cdot \rho_{см} \cdot V \cdot \partial T \quad (10)$$

Левая часть уравнения (10) характеризует приток тепла от калорифера, правая часть – изменение внутренней энергии выделенного объема теплоносителя.

Отсюда, получаем зависимость изменения температуры фронта среды при прохождении через калорифер, которая будет являться граничным условием для решения дифференциального уравнения (9)

$$\left. \frac{\partial T}{\partial \tau} \right|_{t=0} = \frac{K \cdot \Delta t \cdot F_{кал} \cdot \mu_{см}}{\rho_{см} \cdot V \cdot c_{\mu,см}}. \quad (11)$$

Начальное условие для решения уравнения (9) может быть представлено в следующем виде:

$$T(0; z) = T_{m.нач}. \quad (12)$$

Присутствующая в уравнении (9) скорость движения w_z среды представляет собой скорость

естественной конвекции, вызванной разностью плотностей среды у поверхности нагрева ($\rho_{\text{нагр}}$ – у конденсатора теплового насоса) и среды, охлаждаемой вследствие теплообмена с испарителем теплового насоса $\rho_{\text{охл}}$. Для определения указанной скорости может быть использована результирующая сила, действующая на выделенный объем жидкости

$$F_{\text{рез}} = F_{\text{Ар}} - F_{\text{тяж}} = g \cdot V (\rho_{\text{охл}} - \rho_{\text{нагр}}). \quad (13)$$

Тогда ускорение, с которым движется выделенный объем жидкости, можно представить в следующем виде

$$a' = \frac{F_{\text{рез}}}{m} = \frac{g \cdot V (\rho_{\text{охл}} - \rho_{\text{нагр}})}{V \cdot \rho_{\text{нагр}}} = g \cdot \left(\frac{\rho_{\text{охл}}}{\rho_{\text{нагр}}} - 1 \right). \quad (14)$$

Совместное решение выражений для ускорения ($a' = w/\tau$) и времени ($\tau = \frac{z}{w}$) приводит к выражению для нахождения скорости естественной конвекции

$$w_z = \sqrt{a' \cdot z} = \sqrt{g \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_{\text{нагр}}} - 1 \right) \cdot z}. \quad (15)$$

Система уравнений переноса энергии и массы для парогазовой смеси (9) с соответствующими краевыми условиями (5), (6) и (12) полностью описывает темп нагревания окружающей среды от калорифера с учетом теплообмена с древесиной. При этом полученные кинетические зависимости позволяют определить рациональную схему подачи теплоносителя, а также выбрать оптимальные параметры проведения процесса и размеры аппарата.

Результаты

С целью проверки адекватности разработанной модели при расчетах процессов конвективной сушки древесины были проведены исследования по сушке сосновых образцов различной толщины (30, 40, 50 мм). Результаты исследований приведены на рисунке 2.

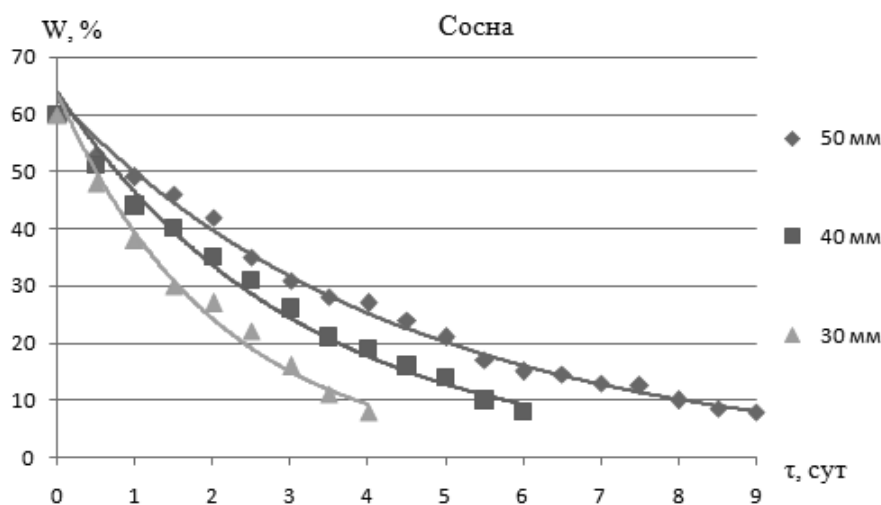


Рис. 2. Интегральные кривые сушки

На рис. 2 представлены кривые сушки сосны при температуре среды 343 К. Количественная оценка расхождения расчетных и экспериментальных значений для сосновых образцов различной толщины находится в пределах 15 %, что позволяет сделать вывод о возможности использования модели для теоретического исследования процесса

конвективной сушки пиломатериалов с использованием теплового насоса.

Также в ходе проведения экспериментов была определена зависимость скорости естественной конвекции сушильного агента от разницы температур между испарителем и конденсатором теплового насоса (рис. 3).

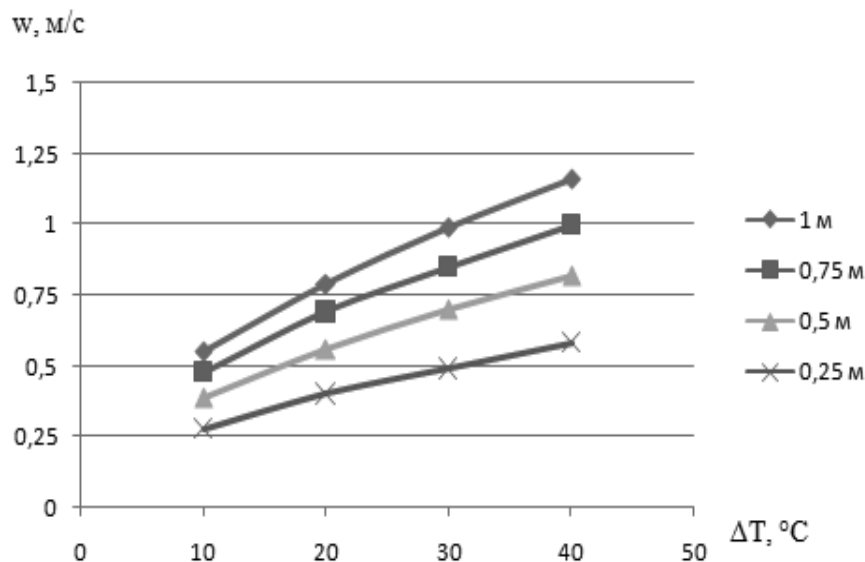


Рис. 3. Зависимость скорости конвекции подъема сушильного агента от ΔT между испарителем и конденсатором теплового насоса

Из графика видно, что чем выше разница температур между конденсатором и испарителем теплового насоса, тем больше скорость естественной конвекции сушильного агента в камере, следовательно, тем меньше продолжительность процесса, что, тем самым, приводит к меньшему потреблению энергии. Также из графика можно сделать вывод, что с уменьшением высоты фальш-стенки,

уменьшается скорость естественной конвекции, что объясняется увеличением сопротивления.

Кроме того, в ходе проведения экспериментальных исследований было выполнено сравнение потребления тепловой энергии между предложенной сушильной установкой и традиционной конвективной сушилкой (рис. 4).

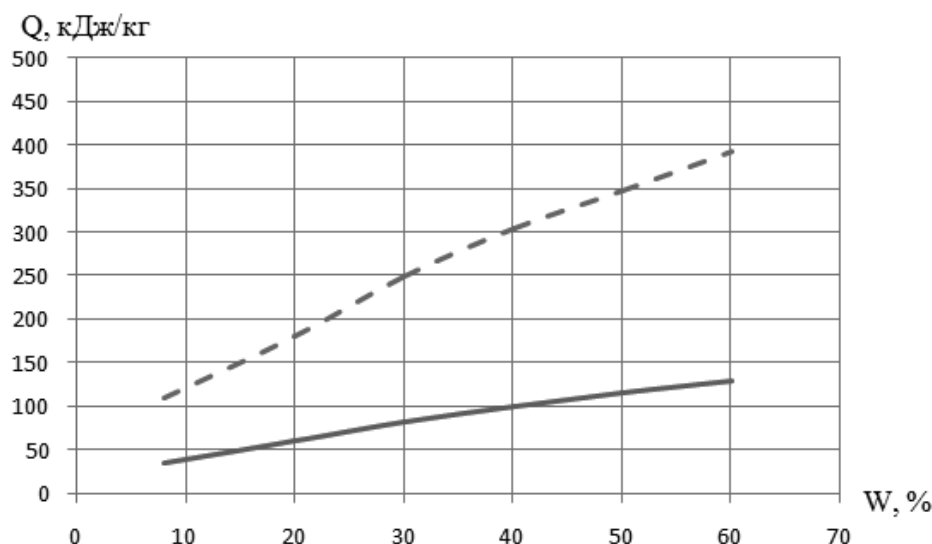


Рис. 4. Показатели потребления тепловой энергии в зависимости от начальной влажности пиломатериалов:
 ----- — конвективная сушилка «кипящего слоя»;
 — экспериментальная сушильная установка с использованием теплового насоса.

Из графика видно, что сушка в предложенной камере проводится с потреблением энергии в разы меньшим по сравнению с традиционным конвективным

способом сушки. Такая экономия достигается особенностью конструкции сушильной установки, а также использованием в процессах сушки теплонасосного оборудования.

Заключение

В работе исследовано повышение энергоэффективности в процессах конвективной сушки древесных материалов. Для проведения исследований был создан лесосушильный комплекс, состоящий из сушильной камеры с тепловым насосом, который работает от двигателя внутреннего сгорания, использующего в качестве топлива торрефицированные древесные гранулы.

В ходе проведения исследования было установлено, что предложенный лесосушильный комплекс позволяет снизить потребление энергетических ресурсов примерно в 3 раза и повысить эффективность проведения процесса сушки пиломатериалов.

Литература

1. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А. // Вестн. Казан. технол. ун-в., 16, 23, 76-78 (2013).
2. Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. // Вестн. Казан. технол. ун-в., 17, 21, 50-52 (2014).
3. Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Хасаншина Р.Т. // Вестн. Казан. технол. ун-в., 18, 2, 253-256 (2015).
4. Galyavetdinov N.R., Safin R.R., Mukhametzyanov S.R., Khakimzyanov I.F., Kaynov P.A. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th, 731-738 (2015).
5. Хакимзянов И.Ф., Сафина А.В. // Деревообрабатывающая промышленность, 43, 21-23 (2014).
6. Кайнов П.А., Мухаметзянов Ш.Р., Хакимзянов И.Ф. // Энергетика Татарстана, 2 (38), 73-77 (2015).
7. Пат. РФ 2425306 (2009).
8. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. // Деревообрабатывающая промышленность, 5, 22-23 (2008).
9. Пат. РФ 2386912 (2009).
10. Галяветдинов Н.Р. // Автореф. дисс. канд. техн. наук, Казанский гос. энерг. ун-в., Казань, 2008, 16 с.
11. Галяветдинов Н.Р., Назипова Ф.В., Хасаншина Р.Т. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика (Воронеж, Россия, 10-12 декабря, 2014), 2, 5-4, 84-87.
12. Пат. РФ 2353873 (2007).
13. Сафин Р.Р., Петров В.И., Герасимов М.К., Разумов Е.Ю., Галяветдинов Н.Р. // Вестн. Моск. госуд. университета леса – Лесной Вестник, 2, 139-142 (2009).
14. Галяветдинов Н.Р. // Дисс. канд. техн. наук, Казанский гос. энерг. ун-в., Казань, 2008.
15. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. // Известия высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики, 11-12, 159-163 (2008).
16. Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А. // Вестн. Казан. технол. ун-в., 18, 11, 128-131 (2015).
17. Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Хасаншина Р.Т. // Вестн. Казан. технол. ун-в., 17, 18, 219-221 (2014).
18. Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А. // Деревообрабатывающая промышленность, 4, 12-15 (2014).
19. Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А. // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе, 386-388 (2015).
20. Хакимзянов И.Ф. // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса, 147-148 (2015).
21. Хакимзянов И.Ф., Хасаншина Р.Т., Хакимзянова Г.Ф. // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России, 157-160 (2015).
22. Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А. // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке, 936-941 (2016).
23. Shayakhmetova A.H., Nazipova F.V., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th, 53-58 (2015).
24. Шаяхметова А.Х., Тимербаева А.Л., Сафина А.В. // Деревообрабатывающая промышленность, 2, 41-45 (2015).
25. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Воронин А.Е., Зиятдинов А.Р., Сабиров А.Т. // Вопросы современной науки и практики, 5, 82-87 (2009).
26. Пат. РФ 2400671 (2009).
27. Ахунова Л.В., Шаяхметова А.Х., Сафина А.В. // Деревообрабатывающая промышленность, 2, 35-40 (2015).
28. Шаяхметова А.Х., Сафин Р.Р., Тимербаева А.Л., Зиятдинов Р.Р. // Вестн. Казан. технол. ун-в., 18, 8, 138-141 (2015).

