

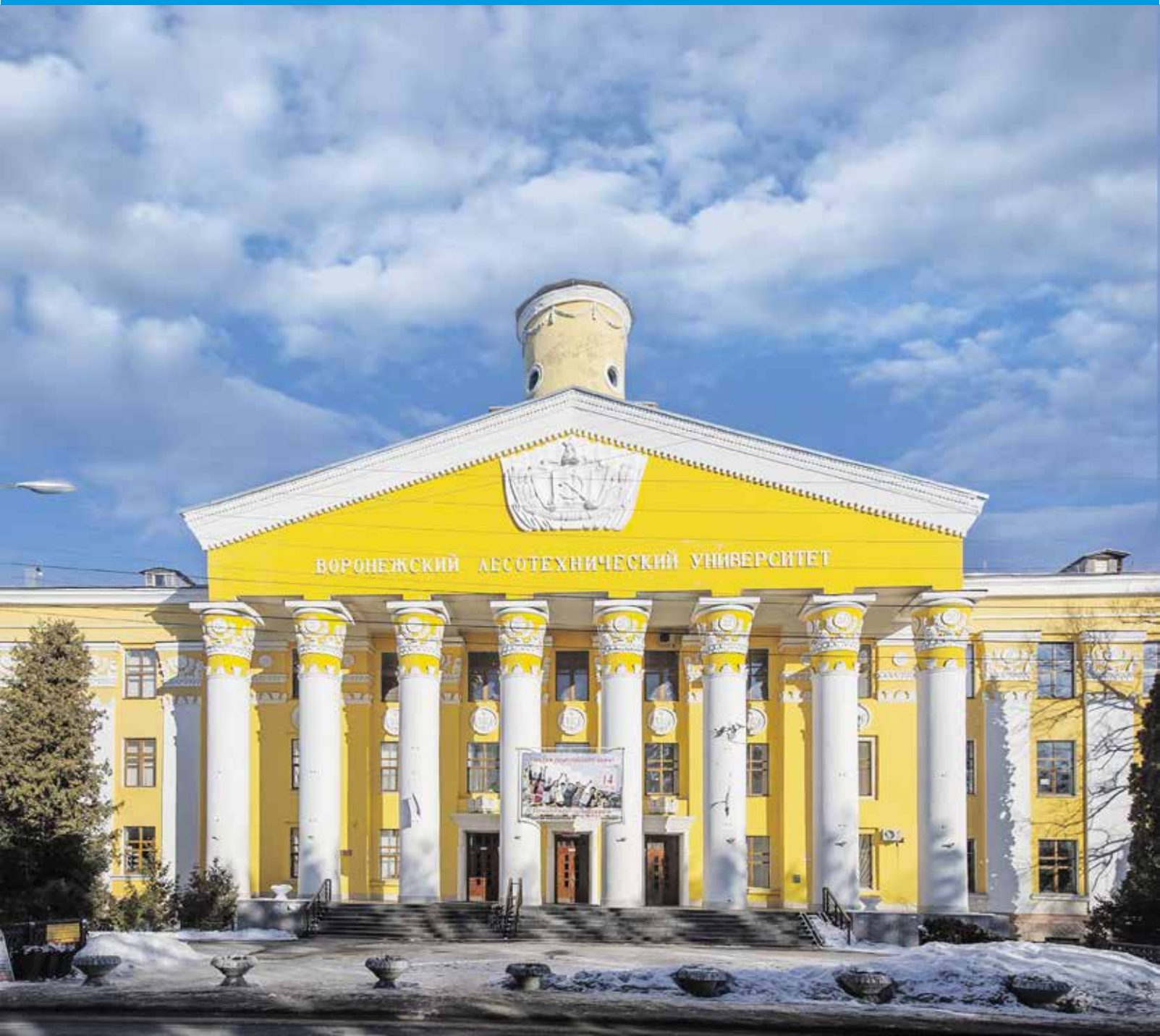
Дерево

ISSN 0011-9008

1/2017

обрабатывающая
промышленность

**ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**





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

Здоров.іі

Поиск врачей и клиник по всей России

<http://zdorov.li>

Дерево

ISSN 0011-9008

обрабатывающая промышленность

1/2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

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

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 Руслан 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 20.03.2017.
Подписано в печать 23.03.2017.

Формат бумаги 60x88/8
Усл. печ. л. 8
Тираж 720 экз. Заказ № 1804
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>Воронежский государственный лесотехнический университет</i>	3
--	---

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Физико-механические процессы в деревообработке

<i>Ш.Р. Мухаметзянов, П.А. Кайнов, А.Х. Сафиуллина, П.М. Мазуркин</i> Анализ влияния различных факторов На скорость осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов	8
<i>В.Е. Пузаков, Р.Р. Зиятдинов, А.Ф. Гараева, А.Л. Тимербаева</i> Влияние ультрафиолетового излучения на смачивание древесины	15
<i>Н.Р. Галяветдинов, Л.В. Лямина, Р.Т. Хасанишина</i> Разработка эластичного древесно-наполненного напольного покрытия на силиконовом связующем	23
<i>И.М. Галиев, Ф.В. Назипова</i> Исследование эксплуатационных свойств теплоизоляционной панели на основе древесно-полимерных композитов и пенополиуретана	28

Химическая технология древесины

<i>А.В. Сафина, Н.Ф. Тимербаев, А.Р. Хабибуллина, Л.Ш. Асаева, А.С. Калашникова</i> Моделирование процесса конвективного охлаждения древесного угля в пиролизной установке	33
<i>А.Н. Кузнецова, Р.В. Салимгараева</i> Получение молочной кислоты из древесных отходов методом гидролиза с последующим молочнокислым брожением	40
<i>А.Р. Шайхутдинова, Р.Р. Сафин</i> Сравнительный анализ технологий термомодифицирования с позиции повышения биостойкости древесины	43
<i>А.Ф. Замилова, М.Ф. Галиханов, Р.Р. Зиятдинов, Н.А. Пестова, Я.К. Микрюкова</i> Влияние термомодифицирования шпона и поляризации клея на влагостойкость фанеры	48
<i>В.В. Губернаторов, Р.Р. Хасанишин</i> Использование биомассы в производстве топлива	52
<i>А.Л. Тимербаева, Р.Р. Сафин</i> Обзор технических решений для осуществления процесса термической обработки измельченной древесины	57

Образование

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова начал принимать своих первых студентов еще в 1930 году. Это учебное заведение можно по праву назвать одним из старейших в городе Воронеж.

В 1918 году в составе Воронежского сельскохозяйственного института было открыто лесное отделение, в 1923 году оно было преобразовано в лесной факультет.



В 1930 году Воронежский сельскохозяйственный институт был разделен на несколько отраслевых институтов и на базе лесного факультета был учрежден Воронежский лесотехнический институт.

Вуз в различные годы именовался по-разному: Лесотехнический институт (1930-1931), Институт лесного хозяйства (1932-1935), Лесокультурный институт (1936-1937), Лесохозяйственный институт (1938-1955), Лесотехнический институт (1956-1980), Лесотехнический институт ордена Дружбы народов (1980-1994 гг.), Лесотехническая академия (с 1994-2015 г.), Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (2015 г.).

Необходимость создания лесного вуза в Центральном Черноземье была обусловлена целым рядом объективных причин. В Воронежской области располагались ценные лесные массивы, имеющие мировое значение (Хреновской бор, Шипов лес, Теллермановская роща, Усманский бор и др.) Эти леса являлись объектами передовых методов ведения лесного хозяйства и лесокультурного дела в России.

На Воронежской земле в Каменной степи профессором В.В. Докучаевым была создана система лесных полос – образец лесной мелиорации.

Всемирную славу лесному делу в Центральном Черноземье создали такие известные лесоводы, как И.Н. Шаталов, Н.Д. Суходский, родоначальник отечественного лесоводства Г.Ф. Морозов, Н.К. Генко, М.Д. Кравчинский, Г.А. Карнаковский, Г.Н. Высоцкий и многие другие. Вблизи города Воронежа были расположены известные рукотворные лесокультурные массивы – Савальское и Фашевское опытные лесничества.

В Хреновском бору профессором Г.Ф. Морозовым были впервые разработаны основы учения о типах леса. Здесь же с 1888 года успешно готовил лесоводов среднего звена лесхоз-техникум.