© **И.Ф. Хакимзянов** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», lshat_170@mail.ru; **П.А. Кайнов** – к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», kra-nv@rambler.ru, **А.Р. Мухтарова** – студентка кафедры «Архитектура и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», **Г.Ф. Илалова** – студентка кафедры «Архитектура и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

UDC 674.816.3

RESEARCH OF MULTILAYER PLYWOOD BOND STRENGTH

S.A. Ugryumov, E.Y. Razumov

The article has estimated experimentally plywood strength properties with different number of layers. It was found that when the number of layers increases plywood specific strength indices decrease due to temperature depression in the farthest central layer and formation of adhesive layer with the least degree of solidification. To increase the strength of adhesive bonds it is recommended to use glues with a higher amount of hardener to form adhesive lines with equal strength along the plywood section.

Ключевые слова: plywood, number of layers, assembly, adhesive bonds, breaking strength, durability.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований прочностных свойств фанеры с различным количеством слоев. Было обнаружено, что при увеличении количества слоев фанеры удельные показатели прочности уменьшаются из-за понижения температуры в самом дальнем центральном слое и образования клеящего слоя с наименьшей степенью затвердевания. Для увеличения прочности адгезионных связей рекомендуется использовать клей с большим количеством отвердителя для образования адгезивных линий с равной прочностью вдоль секции фанеры.

Ключевые слова: фанера, количество слоев, сборка, адгезионные связи, прочность на разрыв, долговечность.

Introduction

Efficient use of raw materials in wood-processing industry is possible thanks to wide use of adhesion that gives a possibility not only to reduce materials consumption for production but to add it specific properties as well [1]. One of the types of adhesive-bonded materials is adhesive-bonded multilayer wood (plywood and plywood goods) on the basis of sliced veneer layers stuck together. Due to multilayer structure, as usual with alternating fiber orientation, as well as application of resistive synthetic resin adhesives, plywood has high strength, absence of anisotropy, water resistance [2-4].

Plywood is made of three or more veneer layers. GOST 3916.1-96 "General purpose plywood with external layers made of foliage species veneer. Processing conditions" involves plywood commercial availability with thickness from 3 to 30 mm. Depending on thickness of end product and veneer thickness the number of plywood layers can vary from 3 to 21. Due to multilayer structure quality indices increase, these are, first of all,

product strength, hardness, shape stability. Nowadays adhesive compounds with high adhesive strength are used to produce plywood [5-7]. Thanks to high physical and mechanical properties plywood is effectively used in construction, furniture manufacture, packing production, automobile construction, carriage building, container manufacturing, in the function of covering materials and other fields where plywood replaces natural wood [8, 9].

Work aim – evaluation of physical and mechanical indices of plywood with different number of layers and development of recommendations to provide stable physical and mechanical properties of plywood with different number of layers.

Objectives

Experimental evaluation of shear strength, bending strength, swelling in thickness, water absorption, density, mass loss during burning of plywood samples with different number of layers,

development of recommendations to increase the density of plywood with different number of layers.

Methodology of experimental researches

In the experimental part of the research we produced plywood samples of FK grade on the basis of amino-formaldehyde resin KFN-66-F. In the function of wood raw material we used birch sliced veneer with formal thickness of 1,5 mm.

Assembling of plywood bale consisted in selection and laying of veneer sheets in accordance

with desired construction and number of layers. During assembling we took into account processing recommendations for bale formation [10,11]: we provided the symmetry of veneer layers position relating to the central sheet; adjacent veneer sheets were placed perpendicular to each other, external veneer sheets (front and reverse) were placed parallel to fiber orientation.

Assembly charts are presented in table 1.

Table 1 – Plywood assembly charts

Formal thickness of plywood, mm	Assembly chart	
	Number of layers	Veneer sheets arrangement
4,0	3	($\cap$)
6,5	5	($\cap$) $\cup$
9,5	7	($\cap$) $\cup$ ($\cap$)
12,0	9	($\cap$) $\cup$ ($\cap$) $\cup$
15,0	11	($\cap$) $\cup$ ($\cap$) $\cup$ ($\cap$)
17,5	13	($\cap$) $\cup$ ($\cap$) $\cup$ ($\cap$) $\cup$

Legend: (,) – lengthwise veneer sheets; $\cup$, $\cap$ – transversal veneer sheets.

Application of adhesive was made with the contact method on every even-numbered layer on both sides. During assembling of the bale of plywood odd dry veneer sheets were interchanged with even-numbered adhesive ones. The glue spread was about 110 g/m² of the veneer surface.

The adhesion of plywood samples was conducted in the hydraulic press P100-400 under processing methods chosen with the help of technical literature [12, 13] and presented in table 2.

Table 2 – Processing method of plywood production

Formal thickness of plywood, mm	Number of layers	Specific molding pressure, MPa	Temperature of press plates, °C	Injection boost time, min
4,0	3	2,0	125	4,0
6,5	5	2,0	120	6,0
9,5	7	2,0	115	6,5
12,0	9	2,0	115	8,0
15,0	11	2,0	115	10,0
17,5	13	2,0	115	13,0

After plywood removing from the press, it was being treated under normal conditions within 24 hours; after that it was cut out into samples for testing.

Shear strength was estimated as per GOST Standard 9624–2009, bending strength – as per GOST Standard 9625–2013, swelling and water absorption as per GOST Standard 9621–72. Mass loss during burning was estimated by the method of «fire tube» as per GOST Standard 30244–94.

Results of the experiment

Figure 1 presents the external view of obtained plywood samples with different number of layers.

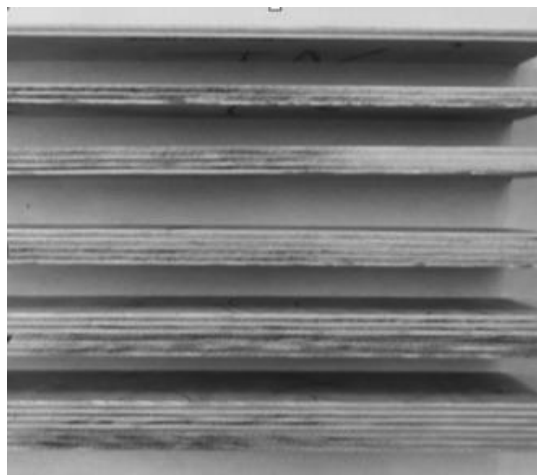


Fig.1. External view of plywood samples

Table 3 presents summary physical and mechanical parameters of plywood with different number of layers obtained during the experiment. Figure 2 presents comparative graphical parameters of how the number of layers depends on breaking strength through time.

Table 3 – Physical and mechanical properties of plywood

Number of layers	Shear strength, MPa		Bending strength, MPa	Water absorption, %	Swelling in thickness, %	Nominal density, kg/m ³	Mass loss during burning, %
	In the dry state	After 24 h soaking					
3	3,1	2,8	126,4	66,7	16,0	683,6	76,5
5	2,8	2,6	93,9	63,2	14,0	682,9	42,0
7	2,5	2,2	80,9	62,0	13,0	690,0	25,0
9	2,4	2,1	80,0	58,0	11,9	687,1	13,9
11	2	1,8	82,2	53,1	11,7	694,1	12,2
13	1,9	1,75	80,1	52,3	11,0	685,0	10,2

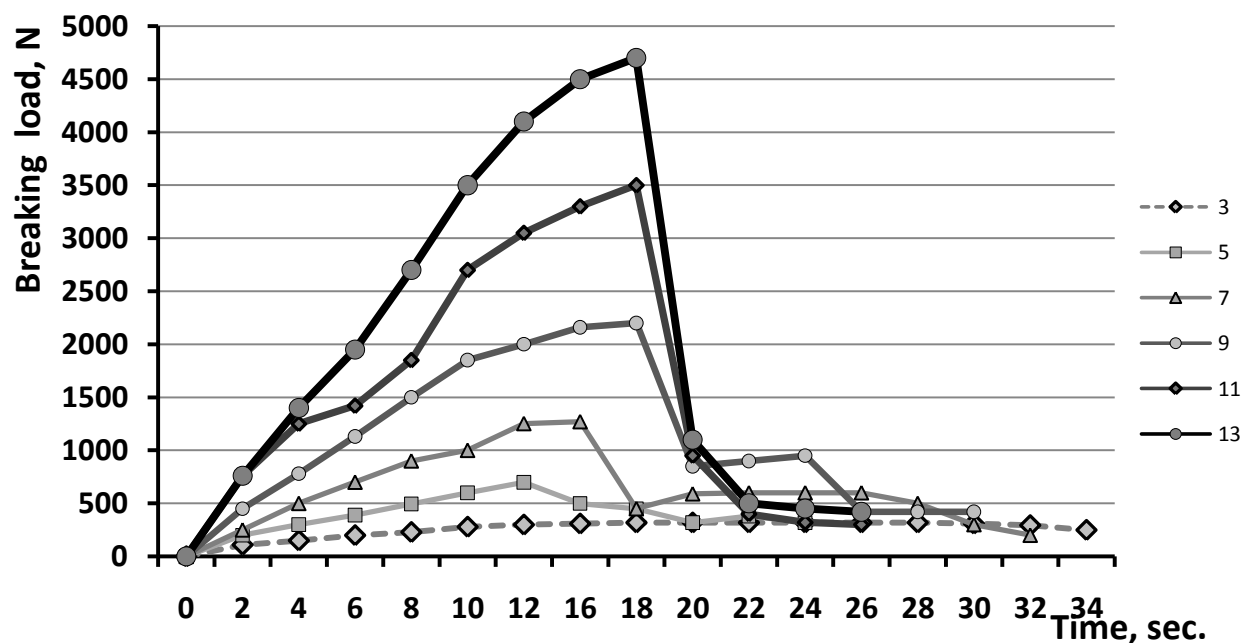


Fig.2. Impact of the number of layers on bending strength through time

As we can see from the diagrams destructive load increases when the number of layers rises; at that it is needed less time to destruct samples due to their toughness and insufficient ductility. Plywood with a small number of layers one can notice more long-lasting action of load before destruction due to

the ductility of plywood of small thickness and bending. In spite of the growth of destructive load with the rise of layers number specific bending strength ratio (per 1 mm of thickness) decreases. Figure 3 presents the dependence of plywood bending strength on the number of layers.

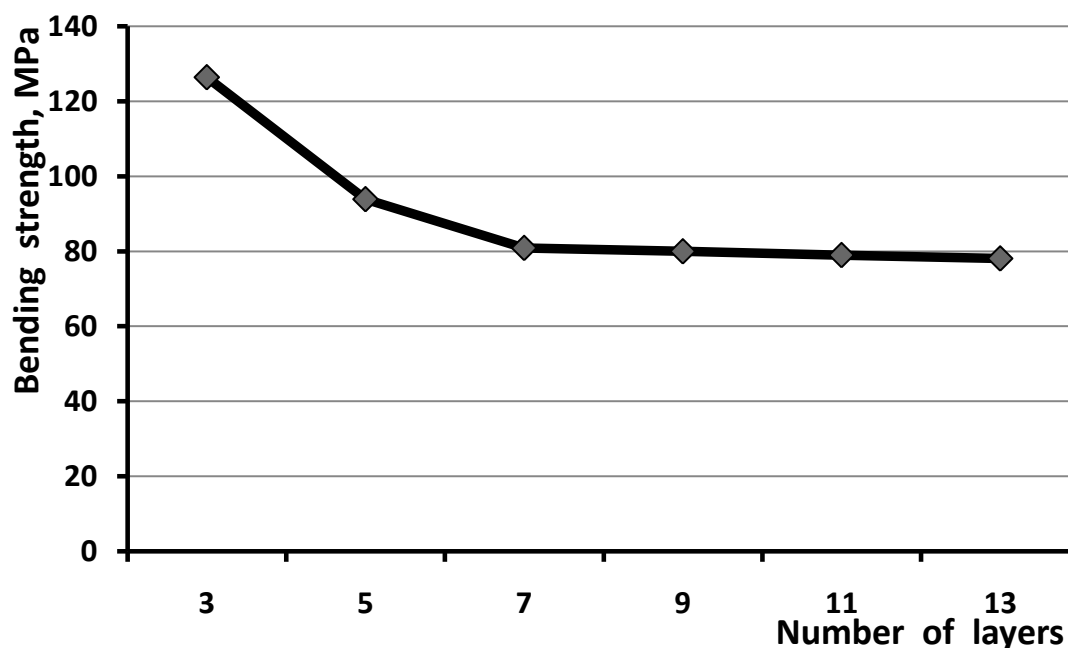
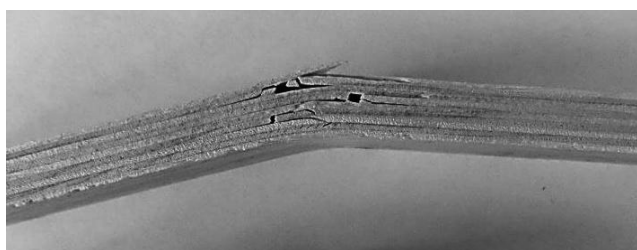


Fig.3. Dependence of plywood bending strength on the number of layers

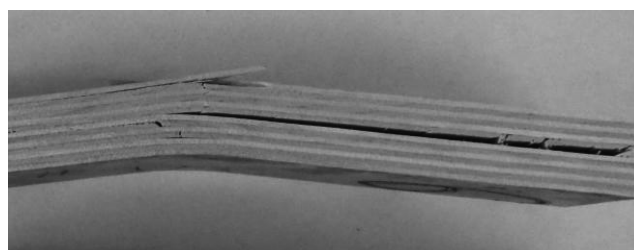
As we can see from the diagram plywood bending strength becomes lower when the number of layers increases. This fact is connected with the peculiarities of heating and adhesive solidification in plywood central layers. When the number of layers rises one need more time to warm up central layers. In this case the temperature in central layers is considerably lower than in external layers. Thus the degree of adhesive solidification in central layers decreases when the number of layers increases; this

leads to strength loss. This fact can be proved by the analysis of samples destruction under bending load. (fig. 4).