Старейший из профессоров О.Г. Каппер справедливо указывал, что, если бы в Воронеже не было лесного института, его немедленно следовало бы создать для освоения ценнейшего опыта отечественной лесной науки и практики. И такой лесной вуз был создан.

В организации института активно участвовал декан лесного факультета СХИ, профессор Тюрин Александр Владимирович, ставший первым его директором (1930).

К 1941 году институт широко развернул учебную и научно-исследовательскую работу, а многие его питомцы, окончившие институт, своими знаниями и работой на производстве укрепляли авторитет Воронежской высшей лесной школы.

В самом начале войны около половины студентов, значительная часть преподавательского состава и аспирантов были призваны в ряды Красной Армии. Из числа последних можно назвать следующих лиц: асс. В.Н. Иванов, А.С. Иванов, Ф.П. Якушев, М.В. Ливадин, В.Н. Томашевский, А.Д. Дударев, С.М. Рихерт, доц. М.Н. Грищенко, Е.Я. Судачков и другие.



В 1942-1943 годах Воронежский лесохозяйственный институт находился в эвакуации в поселке Лубяны Татарской АССР.

В послевоенный период в ВУЗе работало много фронтовиков. В их числе – Гукалов А.М., Мякинин Б.А., Куликов М.А., Бугаев В.А. и другие. В связи с празднованием 20-й годовщины Победы в Великой Отечественной войне в главном корпусе был установлен большой стенд с именами и фотографиями сотрудников и аспирантов института. А в 1975 г. была создана рабочая группа для съемки кинофильма «Вспомним тех, кто воевал» (руководителем группы был назначен доцент Лозовой А.Д.). Позднее фильм был назван «Память».

В 2015 г. на фасаде главного корпуса была установлена мемориальная доска, напоминающая о Великой Отечественной войне.



В этом же году ВУЗ принял участие в проекте «Лес Победы», в рамках которого проведена посадка геоглифа в виде гигантской надписи из сосны и дуба «70 лет Победы» на территории Учебно-опытного лесхоза.

Важным событием 1952-1953 гг. явилась закладка институтского дендропарка, который был размещен на полевом участке напротив главного учебного корпуса площадью 3,5 га. Эта работа проводилась силами студентов, аспирантов и преподавателей специальных кафедр. Одним из создателей дендропарка была Науменко Е.Н. В дальнейшем ее дело продолжил Сеницын Е.М.

На протяжении своей истории вуз с помощью квалифицированного преподавательского состава давал студентам великолепное образование.

В 1980 году крупным событием в жизни вуза явился его 50-летний юбилей, в честь которого он был награжден орденом Дружбы народов.

Национальный состав студентов в 1980 году был следующий: русских – 3132, украинцев – 157, белорусов – 6, узбеков – 13, казахов – 1, грузин – 7, азербайджанцев – 51, литовцев – 1, молдаван – 49, латышей – 1, киргизов – 2, таджиков – 17, армян – 21 и кроме того еще 17 национальностей, среди которых народностей Дагестана – 45 человек, осетин – 14, чеченцев – 20.

В год 85-летия, приказом Минобнауки от 12 февраля 2015 года № 86 вуз переименован в Воронежский государственный лесотехнический университет (ВГЛТУ) им. Г.Ф. Морозова.

Морозов Георгий Федорович (1867-1920), именем которого теперь назван вуз, – это выдающийся русский лесовод, ботаник, почвовед и географ конца XIX века – начала XX века, классик российского лесоводства, профессор Санкт-Петербургского лесного института (1901-1917) и Таврического университета, действительный член Географического общества (1910). Родился в Санкт-Петербурге.

После трех лет обязательной военной службы вышел в отставку и поступил в Санкт-Петербургский лесной институт (1890). Связь Морозова с Воронежем началась в 1893 году, когда он выпускником института приехал работать в Воронежскую губернию помощником лесничего Хреновского лесничества и там же стал преподавателем лесной школы. Молодой ученый многое сделал в нашем крае для развития степного лесонасаждения и популяризации лесоводства среди молодежи.

Под руководством Н.Д. Суходского Морозов Г.Ф. провел исследования роста культур сосны на песках в условиях засушливого климата, опубликовав результаты в работе «Борьба с засухой при культурах сосны» (1896).