In samples where the number of layers is comparatively low one can notice the destruction mostly due to normal stress in the section. In samples with a higher number of layers one can notice the dominance of shearing stress in central layers that testifies the reduction of bond strength [14, 15].



a



b

Fig.4. Pattern of samples bending destruction:
a – number of layers up to 9; b – number of layers 11 or more

Shear strength was defined during the shear of the plywood central layer parallel to the adhesive area (fig. 5). The more the number of layers, the less the shear strength in the dry state as well as after soaking.

All the samples have the cohesive nature of destruction with breakout of wood fibers that proof the sufficient adhesion strength (fig. 6).

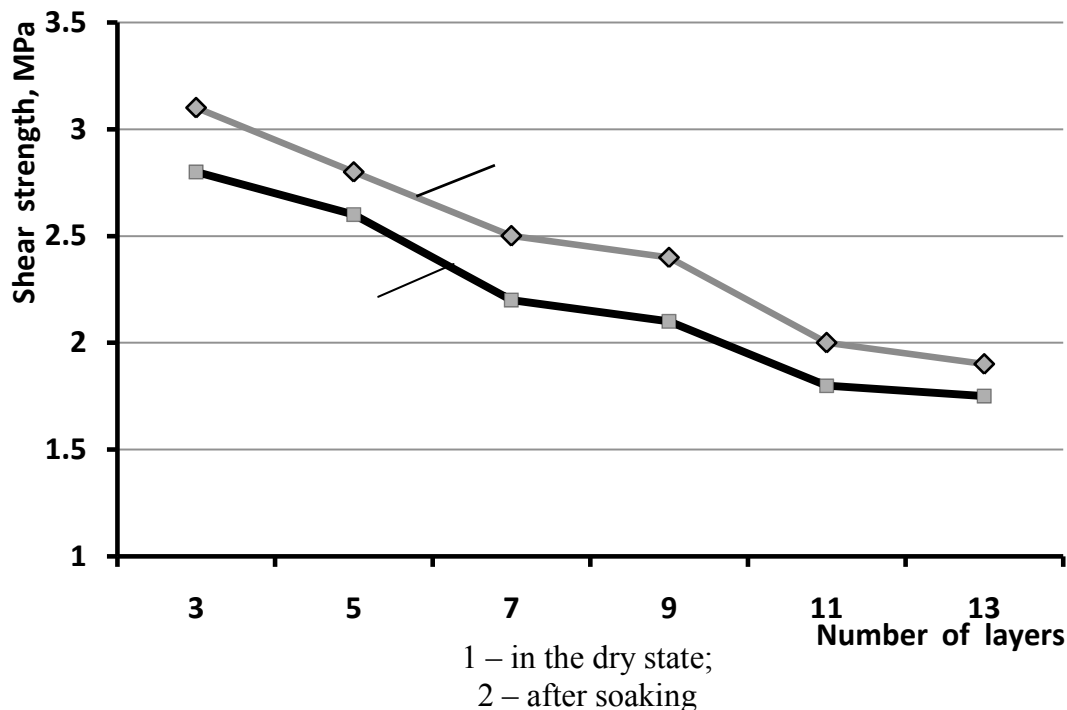


Fig.5. Dependence of plywood endurance limit during shear parallel to the adhesive layer on the number of layers

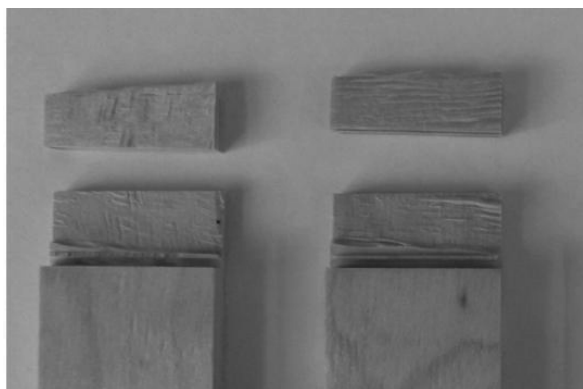


Fig.6. External view of plywood samples shear spans

Conclusion

When the number of layers increases specific indicators of plywood strength decrease due to the temperature rise in the most expelled central layer and formation of adhesive interior layer with the least degree of solidification.

To increase the strength of adhesive bonds in central layers of multilayer plywood it is recommended to raise the reaction capacity of adhesive compound through usage of an increased amount of hardener to form adhesive lines with equal strength.

References

1. Kondratiev V.P., Kondrashenko V.I. Synthetic resin adhesives for wood-based materials. - M.: Scientific world. 2004. 520 p.
2. Lukash A.A. The technology of adhesive-bonded materials. - SPb.: Lan, 2014. 144 p.
3. Ugryumov S.A. The optimal mode of compression, in the manufacture of plywood using paranavai tar // Wood industry, 2000. No. 3. pp. 27-28.
4. Ugryumov S.A., Smirnov A.A. The organization of the technological process of production of composite plywood. Bulletin of the MSFU, 2006. No. 3. pp. 123-126.
5. Malysheva G.V. Predictive modeling of adhesion bonds resource // Adhesives. Sealing agents. Technologies. 2013. № 8. P. 31-34.
6. Malysheva G.V. Physical chemistry of adhesive materials. // Material science. 2005. № 3. P. 9-14.
7. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Adhesion of modified carbamide-formaldehyde oligomer // Polymer Science Series D, 2010. Vol. 3. № 4. P. 235-237.
8. Lukash A.A. The technology of new adhesive-bonded materials. - SPb.: Lan, 2014. 304 p.

9. Bataev A.A., Bataev V.A. Composition materials: construction, derivation, application. – M.: Logos, 2006. 398 p.
10. Volynsky V.N. The technology of wood-based panels and compositon materials. – SPb.: Lan. 2010. 336 p.
11. Ugryumov S.A. Technology of glued materials and wood panels. - Kostroma: KSTU, 2014. 102 p.
12. Volkov A.V., Kondratiev V.P., Orlov A.T. Plywood maker guide. – SPb.: Politechnic University, 2010. 486 p.
13. Volynsky V.N. The technology of adhesive-bonded materials. – M.: Lan, 2012. 320 p.
14. Kostenko N.A., Baliasnikova S.V., Voloshanskaya Y. E. Strength of materials. – M.: Higher education, 2000. 430 p.
15. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. Strength of materials guide. – Kiev, 1988. 736 p.

© **Ugryumov S.A.** – doctor of science in technology, professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, **Razumov E.Y.** – doctor of science in technology, professor of the department «Architecture and Design of wood products», Kazan National Research Technological University, Kazan, evgeny.razumov2011@yandex.ru.

© **Угрюмов С.А.** – д.т.н., профессор Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола, **Разумов Е.Ю.** – д.т.н., профессор кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ «Казанский национальный исследовательский технологический университет», evgeny.razumov2011@yandex.ru.

Уважаемые авторы журнала!!!

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

Основной текст формируется в две колонки. Рабочие языки журнала — русский и английский.

Параметры страницы: верх – 3 см; низ – 2,5 см; левое поле – 1,8 см; правое поле – 1,8 см.

Основной размер шрифта статьи – 11, через 1 интервал (ключевые слова, аннотации оформляются кеглем 10, курсив). 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.).

Размер таблицы не должен превышать 17,5×12 см. Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (Табл. №. Название таблицы.).

Формулы, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну полосу, т.е. иметь размер не более, чем 5×8 см (шрифт – «Times New Roman»).

При оформлении представляемых к публикации материалов **необходимы следующие документы:**

– УДК;

– экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати;

– сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, полное название учреждения, организации, предприятия; e-mail; телефон для связи (на русском и английском языках);

– аннотации и ключевые слова (на английском и русском языках).

УДК 615.322:582.287.237

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ЧАГИ ПУТЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ СРЕДЫ

А. В. Сафина, В. В. Губернаторов, Р. Р. Гараев, Е.Ю. Разумов

В данной статье описывается способ получения водного экстракта чаги при помощи вакуумного шкафа, который осуществляют путем экстрагирования измельченной чаги водой при температуре 60-70°C. Перед заливкой экстрагента чагу вакуумируют в течении 10-15 минут, а в процессе экстрагирования каждый час производят вскипание смеси путем понижения давления среды до 0,3 атм. в течении 5-10 мин с последующей компенсацией выпарившегося количества экстрагента.

Ключевые слова: чага, меланин, экстракция, вакуумная среда.

This article describes a method of obtaining an aqueous extract of the fungus using vacuum Cabinet, which is carried out by extraction of crushed fungus with water at a temperature of 60-70°C. Before pouring the extractant chaga vacuum in 10-15 minutes, and in the extraction process each hour to produce boiling of the mixture by lowering the pressure to 0.3 ATM. within 5-10 min with the subsequent compensation выпивshaya amount of extractant.

Keywords: chaga, melanin, extraction, vacuum environment.

Введение

Трутовые грибы относятся к группе грибов отдела базидиомицеты. Трутовиками называют грибы, которые в основном произрастают на древесине и имеют пористо – трубчатое строение с плодовыми телами распростёртыми по всей площади гриба, они могут обладать мягкой или твердой консистенцией (кожистой, пробковой, деревянистой). Из данной категории грибов наиболее популярной и доступной является чага. Она произрастает на березе, поэтому наиболее распространена на территории РФ (рис. 1).

Применение чаги в медицинских препаратах в качестве профилактического и лечебного средства используется уже несколько десятилетий. В сочетании с другими медицинскими препаратами, ее применяют при лечении язвы желудка, гастрита, болезни печени, желчных протоков, заболеваний мочевой системы, сердечнососудистых и онкологических заболеваний [1]. Ее применение в производстве лекарственных препаратов с каждым годом растет, а количество изобретений и методов экстракции постепенно увеличивается.

Экстракт, получаемый из чаги, имеет ряд полезных биологических свойств, благодаря чему является актуальным в применении. Существует достаточное количество методик водной экстракции чаги, одна из которых являлась прототипом для нашего дальнейшего исследования.

Материалы и методы

В качестве материала для проведения эксперимента использовалась чага, которая собиралась в осеннее время в республике Мари Эл. Считается, что осень и весна являются наиболее благоприятными периодами для сбора чаги, так как в данное время в ней собирается наибольшее количество антиоксидантных веществ, которые в дальнейшем влияют на свойства получаемого меланина [2, 3]. Сбор чаги осуществлялся путем срезания ножом или топором.



Рис. 1 Произрастание чаги

После сбора, чагу размалывали на фракции с помощью барабанной дробилки (рис. 2) и помещали на хранение в картонную тару при комнатной температуре.

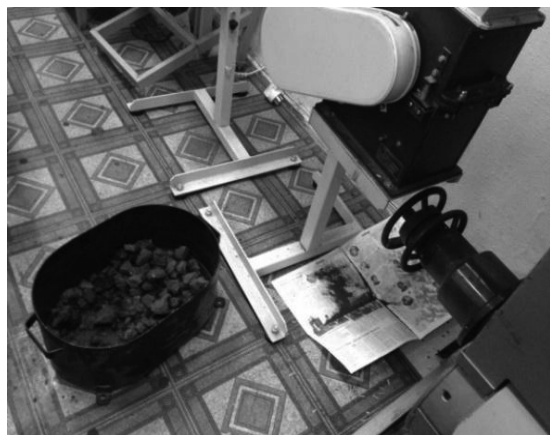


Рис. 2 Дробление чаги

Сортировку дробленой чаги на фракции осуществляли на вибросепараторе с помощью сортировочных сит (рис.3).



Рис. 3 Разделение чаги на фракции

Классический метод получения экстракта

В качестве прототипа был взят метод водной экстракции чаги, на основе которого были проведены дальнейшие эксперименты. При экстрагировании водного раствора в колбу с измельченной чагой наливают дистиллированной воды в соотношении 1:6 и ставят в камеру на 5 часов при постоянной температуре 70°C. Далее полученный экстракт отделяют от шрота, который затем заливается водой уже в соотношении 1:4 и экстрагируют еще 5 часов при той же постоянной температуре [4]. Это называют экстрактом второй ступени, который необходим для более полного выделения ценных веществ. Экстракт первой ступени фильтруют и оставляют на хранение для дальнейшего смешивания с экстрактом второй ступени и получения из них меланина.

Так как меланин является ценным биологическим ресурсом при производстве лекарственных препаратов, было принято решение модернизировать данный процесс экстракции взяв его в качестве прототипа. Недостатками данного метода являются, большое количество времени на осуществление процесса, получение экстракта в два этапа, низкая антиоксидантная активность получаемого экстракта.