В 1896 г. Морозов Георгий Федорович был направлен на два года в научную командировку для стажировки у лесоводов Пруссии, Баварии, Гессена, Саксонии и Швейцарии. Вернувшись из-за границы, Морозов Георгий Федорович руководил облесением 350 га песков в Павловском уезде Воронежской губернии. В 1899 г. стал лесничим Каменно-Степного опытного лесничества.



В 1900 г. Морозов Георгий Федорович перешел на постоянную работу в Санкт-Петербургский лесной институт, где с 1901 по 1917 г. заведовал кафедрой общего лесоводства. Одновременно Морозов Георгий Федорович был редактором «Лесного журнала» (1904-1918).

В 1918 г. по состоянию здоровья Морозов Г.Ф. переехал в Крым и продолжил работу в Таврическом университете.

Морозов Георгий Федорович создал единое цельное учение о лесе, увязав его с материалистической теорией Ч. Дарвина и учением о почве В.В. Докучаева.

Труды Морозова Георгия Федоровича оказали большое влияние на развитие биогеоценологии и лесоведения. Его учение о типах леса, основанное на учете особенностей древесных пород и среды их местообитания и ставшее краеугольным камнем всего его творческого наследия, приобрело всеобщее признание как достояние русской науки.

В своем «Учении о лесе» Морозов Георгий Федорович писал: «Учение это возникло на русской почве, на нашей родине, географические условия которой должны были способствовать этому, как они в свое время создали современное учение о почве гением Докучаева».

Морозов Георгий Федорович опубликовал свыше 400 научных работ, среди которых нет второстепенных. Даже его малоизвестные ранние работы со временем стали актуальными и востребованными.

В 1913 г. Морозову Георгию Федоровичу присуждена Золотая медаль им. П. П. Семенова-Тянь-Шанского.

Похоронен Морозов Г.Ф. в предместье Симферополя. ВАСХНИЛ (с 1992 г. РАСХН) учредила Золотую медаль им. Г. Ф. Морозова за выдающиеся работы в области лесоводства и защитного лесоразведения (1968).

Лесной факультет

Старейший в университете лесной факультет существует уже 90 лет, а кафедре лесоводства, лесной таксации и лесоустройства в мае 2015 года исполнилось 100 лет. Открытое в июне 1918 года Лесохозяйственное отделение при Воронежском СХИ в 1930 году послужило фундаментом для создания самостоятельного высшего учебного заведения, превратившегося в один из ведущих вузов лесного профиля – Воронежский государственный лесотехнический университет для достижения следующих целей:



- для подготовки специалистов по лесному хозяйству и защитному лесоразведению, рационального ведения лесного хозяйства, сохранения и восстановления уникальных черноземов;
- для сохранения и изучения, расположенных в Воронежской области ценных лесных массивов, имеющих мировое значение: Усманского и Хреновского бора, Шилова леса, Теллермановской дубравы. Здесь, на границе островных лесных массивов и степи, были разработаны оригинальные способы рубок, возобновления и разведения лесов.

За это время подготовлено более 16 тысяч лесоводов высшей квалификации, работающих в различных регионах России и за рубежом. Главной задачей выпускников факультета является сохранение, восстановление, повышение устойчивости и продуктивности лесов. Создавая леса, лесоводы обеспечивают восстановление всего комплекса ресурсов такой сложной экологической системы, как леса России.

Идет время, меняются социально-экономические условия, но лесной факультет, вместе со всем Воронежским государственным лесотехническим университетом, опираясь на традиции и уникальный опыт поколений преподавателей, используя современные образовательные технологии и научные разработки, продолжает свою благородную деятельность на благо Русского Леса.

- Кафедра лесных культур, селекции и лесомелиорации;
- Кафедра лесоводства, лесной таксации и лесоустройства;
- Кафедра экологии, защиты леса и лесного охотоведения;
- Кафедра ландшафтной архитектуры и почвоведения;
- Кафедра ботаники и физиологии растений;
- Кафедра философии и социально-гуманитарных наук.

Лесопромышленный факультет

Лесопромышленный факультет образован в 2011 году из лесоинженерного факультета и факультета технологии деревообработки. Эти факультеты имеют большие педагогические и научные традиции.