Основной задачей разработки являлось сокращение времени на осуществление процесса и достижение полнейшего выхода экстракта за одну ступень, именно поэтому было принято решение использовать разреженную среду.

Получение экстракта при помощи вакуума

При экстрагировании чаги с помощью вакуума измельченную чагу подвергли предварительному вакуумированию в течении 10 мин для того, чтобы освободить поры от воздуха и паров влаги и способствовать эффективной пропитке экстрагентом. Далее добавляли дистиллированную воду в соотношении 1:10 и ставили в вакуумную нагревательную камеру (рис 4). Температура экстракции так же составляла 70 °С при продолжительности в 5 часов [5-7]. Однако в течение этого времени, каждый час происходило понижение давления до 0,3 атм., что способствовало вскипанию экстрагента в разреженной среде. Данная процедура длилась 5-7 минут в зависимости от интенсивности кипения экстракта. После чего экстракт вынимали, фильтровали и оставляли на хранение для дальнейшего получения меланина. В общей сложности данный процесс занимал не более 7 часов.



Рис. 4 Вакуумирование чаги

Таблица 1 – Получение меланина

№	Масса чаги	Ступени	V водного извлечения, мл	Выход меланина			
				Весовой метод		Оптический метод	
				г	%	г	%
1	10	1	28	0,4568	4,57	0,3599	3,60
		2	36	0,2192	2,19	0,2573	2,57
		Всего	64	0,6761	6,76	0,6173	6,17
2	10	1	36	0,4117	4,12	0,3992	3,99
		2	36	0,2171	2,17	0,2458	2,46
		Всего	72	0,6287	6,29	0,6450	6,45
3	10	1	36	0,4936	4,94	0,4099	4,10
		2	33	0,1820	1,82	0,2200	2,20
		Всего	69	0,6756	6,76	0,6300	6,30
4	10	1	39	0,4499	4,50	0,4066	4,07
		2	32	0,2098	2,10	0,2339	2,34
		Всего	71	0,6596	6,60	0,6405	6,40
Среднее значение*			69±3,56	0,660±0,02	6,60±0,22	0,6332±0,012	6,33±0,1

Таблица 2 – Получение меланина при помощи вакуума

№	Масса чаги	Ступени	V водного извлечения, мл	Выход меланина			
				Весовой метод		Оптический метод	
				г	%	г	%
1	10	1	96	1,0486	10,49	1,5397	15,40
		2					
		Всего					
2	10	1	96	0,9837	9,84	1,4165	14,17
		2					
		Всего					
3	10	1	94	1,0163	10,16	1,2319	12,32
		2					
		Всего					
4	10	1	96	1,0373	10,37	1,3835	13,84
		2					
		Всего					
Среднее значение*			95,5±1,00	1,0215±0,02	10,21±0,28	1,3929±0,12	13,93±1,2

Результаты

Применение вакуума позволило сократить процесс экстракции до одного этапа и снизить общую продолжительность с 10 до 7 часов по сравнению с классическим методом. Кроме того, наблюдается увеличение выхода меланина по сравнению со стандартным методом водной экстракции чаги в 2 раза (таблица 1,2).

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что предварительное вакуумирование сырья и периодическое кипячение в вакууме интенсифицируют процесс экстракции, что подтверждает целесообразность

дальнейших исследований в данном направлении.

Литература

1. Губернаторов В.В., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р. Применение чаги в медицине и биомедицинских технологиях // В сборнике: Молодежь и XXI век - 2017 материалы VII Международной молодежной научной конференции: в 4 томах. 2017. С. 296-298.
2. Утебаева А.А., Бурмасова М.А., Сысоева М.А. Антиоксиданты, как стимуляторы роста *bifidobacterium bifidum* // В сборнике: Биотехнологии в комплексном развитии

регионов материалы международной научно-практической конференции. 2016. С. 89.

3. Никитина С.А., Хабибрахманова В.Р., Сысоева М.А. Химический состав и биологическая активность тритерпеновых и стероидных соединений чаги // Биомедицинская химия. 2016. Т. 62. № 4. С. 369-375.

4. Сысоева М.А., Хабибрахманова В.Р., Гамаюрова В.С., Кузнецова О.Ю. Способ получения водных экстрактов чаги // патент на изобретение RUS 2343930 02.04.2007.

5. Мазуркин П.М., Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Губернаторов В.В. Факторный анализ процесса осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 7. С. 80-83.

6. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного // Вестник Казанского технологического университета. 2005. № 1. С. 266.

7. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов // монография / Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Е. Ю. Разумов; Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2009.

8. Р.Р. Сафин, Н.Ф. Кашапов, А.В. Канарский, Е.Ю. Разумов, Д.А. Ахметова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 3-4, 104-110, (2009).

9. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, П.А. Кайнов // Вестн. Казан. технол. ун-в., 23, 76-78, (2013).

10. Ю.Н. Зиятдинова, Ф.Г. Валиев, Р.Р. Хасаншин, А.Н. Николаев // Вестн. Казан. технол. ун-в., 22, 31-35, (2011).

11. Р.Р. Хасаншин, Р.Р. Сафин, Ф.Г. Валиев, Р.В. Данилова // Вестн. Казан. технол. ун-в., 7, 64-66 (2012).

12. Р.Р. Сафин, Н.Р. Галяветдинов, Р.Г. Сафин, Р.Р. Хасаншин, И.А. Валеев, Е.Ю. Разумов, П.А. Кайнов, Л.И. Аминов // Патент на изобретение RUS 2464 162 14.02.2011.

13. Р.Р. Хасаншин, Ф.Г. Валиев // Деревообрабатывающая промышленность, 4, 27-30 (2012).

14. Н.Р. Галяветдинов, В.А. Лашков, А.Н. Николаев // Вестн. Казан. технол. ун-в., 20, 112-115 (2011)

15. Н.Р. Галяветдинов // Деревообрабатывающая промышленность, 1, 025-027 (2012).

16. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Е.А. Белякова // Дизайн. Материалы. Технология, 3, 95-98 (2010).

17. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Р.Р. Гильмиев, Ф.Г. Валиев // Деревообрабатывающая промышленность, 5, 22-23, (2008).

18. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Н.Р. Галяветдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики 11-12, 159-163, (2008).

19. Е.Ю. Разумов, Ф.Г. Валиев, Р.Р. Хасаншин // Вестн. Казан. технол. ун-в., 9, 463-468, (2010).

19. Safin, R.R., Voronin, A.E., Shaikhutdinova, A.S., Nazipova, F.V., Kaynov, P.A. Method of rational use of waste of timber industries Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Albena. Bulgaria. 2015. P. 53-58.

20. Safin, R.R., Shayakhmetova, A.H., Nazipova, F.V., Timerbaeva, A.L., Safina, A.V. Alternative types of solid biofuels and their comparative characteristics. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Albena. Bulgaria. 2015. P. 53-58.

21. Safin, R.G., Lashkov, V.A., Golubev, L.G., Safin, R.R. Mathematical model of vacuum-oscillating drying of lumber, Journal of Engineering Physics and Thermophysics (Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal), 2002. Vol. 75, N 2, pp. 384-389.

22. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Н.Р. Галяветдинов, Ф.Г. Валиев // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология, 12, 104-106, (2008).

23. Р.Р. Сафин, И.А. Валеев, Р.Г. Сафин // Вестн. Москов. гос. ун-в. леса 2, 168-173, (2005).

24. Р.Р. Сафин, Е.А. Белякова // Вестн. Казан. технол. ун-в., 12, 241-245, (2011).

Химическая технология древесины

УДК 674.04

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

А.Л. Тимербаева, Р.Р. Сафин, Р.Т. Хасаншина, Р.Р. Зиятдинов

В работе представлен анализ литературных данных зарубежных и отечественных исследователей по влиянию термической обработки древесного наполнителя на свойства таких композиционных материалов как ДПК, OSB, МДФ, арболит, фанера. В связи с чем были проведены исследования по определению эксплуатационных характеристик древесно-стружечных плит из термомодифицированной измельченной древесины. Установлено, что предварительная термическая обработка древесного стружки некотором снижении механических характеристик ДСтП позволяет существенно повысить их влаго- и биостойкость.

Ключевые слова: термомодифицирование, стружка, древесно-стружечная плита.

The paper presents an analysis of the literature data of foreign and domestic researchers on the effect of thermal treatment of wood filler on the properties of such composite materials as WPC, OSB, MDF, arbolite, plywood. In this connection, studies were carried out to determine the operational characteristics of wood chipboards from thermally modified ground wood. It is established that the preliminary thermal treatment of wood chips with a certain decrease in the mechanical characteristics of the DSTP makes it possible to significantly increase their moisture and biostability.

Key words: thermomodification, chips, chipboard.

Введение

В последние годы наблюдается повышенный интерес исследователей к процессам термической обработки древесного наполнителя при производстве композиционных материалов. Причем спектр композиционных материалов в данных работах достаточно широк: начиная с композитов на минеральных вяжущих и заканчивая материалами с полимерными матрицами.

Westin M. и др. [1] проанализировали влияние предварительной термической обработки древесного наполнителя в производстве древесно-полимерных композитов на биологическую стойкость. Авторами установлено, что образцы после заражения тремя типами грибов и их выдержки в течение 10 недель в земле и морской среде показали повышение устойчивости композитов на основе термомодифицированного наполнителя к гниению в обеих средах. Более того, ДПК из предварительно термически обработанной древесины закопанные в землю сохраняли сопротивляемость к действию земных микроорганизмов и после 47 недель. Подобные исследования были проведены и научной группой под руководством Hosseinaei O. [2].

Они также наблюдали увеличение устойчивости к распаду ДПК на основе термомодифицированной древесины.

Влияние предварительной термической обработки древесного сырья на свойства ориентированно-стружечной плиты (OSB) были изучены Paredes J. [3]. Автор установил, что предварительная обработка также как и в случае с ДСП улучшает стабильность размеров OSB. Однако, если механические свойства OSB, изготовленных из хвойных пород, увеличиваются, то при использовании лиственных пород - они уменьшаются.

Ayrlimis N. и др. [4] исследовали влияние предварительной термической обработки древесного сырья на свойства МДФ. Результаты исследований свидетельствуют о снижении толщины разбухания композита и некотором снижении механических свойств в пределах, отвечающих требованиям стандарта для МДФ. В работе Garcia R. и др. [5] подтверждается отсутствие статистически значимых различий в механических свойствах между стандартными МДФ панелями и панелями, выполненными из древесины, подвергшейся термической обработке.

Из последних отечественных исследований в области влияния термомодифицирования древесины на свойства древесно-наполненных композиционных материалов можно выделить цикл работ, проведенных в Казанском национальном исследовательском технологическом университете [6 - 9].

Исследование влияния термомодифицирования древесного наполнителя в производстве ДПК на основе полиэтилена низкого давления проведено в работе Салимгараевой Р.В. [6]. Автором выявлено снижение механических характеристик композита с повышением температуры обработки, причем наиболее существенным является снижение предела прочности при растяжении материала, которое для температуры обработки 240 °С достигает 20 % по сравнению с ДПК с необработанным наполнителем. Снижение пределов прочности на сжатие и статический изгиб носит существенно меньший характер. Кроме того, автором установлено снижение разбухания ДПК при выдержке в воде пропорционально росту температуры обработки древесного наполнителя. Микроструктурный анализ композитов показал существенное уменьшение количества и размера микропор с повышением температуры обработки, что объясняется снижением газовыделения из древесины при смешении древесного наполнителя с горячим полимером. Таким образом, автор делает предположение, что уменьшение порозности композита обуславливает повышение таких его эксплуатационных показателей как сохранение внешнего вида и увеличение морозостойкости.

В работе Файзуллина И.З. [7] установлено влияние предварительного термического модифицирования древесного наполнителя на свойства ДПК на основе полипропилена. В следствие снижения полярности древесной муки в процессе термомодификации повышается её совместимость с полимерной матрицей, что соответственно способствует физико-механических свойств и снижению водопоглощения композита. В частности, автором получены результаты характеризующие повышение прочностных показателей на 38% и уменьшение степени водопоглощения на 32% композита с наполнителем из хвойной породы древесины, прошедшим термомодифицирование при температуре 225 °С, по сравнению с композицией на основе необработанного наполнителя. Испытания террасной доски,

полученной из композиции с термомодифицированной древесной мукой, показали снижение водопоглощения в 3 раза, повышение модуля упругости и несущей способности соответственно на 20% и 10%, и снижение коэффициента линейного теплового расширения на 20% по сравнению с нормативными показателями на террасную доску.

Анализ изменения свойств и характеристик фанеры, созданной на основе термически модифицированного шпона, представлен в работе Зиатдинова Р.Р. [8]. На основе проведенных экспериментальных исследований было выявлено снижение давления набухания и водопоглощающей способности шпона соответственно увеличению степени обработки материала. Автором были проведены исследования проницаемости термомодифицированных листов шпона жидкостями, которые показали постепенное снижение проницаемости при увеличении степени термообработки с последующим ростом проницаемости при высоких степенях термомодифицирования. Подобное явление автор объясняет совместным действием процессов сужения пор в результате термической усушки и их закупоривания продуктами разложения древесины при невысоких степенях термомодифицирования и «прокалкой» пор шпона от продуктов разложения при более глубокой термообработке. Кроме того, подобную тенденцию показали исследования предела прочности при статическом изгибе: наблюдался некоторый рост прочности до увеличения степени термомодифицирования шпона до 0,4, далее прочность начинала снижаться, и при степени термомодифицирования шпона 0,6 она становилась сопоставимой с обычной фанерой. Дальнейшее повышение степени термообработки приводило к значительному снижению прочностных характеристик материала.

В работе Аминова Л.И. [9] предложена технология создания арболита с повышенной морозостойкостью, при которой древесный наполнитель проходит предварительное термическое модифицирование. В результате исследования полученных подобным образом образцов установлено, что термическое воздействие на наполнитель снижает водоцементное соотношение, что может быть объяснено существенным снижением

водопоглощения термомодифицированными древесными частицами по сравнению с необработанными. Результаты исследований по определению адгезионной прочности минеральных вяжущих к поверхностям древесины различной породы до и после термической обработки указывают на то, что термообработка в лучшем случае не сказывается на адгезии, а зачастую уменьшает ее, что может объясняться ухудшением смачиваемости термодревесины.

Результаты представленных исследований свидетельствуют о повышенном интересе к вопросам термической обработки измельченной древесины применительно к процессам производства древесно-наполненных композитов, вследствие возможности увеличения эксплуатационных характеристик данных материалов и, как следствие, расширения области их возможного применения. В этой связи нами были проведены исследования по определению влияния

предварительного термомодифицирования древесного наполнителя при производстве древесно-стружечных плит.

Методы и материалы

Для создания образцов ДСтП использовался клей марки КФМТ-15-66 горячего отверждения. Смешивание древесного наполнителя со связующим проводилось на лабораторном смесителе. После приготовления смеси осуществлялось формование изделия в металлических пресс-формах с размерами полости 400x400x16 с последующим прессованием в однопролетном прессе Д2430Б с электрообогреваемыми плитами. Температура прессования находилась в пределах 100-120 °С. Далее проводились кондиционирование и форматная обрезка образцов. На рис. 1 представлены образцы древесностружечных плит, изготовленных из термомодифицированного и необработанного древесного наполнителя.

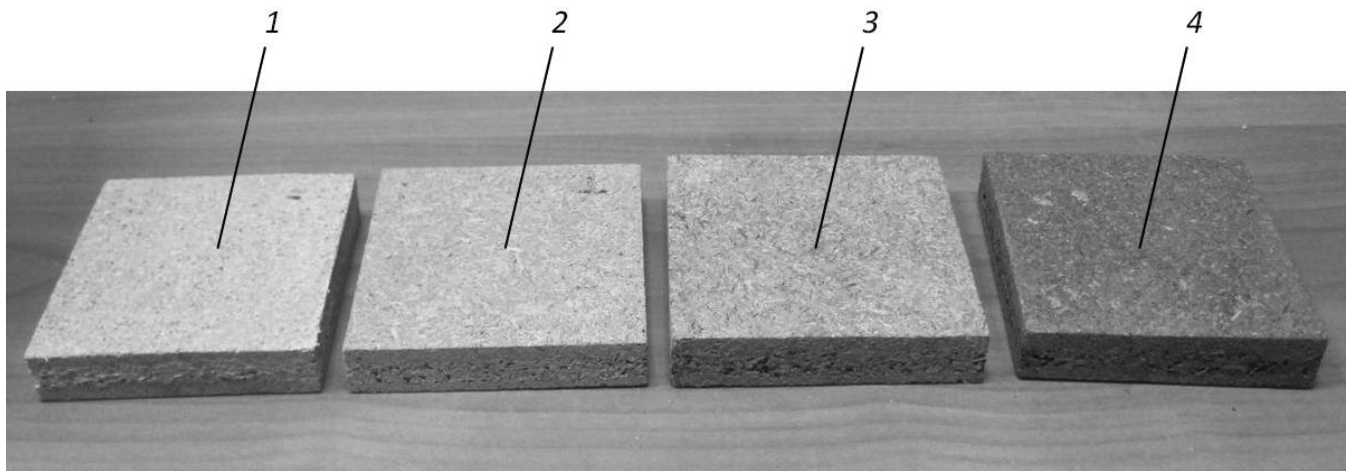


Рис. 1. Образцы древесностружечных плит, изготовленные из термомодифицированного древесного сырья:
1 – необработанный; 2 – $T_{обр} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$;
3 – $T_{обр} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $T_{обр} = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$

С целью определения влияния процесса термомодифицирования древесного наполнителя на эксплуатационные свойства древесностружечных плит были проведены исследования полученных образцов на прочность и водопоглощение. Исследование влагопоглощения образцов ДСтП проводили в эксикаторе путем выдержки во влажных

условиях. Исследование прочностных параметров ДСтП из термомодифицированной измельченной древесины заключалось в определении предела прочности образцов на статический изгиб, сжатие и выдергивание шурупа до и после вымачивания материала в воде в течении 2 часов (рис. 2).

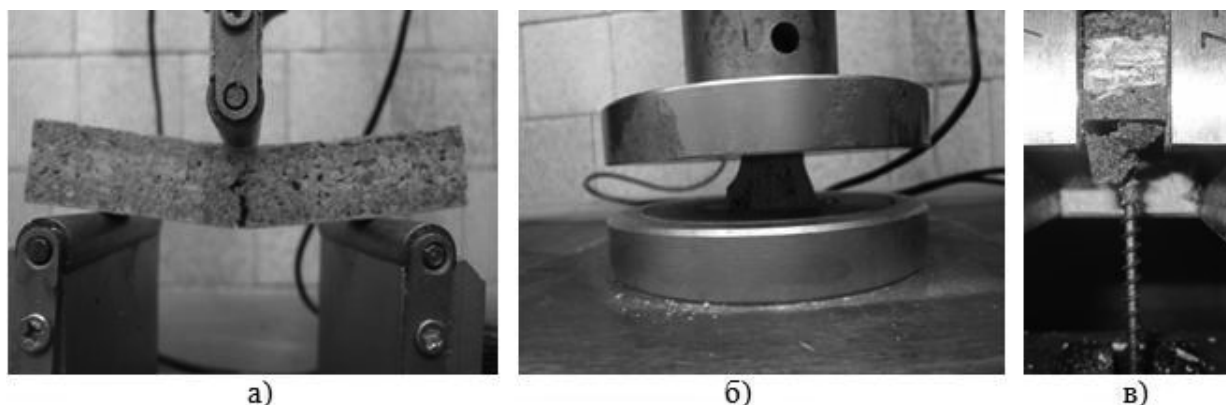


Рис. 2. Исследование прочностных параметров ДСтП из термомодифицированной древесины

Результаты

Результаты проведенных исследований по определению влагопоглощения образцов ДСтП из термически модифицированного древесного наполнителя представлены на рис. 3. Из графиков видно, что с ростом температуры обработки значительно снижается

гигроскопичность образцов древесных плит, что согласуется с аналогичными исследованиями других композиционных материалов, наполненных термически модифицированным древесным наполнителем, представленными в обзоре литературы.

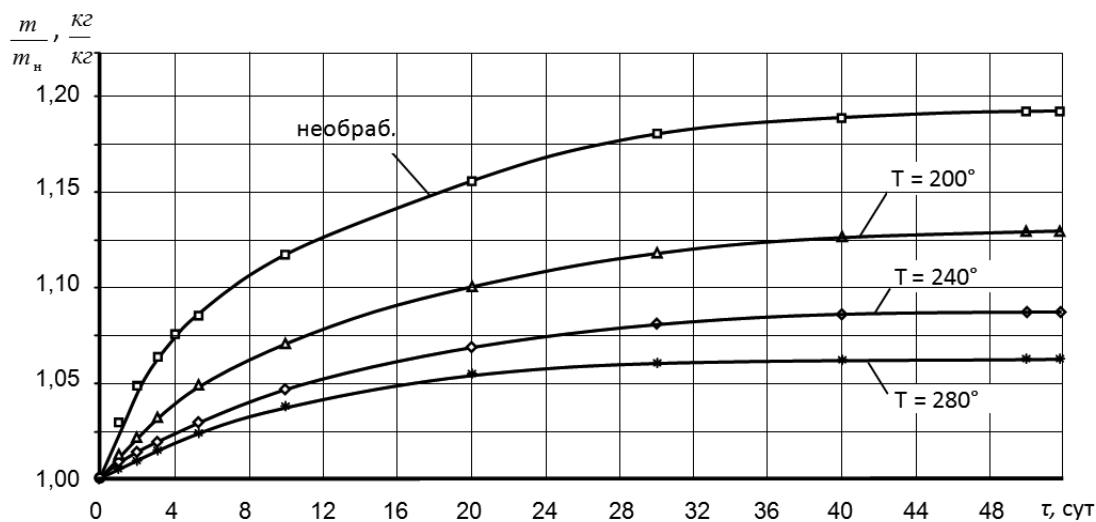


Рис. 3. Кинетика относительной массы образцов ДСтП при выдержке во влажной среде

Результаты, полученные в ходе исследований предела прочности образцов ДСтП на статический изгиб, сжатие и выдергивание шурупа до и после вымачивания материала в воде, представлены на рис. 4. Как видно из гистограмм, механические свойства ДСтП в сухом состоянии при повышении температуры обработки древесного сырья значительно

уменьшаются. Однако, снижение водопоглощения в процессе кипячения образцов приводит к тенденции лучшего сохранения имеющейся прочности и, тем самым, с ростом температуры обработки наблюдается увеличение механических свойств ДСтП, подвергнутых вымачиванию.

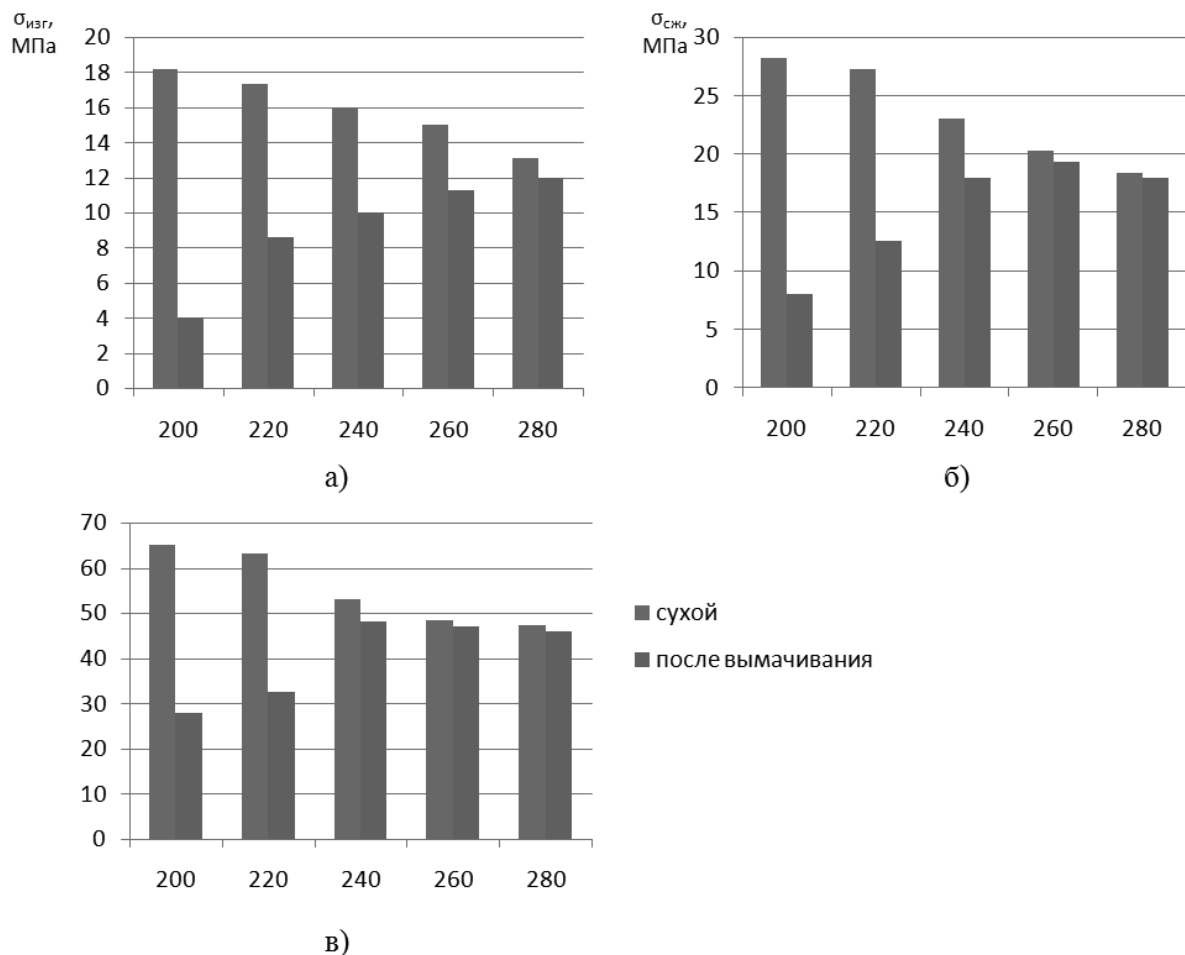
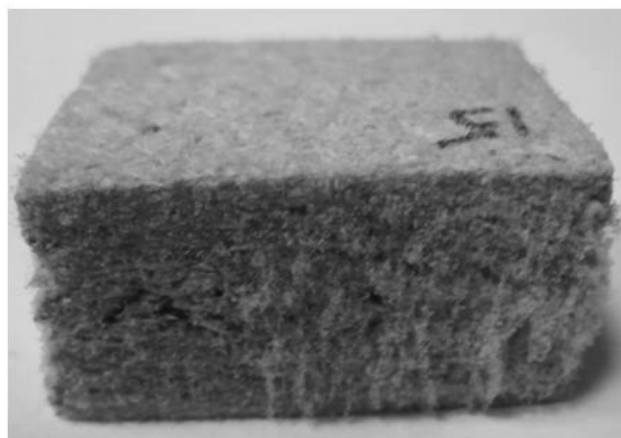


Рис. 4. Механические свойства ДСтП из термодревесины:
а – предел прочности на изгиб,
б – предел прочности на сжатие,
в – предел прочности при выдергивании шурупа

Кроме того, в результате исследований было установлено повышение биостойкости ДСтП из термомодифицированного древесного сырья. На рис. 5 представлены образцы древесных плит, выдержанные в течении 60 суток во влажных условиях при непосредственном контакте с питательной средой, зараженной плесневелыми грибами. Как видно из фотографий образцы из необработанного сырья покрылись плесенью, в то время как термически модифицированное сырье позволило избежать заражения

плесневелыми грибами за этот период контакта. Кроме того, была проведена оценка эффективности термообработки сырья путем сравнения потери массы данных образцов плит после выдержки. Установлено, что в результате воздействия плесневелых грибов потеря массы для образцов ДСтП из необработанной древесины составила порядка 8%, в то время как для плит с предварительной термической обработкой древесного сырья потери массы за исследуемый период не наблюдалось.



а)



б)

Рис. 5. Образцы ДСтП, выдержанные в грунте в течение 60 суток:
а – из не обработанного древесного наполнителя; б – из древесного наполнителя
со степенью термической обработки 0,6

Заключение

Исследуемый метод термической обработки измельченной древесины в производстве древесно-стружечных плит при некотором снижении механических характеристик ДСтП позволяет повысить их влаго- и биостойкость.

Данная работа выполнялась при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД – 5596.2016.8).

Список литературы

1. Westin M, Larsson-Brelid P, Segerholm BK, van den Oever M (2008) Wood plastic composites from modified wood, part 3. Durability in laboratory decay tests. Document No. IRG/WP 08-40423. In: The international research group on wood protection, section 4 processes and properties, 39th annual meeting, Istanbul, Turkey, 25-29 May.
2. Hosseinaei O, Wang S, Taylor AM, Kim J-W (2012) Effect of hemicellulose extraction on water absorption and mold susceptibility of wood-plastic composites. *Int Biodeter Biodegr* 71: 29-35.
3. Paredes JJ (2009) The influence of hot water extraction on physical and mechanical properties of OSB. PhD Dissertation, The University of Maine.
4. Ayrimis N, Jarusombuti S, Fuengvivat V, Bauchongkol P. Effect of thermal treatment of rubber wood fibres on physical and mechanical properties of medium density fibreboard. *J Trop Forest Sci* 2011;23:10e6
5. Garcia RA, Cloutier A, Riedl B. Dimensional stability of MDF panels produced from heat-treated fibres. *Holzforschung* 2006;60:278e84.

6. Салимгараева Р.В. Технология термического модифицирования древесного наполнителя в производстве композиционных материалов: Дис. канд. техн. наук. – Казань, 2013. – 188 с.

7. Файзуллин И.З. Древесно-полимерные композиционные материалы на основе полипропилена и модифицированного древесного наполнителя: : Дис. канд. техн. наук. – Казань, 2015. – 122 с.

8. Зиатдинов Р.Р. Технология производства влагостойкой фанеры из термомодифицированного шпона: Дис. канд. техн. наук. – Казань, 2013. – 170 с.

9. Аминов Л.И. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и минеральных вяжущих: Дис. канд. техн. наук. – Казань, 2011. – 169 с.

10. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.

11. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.

12. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.

13. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-106.

14. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.

15. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.

16. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Д.А. Дизайн и производство мебели. 2008. № 2. С. 36-39.

17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Данилова Р.В., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А., Белякова Е.А. патент на изобретение RU 2453425 18.01.2011

18. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.

19. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю. монография / Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Е. Ю.

Разумов; Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2009.

20. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.

21. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.

22. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-106.

23. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.

© **А.Л. Тимербаева** – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», **Р.Р. Сафин** – д.т.н., профессор, зав. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», sfaby@mail.ru, **Р.Т. Хасаншина** – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», **Р.Р. Зиятдинов** – к.т.н., доцент кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

УДК 674.04

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Л.В. Лямина, Р.Р. Сафин, А.Ф. Гараева

В данной статье рассмотрены объекты исследований и их основные свойства, описываются результаты исследования композита на основе отходов древесного наполнителя и связующего полимера, способного к саморазложению – поливинилового спирта. Композиты, в состав которых входит ПВС и древесный опил в естественных условиях поддаются относительно быстрому биоразложению, в силу того что гигроскопичный древесный наполнитель обладает высокими сорбционными способностями.

Ключевые слова: древеснополимерные композиты, ПВС, биоразложение композитов, древесный наполнитель.

In this article, research objects and their basic properties are examined, the results of the study of a composite based on woodfill waste and a binder polymer capable of self-decomposition of polyvinyl alcohol are described. Composites containing PVS and wood sawdust under natural conditions give in to relatively rapid biodegradation, because hygroscopic wood filler possesses high sorption abilities.

Key words: wood polymer composites, PVA, biodegradation of composites, wood filler.

Введение

Ассортимент предлагаемого товара на рынке строительных материалов очень обширный, и для конкурентоспособности необходимо создание изделий с высокими качественно-эксплуатационными показателями, которые должны быть привлекательны и в ценовом диапазоне.

Известно, что объем производства полимерных материалов в последние годы непрерывно и быстро возрастает. При этом, возникают вопросы как повышения надежности, качества, долговечности, получаемых из них изделий, так и вопросы утилизации после истечения срока эксплуатации. Ни захоронение пластмассовых отходов, ни сжигание, ни пиролиз не могут улучшить экологическую обстановку. В определенной степени решает этот вопрос повторная переработка, но и здесь требуются значительные трудовые и энергетические затраты: отбор из бытового мусора полимерной пластиковой тары и упаковки, разделение по виду пластика, мойка, сушка, измельчение и только затем переработка в конечное изделие. Следует отметить, что сбор и переработка вторичного сырья приводит к удорожанию упаковки, а качество рециклизованного полимера также оказывается ниже продукта, полученного непосредственно из первичного сырья. К тому же не каждый потребитель согласен использовать упаковку либо даже строительный материал из переработанных отходов.

Рост экологических проблем привел к осознанию того, что необходимо найти альтернативный синтетическим композитам материал. Такими, широко применяемыми

материалами в настоящее время, стали природные композиты, которые являются экологически и биологически чистыми, т.е. способны к разложению в естественной природной среде. В данной статье описываются результаты исследования композита на основе отходов древесного наполнителя и связующего полимера, способного к саморазложению – поливинилового спирта. Композиты, в состав которых входит ПВС и древесный опил в естественных условиях поддаются относительно быстрому биоразложению, в силу того что гигроскопичный древесный наполнитель обладает высокими сорбционными способностями.

Объекты исследований и их основные свойства

Для нахождения оптимального состава наполнителя и связующего были выполнены четыре группы испытательных образцов, по три композита на каждый состав.

1) Образцы с древесным наполнителем, не подверженным предварительно термической обработке и ПВС;

2) Образцы с термомодифицированным древесным наполнителем и ПВС;

3) Образцы с древесным наполнителем, не подверженным предварительно термической обработке и модифицированным связующим гидроксилсодержащим полимером повышающим огнестойкость;

4) Образцы с древесным наполнителем, не подверженным предварительно термической обработке и модифицированным связующим *N*-винилпирролидоном.

В качестве полимерной матрицы использовался полимер винилового спирта. В промышленных условиях поливиниловый спирт (ПВС) получают гидролизом поливинилацетата. Макромолекулы ПВС могут не иметь остаточных винилацетатных звеньев, или содержать их в количестве от 1 до 30 % мол. ПВС разводили в воде при температуре 110 °С до получения гомогенного раствора.

Исследование биохимических свойств ДПК

В соответствии с задачами исследований необходимо было о способности полученных древеснонаполненных композитов к биоразложению.

Для этого было изучено поведение полученных композитов из термомодифицированной древесины и неподверженной обработке древесины в различных агрессивных средах, позволяющее судить о способности материала к разлагаемости под действием факторов внешней среды. В работе был использован косвенный метод – метод определения стойкости к действию химических сред в соответствии с ГОСТ 12020-72. В качестве модельных сред были выбраны: вода, биогумус и раствор NaCl. При рассмотрении зависимости изменения массы от времени при помещении композитов с двумя видами древесного наполнителя в модельные среды следует, что на всех кривых наблюдается максимальный рост массы, связанный с

набуханием поверхностных слоев, после чего происходит резкое ее уменьшение.

Это связано с вымыванием низкомолекулярных фракций из поверхностных слоев в течение первых 25 суток и затем в течение 15 суток процесс стабилизируется для воды и раствора NaCl. В воде с биогумусом

происходит более активное проникновение раствора в межмолекулярное пространство композиции и последовательно идут процессы вымывания и набухания.

Иначе ведут себя композиты, наполненные термомодифицированным наполнителем.

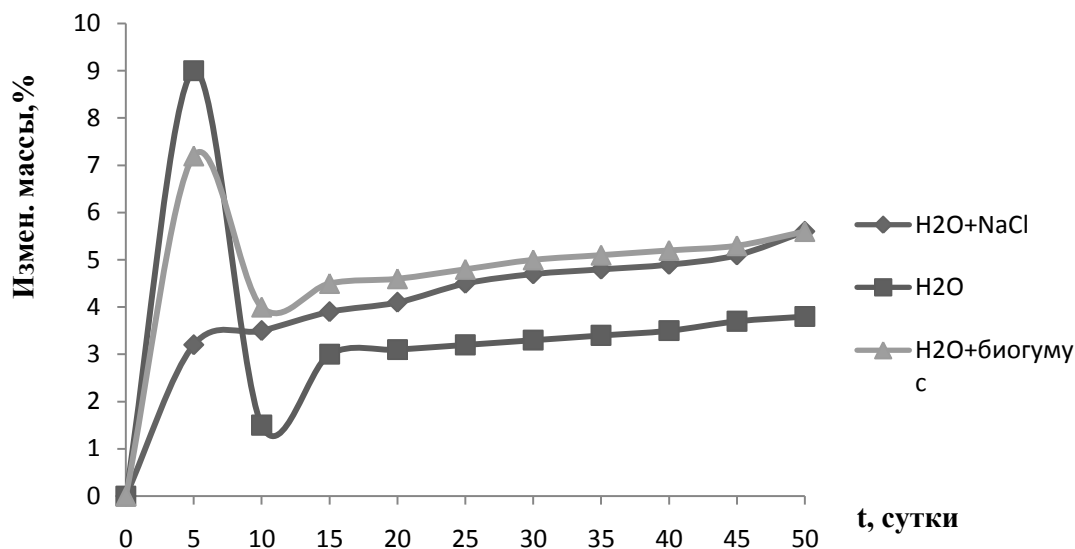


Рис. 1 Изменение массы композитов на основе термически необработанного древесного наполнителя

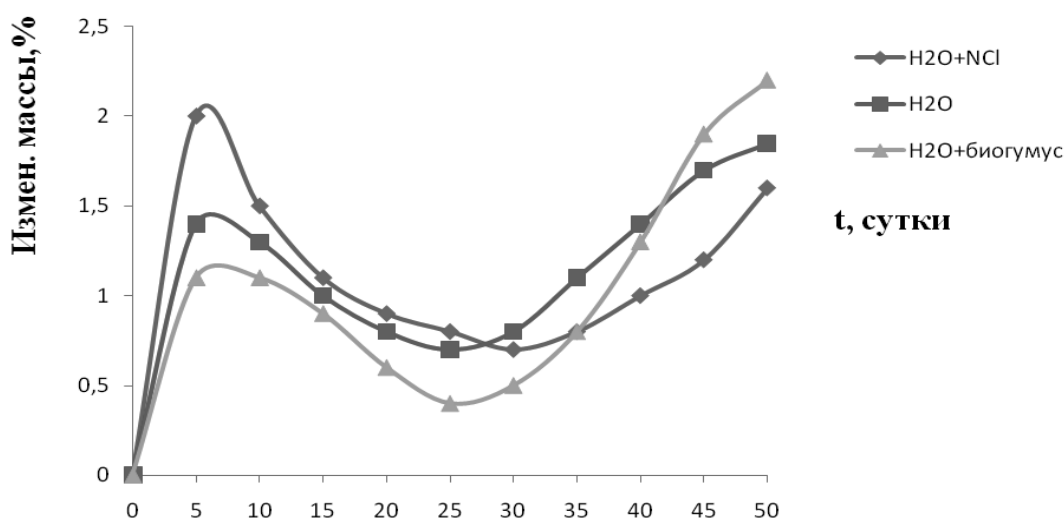


Рис. 2 Изменение массы композитов на основе древесного наполнителя подверженного термомодифицированной обработке

Из представленных на рис. 1 зависимостей следует, что за первые 25 дней происходит резкое вымывание поверхностных слоев, а затем идет набухание, т.е. проникновение растворителя в межмолекулярное пространство.

Причем, набухание композиции с необработанным древесным наполнителем составляет 15-25 % и термомодифицированным 8-12 %.

На основании графика можно сделать вывод, что меньшим водопоглощением

обладают композиты с модифицированным полимерным связующим, что превосходит композиты с термомодифицированным древесным наполнителем. На основании анализа водопоглощения данного вида древесных композитов можно сделать вывод об их наибольшей устойчивости к биоразложению. В связи с этим был проведен ряд экспериментов над опытными образцами на биоразложение в среде грунта.

Образцы трех видов подвергались исследованию на биоразложение в среднекислой почве с $\text{pH}=4$. Подготовка почвы для тестирования образцов заключалась в предварительной сушке, измельчении и смешении с мочевиной с целью стимуляции активной микробной флоры. Тестирование образцов осуществляли погружением на глубину 200 мм во влажную почву на 60 дней. Тестовую среду ежедневно увлажняли для компенсации испаренной влаги и боронили для аэрации. После выдержки в почве испытуемые образцы извлекали, промывали водой, и сушили в вакууме до постоянного веса. Относительную потерю массы композита определяли по следующей формуле:

$$\xi = \frac{m_0 - m_g}{m_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_0 – начальная масса сухой композитной пластины и m_g – масса композитной пластины после выдержки в почве.

На основании рис. 2 наблюдается значительная потеря веса композитов на основе термически необработанной древесины, меньшей потерей веса обладали композиты с термомодифицированным древесным наполнителем, самая незначительная потеря веса наблюдалась у композитов с модифицированным связующим. У последних биоразложение наблюдалось за счет расщепления древесных частиц. В первые сутки индекс биоразлагаемости уменьшается до 65% и монотонно понижается в течение 21 суток до 10% по сравнению с чистым ПЭ.

Обработка и анализ результатов диффузионных исследований (таблица 1), полученные после экспонирования образцов в течение 60-ти дней в кислой среде показал, что образцы с немодифицированным наполнителем, имеют признаки биоповреждения уже на начальном этапе исследований – в первые 7 дней.

Таблица 1 – Оценка биоповреждения модифицированных композитов

Состав	Оценка, балл			
	7	14	30	60
20:10:70 вода: ПВС: древесные частицы	1	2	2	4
20:10:70 вода: ПВС: термомодифицированные древесные частицы	1	2	3	3
20:10:70 вода: модифицированный ПВС: древесные частицы	1	1	2	2

где 4 балла – высокий рост колоний микроорганизмов (от 60% до 80%), 3 балла – средний рост колоний микроорганизмов (от 30% до 60% площади образца), 2 балла – незначительный рост (от 10% до 30% площади образца), 1 балл – следы микроорганизмов (поражено менее 10 % площади образца).

Следует особо отметить, что показатель биодеструкции изменяется на протяжении всего периода исследований. Биоповреждение композита с немодифицированным древесным наполнителем составляет от 10-80%, композиты с древесным наполнителем и

модифицированным связующим после 60 дней составляет в пределах 10-30%. В результате проведенных исследований установлено, что древесный наполнитель увеличивает способность к биологическому разложению. При этом предварительная термическая обработка древесного наполнителя снижает водопоглощение и способность к биодegradации, а предварительная обработка связующего модификатором N-винилпирролидоном снижает биоразложение к минимальному значению, что может позволить регулировать продолжительность жизненного

цикла изделия в зависимости от требуемых условий эксплуатации. Таким образом, управляя типом и количеством добавок в композиционном материале, можно получить композитные панели с заранее заданными свойствами.

Далее в состав композитов на основе древесного наполнителя также было добавлено связующее борат метилфосфита. В результате исследовались свойства композитов в состав которых входит, модифицированный ПВХ с использованием гидроксилсодержащих полимеров повышающих огнестойкость, для огнезащитной модификации материалов на их основе.

Состав огнестойкого композита указан в таблице 2.

Таблица 2 – Состав огнестойкого композита
указан в таблице

Компоненты	Мас. част. в композите
Поливиниловый спирт	1,0
Вода	99,0
Борат метилфосфита	0,5
Пластификатор глицерин	2

С добавлением в состав бората метилфосфата атомов фосфора и бора, являющихся ингибиторами процессов горения и окисления, образцам тем самым придавалась огнестойкость. Кроме того, значительное содержание фосфора и бора в структуре вещества способствует достижению максимального результата, не прибегая к использованию больших концентраций.

Исследование физико-механических свойств ДПК

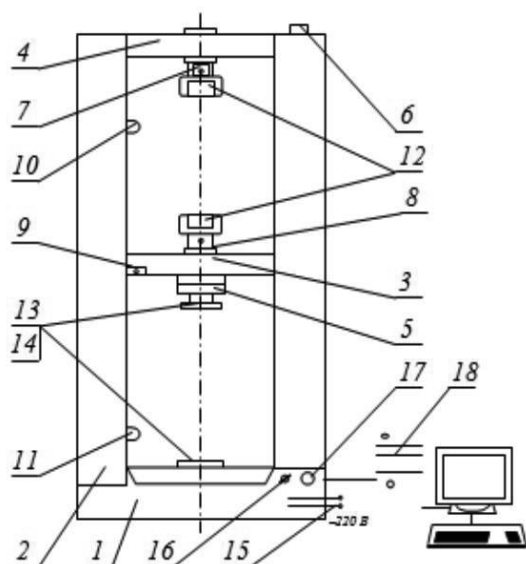
Изучение механических свойств изделия проводили по ГОСТ 14359-69, в котором описываются общие требования, методы, применяемые стандарты для механических испытаний, а также проверки для испытательной машины, которая обеспечивает

погрешность измерений не более 1 %. Исследования напольной плиты на прочностные характеристики осуществлялись на многофункциональной разрывной машине ИР5082-50, представленной на рисунке 3.

Исследование предела прочности при сжатии заключается в следующем: предварительно устанавливаем испытуемый образец на нижнюю неподвижную станину машины. Управление процесса осуществляется через персональный компьютер, который происходит в автоматическом режиме и отражается на мониторе в виде графика зависимостей. Под действием нагрузки образец, находящийся в зажимах, начинает деформироваться. Испытание продолжается до полного его разрушения. Далее фиксируются результаты испытаний, представленных в виде графиков, отражающих зависимость силы давления прикладываемой на опытный образец, вызвавший его полное разрушение. Испытание по определению предела прочности при сжатии изделия на многофункциональной разрывной машине ИР5082-50 показано на рис. 4 (а).

При определении прочности на изгиб опытных образцов использовалась специальная насадка для работы на многофункциональной разрывной машине, которая состоит из двух параллельных опор, края которых имеют закругленную форму (расстояние между ними регулируется в соответствии с методикой исследований) и нагрузочного клина с закругленной поверхностью, расположенного по центру опор, находящихся относительно них параллельно и с возможностью вертикального перемещения. Нагрузка, прилагаемая на испытуемый образец, увеличивается равномерно при постоянной скорости. На рис. 4 (б) представлен внешний вид используемой насадки во время проведения эксперимента.

Для изучения качества адгезии проводились испытания на прочность при растяжении опытных образцов. Опытные образцы вплотную устанавливаем в захваты многофункциональной разрывной машины. Испытания проводятся при равномерном нагружении с постоянной скоростью до полного разрушения образца.



а)



б)

Рис. 3 Схема (а) и внешний вид (б) многофункциональной разрывной машины ИР 5082-50: 1 – станина; 2 – рама; 3 – подвижная траверса; 4 – неподвижная траверса; 5 – датчик силоизмерительный; 6 – датчик перемещения; 7 – штанга; 8 – штанга крепления активного захвата; 9 – ограничитель хода траверсы; 10 – верхний упор хода траверсы; 11 – нижний упор траверсы; 12 – универсальные захваты; 13 – приспособление «на сжатие»; 14 – приспособление «на изгиб»; 15 – переменное электрическое питание от сети (220 В); 16 – выключатель; 17 – автоматическое выключение – кнопка «СТОП»; 18 – персональный компьютер (ПК)

По времени сам процесс занимает 60-90 с. Управление процессом осуществляется при помощи персонального компьютера, прикладная программа которого приводит в движение испытательную машину, обрабатывает полученную информацию и строит графики зависимости. Процесс изучения предела прочности на растяжение представлен на рисунке 4 (в). На рисунке 5 представлена рекомендуемая схема эксперимента. Исследования на прочность при растяжении проводились согласно ГОСТ 11262-80.

Сущность метода заключается в кратковременном испытании образца с постоянной скоростью деформирования. Испытуемый материал должен иметь форму прямоугольного сечения с закрепленными накладками на концах, длину не менее 250 мм, ширину $25 (\pm 0,5)$ мм и толщину не менее 5 мм.

Отклонения геометрических размеров рабочей зоны не должны превышать более 0,05 мм.

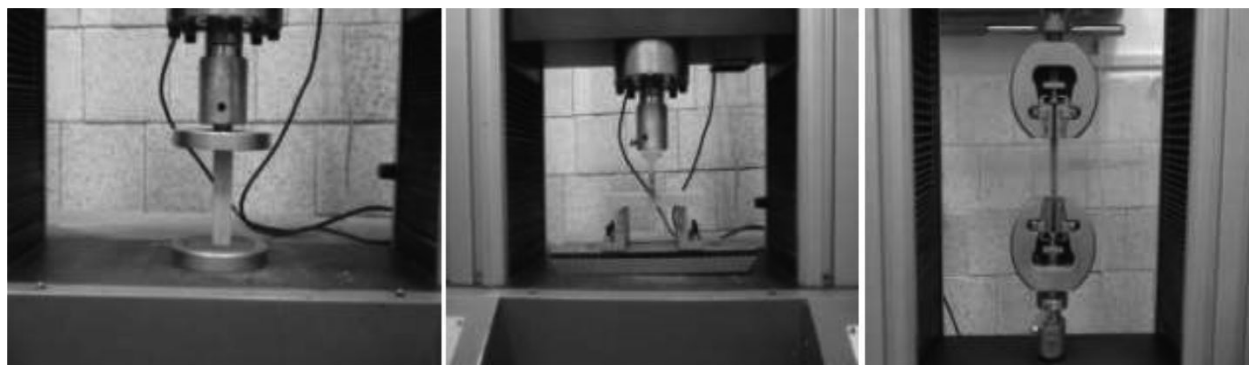


Рис. 4 Специальные насадки для исследования механических свойств:
а) предела прочности на сжатие; б) предела прочности на изгиб; в) предела прочности на растяжение

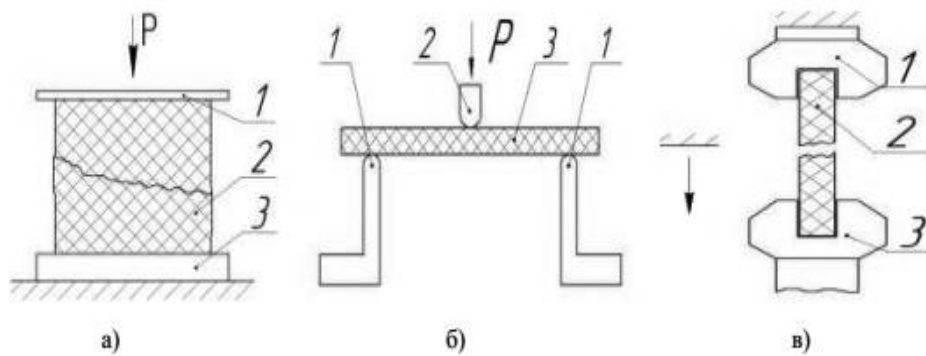


Рис. 5. Схема механических испытаний предела прочности:
а) на разрыв; б) на изгиб: 1 – опоры; 2 – нагрузочный клин; 3 – образец;
в) на растяжение: 1 – неподвижный захват, 2 – образец, 3 – разрывающий захват

Испытание ведется до полного разрушения исследуемого объекта.

Рекомендуемая скорость испытания 5-10 мм/мин. Схема эксперимента приведена на рисунке 4 (в). Предел прочности при растяжении определяется формулой 2.

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (2)$$

где F – разрушающая нагрузка; A – первоначальная площадь поперечного сечения образца.

Изменение рецептурного состава влечет изменения в характере кривых растяжения, представленных на рисунках 6-7. Как видно из графиков 6-7, при повышении содержания

древесного наполнителя в композитах, а также от величины частиц древесного наполнителя разрушающее напряжение и относительное удлинение изменяются. Так для чистого ПВС разрушающее напряжение при растяжении составляет 30-50 МПа, а относительное удлинение – 100-110%. По мере повышения содержания древесного наполнителя эти величины уменьшаются до 14-23 МПа и 70% соответственно, причем угол наклона кривых уменьшается, что говорит об уменьшении модуля упругости, и соответственно жесткости образцов. Так же на основании графиков можно сделать вывод, что чем больше величина древесных частиц, тем выше предел прочности на разрыв.

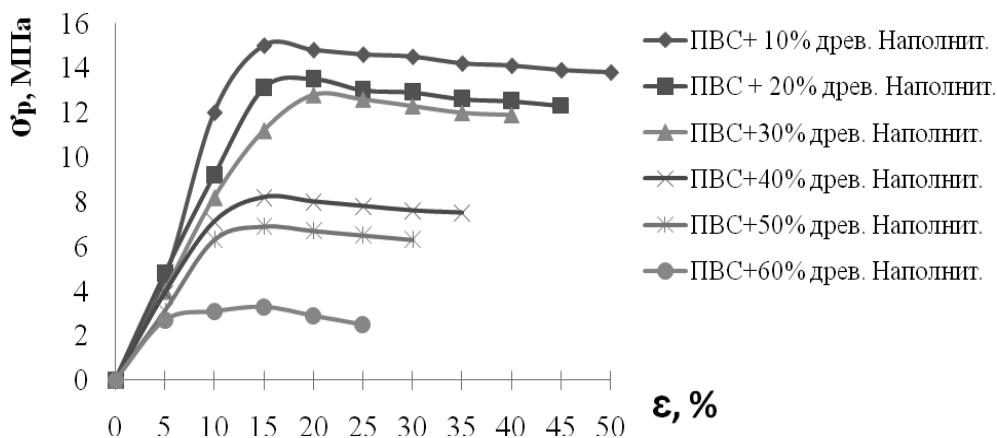


Рис. 6 Кривые растяжения полимерных композитов с различным соотношением состава ПВС и древесного наполнителя с размером частиц от 2-5 мм

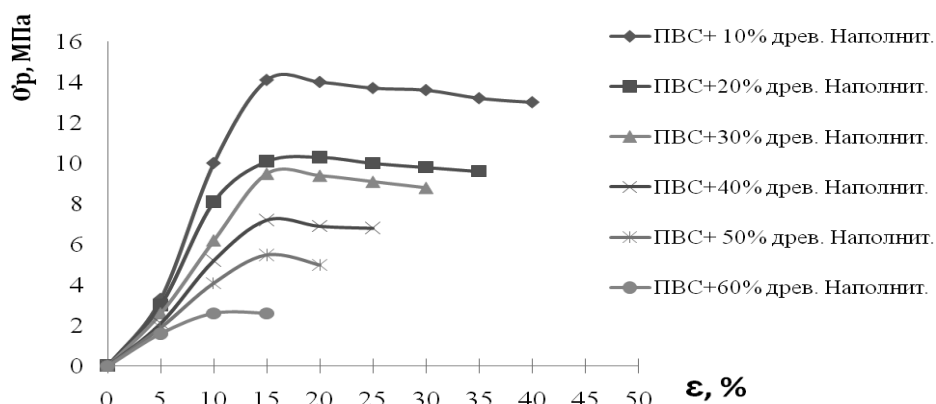


Рис. 7 Кривые растяжения полимерных композитов с различным соотношением состава ПВС и древесного наполнителя с размером частиц от 10-15 мм

На основании результатов можно сделать следующий вывод, что для наполнителя целесообразнее использовать опил фракцией 2-5 мм, а степень заполнения древесным наполнителем не должна превышать 40% заполнения от общей массы композита. Далее образцы были подвержены испытаниям на изгиб. Прочность на изгиб и модуль упругости являются важнейшими показателями механических свойств древеснонаполненных плит, так как данные характеристики определяют область и применение плит.

Заключение

Производство изделий из древесно-полимерных композитов является актуальным направлением, как среди отечественных производителей, так и среди зарубежных. Популярность материала обуславливается его экологичностью продукции из данного материала на стадиях производства, эксплуатации и утилизации, а также высокими прочностными показателями по всем направлениям. Изделия изготовленные на основе изученной технологии имеют различную степень подверженности биораспаду в зависимости от характера наполнителя и связующего.

В ходе работы произведены исследования композиционного материала на физические, биохимические, механические свойства в зависимости от количественного соотношения древесного наполнителя и связующего полимера, величины древесных частиц, характера наполнителя и связующего агента. Выявлены наиболее оптимальные

соотношения для состава теплоизоляционных материалов, мебельных щитов и упаковки.

Работа выполнялась при поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД – 5596.2016.8).

Литература

1. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Данилова Р.В., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А., Белякова Е.А. // Способ термической обработки древесины / патент на изобретение RUS 2453425 18.01.2011
2. ГОСТ 20907-75. Смолы фенолоформальдегидные жидкие. – М.: Издательство стандартов, 1986.-28 с.
3. Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. // Математическое моделирование пиролиза древесины при регулировании давления среды // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2005 - № 2. С. 168-173.
4. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. Снижение расхода энергии на проведение процессов сушки посредством вакуумно-конвективной технологии // Деревообрабатывающая промышленность - 2008. № 5. - С. 22-23.
5. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов ВЧ-плазмой // Деревообрабатывающая промышленность. - 2009. - № 1. - С. 24-25.
6. 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.

7. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Усовершенствование технологии термомодифицирования древесины BICOS-TMT // Вестник Казанского технологического университета. 2012. - Т. 15. - № 13. - С. 134-136.

8. Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р. Математическая модель процесса термомодифицирования древесины труднопропитываемых пород в жидкости // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - № 16. - С. 233-239.

9. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Воронин А.Е., Зиатдинов А.Р., Сабиров А.Т. Установка для переработки отходов древесных производств Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. - 2009. - № 5. - С. 82-87.

10. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. // Установка для сушки древесины // патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009

11. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Хайрутдинов С.З., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е., Шайхутдинова А.Р. // Способ термообработки древесины // патент на изобретение RUS 2422266 14.12.2009.

12. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю. // Промышленная установка по термомодифицированию пиломатериалов в среде топочных газов // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16. - № 19. - С. 122-124.

13. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Белякова Е.А., Галяветдинов Н.Р., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А. // Способ морения древесины и устройство для его реализации // патент на изобретение RUS 2453426 30.12.2010

14. Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Р., Садрутдинов А.Р., Сафин Р.Г., Кузьмин И.А., Разумов Е.Ю., Миндубаев Р.Р. // Установка для термической переработки твердых отходов // патент на изобретение RUS 2400671 09.04.2009

15. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Математическая модель процессов, протекающих при морении древесины труднопропитываемых пород // Вестник

Саратовского государственного технического университета. 2012. - Т. 1. - № 2 (64). - С. 80-86.

16. Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Воронин Е.К., Кайнов П.А., Зиатдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф. // Способ комплексной переработки древесной зелени // патент на изобретение RUS 2404238 09.04.2009.

17. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Математическая модель процессов, протекающих при морении древесины труднопропитываемых пород // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 1. № 2 (64). С. 80-86.

18. Сафин Р.Р., Назипова Ф.В., Хазиева Д.Р. // Современные методы сушки пиломатериалов // Деревообрабатывающая промышленность. 2013. № 4. С. 23-28.

19. Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. // Экспериментальное исследование влияния давления при пиролизе древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2004. № 1. С. 256-260.

20. Сафин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Гараева А.Ф. // Влияние высокотемпературной обработки на химический состав древесного наполнителя // Деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 1. С. 50-55.

21. Сафин Р.Р., Гараева А.Ф., Ахметов А.И. // Повышение экономической эффективности фанерных предприятий / В сборнике: Актуальные вопросы развития современного общества / сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции. 2016. С. 266-268.

22. Гараева А.Ф., Сафин Р.Р. Перспективное направление в области упаковки // В сборнике: Наука вчера, сегодня, завтра: теория и практика материалы II Международного электронного симпозиума. НОУ ВПО «Университет Российской академии образования»; УДПО «Махачкалинский центр повышения квалификации»; Научно-издательский центр «Инноватика». 2016. С. 99-107.

23. Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. // Исследование механических характеристик биоразлагаемого композита на основе древесного наполнителя // Деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 2. С. 41-45.

24. Ахунова Л.В., Гараева А.Ф., Сафин Р.Р. // Изменение степени разложения биоразлагаемого древесного композита на основе поливинилового

спирта при различной температурной обработке
// В сборнике: Теоретические и практические
аспекты развития научной мысли в современном

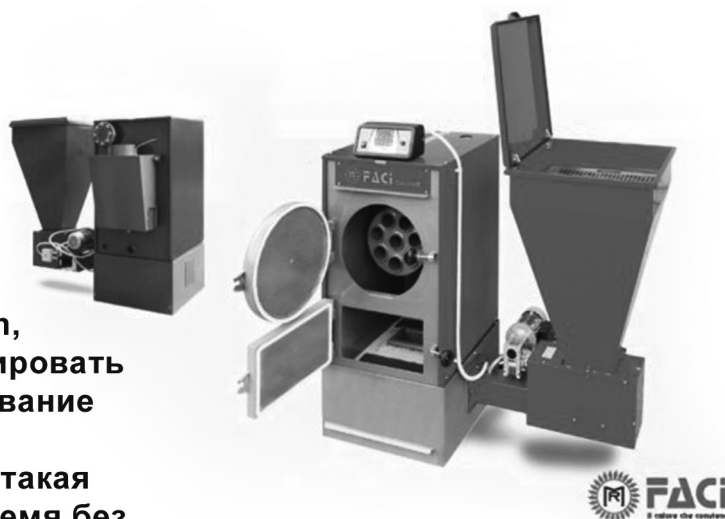
мире // сборник статей Международной научно-
практической конференции. 2016. С. 337-340.

© **Л.В. Лямина** – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», **Р.Р. Сафин** – д.т.н., профессор, зав. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», sfaby@mail.ru, **А.Ф. Гараева** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», chebesh@bk.ru.

КОМПАНИЯ «КУПЕЦ»



Пеллетные котлы - это технология Hi-Tech, которая позволяет полностью автоматизировать работу котельной вашего дома (использование дров и угля не дают такую возможность). После подключения к системе отопления такая котельная может работать длительное время без участия человека.



www.budetteplo.ru

Компания Купец
г. Пермь, ул. Монастырская, 12А, офис, 4
+7 342 210-32-20, +7 342 298-89-25



Оптовые поставки гидрооборудования

www.gidrosila.ru

ООО "ГидроСила"

Тел: +7 (495) 787-01-89

Моб: +7 (926) 354-53-82

E-mail: gidrosila3@mail.ru



Запчасти для манипуляторов:

**Loglift, Foresteri,
Kesla, Jonsered,**

Hiab, Epsilon,

СФ-65, ПЛ-70,

ПЛ-97, ЛВ-185, МУГ-70 и др.

Запчасти для форвардеров, харвестеров:

John Deere, Valmet, Ponsse



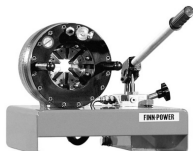
**Распределители
Гидронасосы**



**Грейферы
Ротаторы**

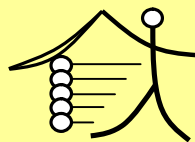


**Фильтры
Гидроцилиндры**



**Обжимное
оборудование
РВД и фитинги**

**Дерево символ
жизни и
благополучия**

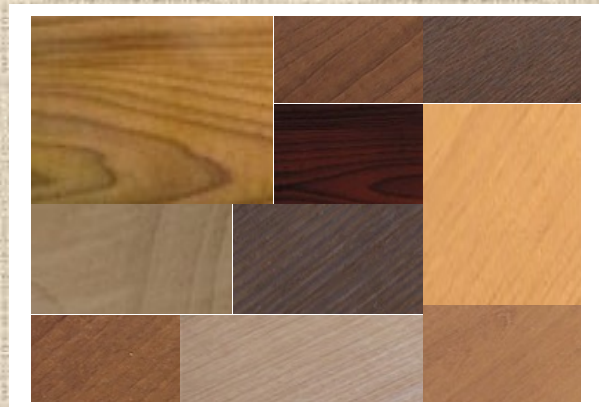


**Чистота и сила
природы поражает**

**«Научно-производственное
предприятие
«ТермоДревПром»**

**Производство новых строительных и декоративных
материалов на основе термомодифицированной
древесины**

- ✓ **Массивная половая доска**
- ✓ **Фасадная доска**
- ✓ **Террасная доска**
- ✓ **Вагонка**
- ✓ **Клееный щит**
- ✓ **Клееный брус**



Используемые породы древесины

Сосна, береза, дуб, ясень, бук

**420089, г. Казань, Даурская, д. 41, оф. 3,
ООО «НПП «ТермоДревПром»**

тел. +7 (843) 297-65-53

+7 (843) 231-89-42

www.npp-termodrev.ucoz.ru

e-mail: Olambis@rambler.ru





Где бы Вы не жили, где бы ни работали,
Вы всегда можете быть уверены, что
рядом есть отличные врачи на все случаи
жизни

Здоров.ли

Поиск врачей и клиник по всей России

<http://zdorov.li>