По решению Совета Министров СССР и ЦК КПСС от 1 декабря 1953 года №2570, а также приказу Министра культуры СССР от 11 ноября 1953 года №1969 с 1 февраля 1954 года в Воронежском государственном лесохозяйственном институте (ныне ВГЛТА) был организован лесоинженерный факультет для подготовки специалистов по профилям: инженера-механика по специальности «Машины и механизмы лесоразработок», инженера-технолога по специальности «Лесоинженерное дело». За это время было подготовлено 4121 инженер. Первым деканом

лесоинженерного факультета был доцент Коваль Анатолий Львович (1954-1955 гг.), который внес значительный вклад в становление лесоинженерного образования. В разные сроки деканами лесоинженерного факультета избирались: доцент Гарузов Викентий Иванович (1955-1964 гг.); доцент Самодуров Семен Иванович (1964-1968 гг.); доцент Курьянов Виктор Кузьмич (1968-1971 гг.); доцент Винник Николай Иосифович (1971-1976 гг.); доцент Макеев Виктор Николаевич (1976-1979 гг.); доцент Иевлев Анатолий Иванович (1979-1983 гг.); доцент Федоринин Владимир Александрович (1983-1988 гг.); доцент (профессор с 1993 г.); Курьянов Виктор Кузьмич (1988-2011 гг.). Огромный вклад в развитие факультета, создание мощной научной школы внес «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», доктор технических наук, профессор Курьянов Виктор Кузьмич. Лесоинженерный факультет проводил фундаментальные, поисковые и прикладные исследования, разрабатывал концепции и программы по отдельным направлениям, обеспечивающим решение основной задачи – подготовки высококвалифицированных кадров для предприятий лесного комплекса. В течение последних лет кафедры лесоинженерного факультета совместно с рядом кафедр академии последовательно разрабатывали и внедряли результаты исследований, ориентированные на совершенствование проблемы ресурсосберегающих и экологически перспективных технологий (процессов) на предприятиях лесного и дорожного комплексов. Факультет технологии деревообработки основан в 1960 году. В период с 1960 по 2011 гг. на факультете подготовлено более 6000 специалистов, многие из которых стали крупными специалистами, руководителями предприятий, административными работниками. Первым деканом факультета был кандидат технических наук, доцент Жуков Вячеслав Павлович. Он же являлся заведующим кафедрой механической технологии древесины. С 1971 г. в разные годы деканат возглавляли: Дьяконов Кузьма Филаретович (с 1971 по 1974 гг.) – кандидат технических наук, доцент; Тюриков Федор Тимофеевич (с 1977 по 1980 гг.) – доктор технических наук, профессор; Мурзин Виктор Сергеевич (с 1974 по 1977 гг. и с 1980 по 1982 гг.) – кандидат технических наук, доцент, в настоящее время советник ректора академии, профессор; Михайлов Николай Андреевич (с 1982 по 1983 гг.) – кандидат технических наук, доцент; Бородин Василий Николаевич (с 1983 по 1988 гг.) – кандидат физико-математических наук, доцент, в настоящее время председатель профкома; Филонов Александр Андреевич (с 1988 по 1993 гг.) – кандидат технических наук, доцент (сейчас доктор технических наук, профессор кафедры механической технологии древесины); Зигельбойм Семен Наумович (с 1993 по 1996 гг.) – кандидат технических наук, доцент, в настоящее время пенсионер, проживает в США; Разиньков Егор Михайлович (с 1996 по 2003 гг.) – доктор технических наук, профессор (сейчас заведующий кафедрой Механической технологии древесины). Сафонов Андрей Олегович (с 2003 по 2011 гг.). Сложившиеся традиции проведения учебного процесса, научные школы позволяют в



настоящее время растить молодых ученых и подготавливать кадры высокой квалификации для лесной и деревообрабатывающей промышленности России.

В 2006/07 уч.г. факультет прошел международную аккредитацию, экспертом которой стало Международное образовательное сообщество (International Education Society). По научным специальностям на факультете имеется аспирантура. По специальностям 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства, 05.21.05 – Древесиноведение, технология и оборудование деревопереработки защита диссертации осуществляется в академии.

- Кафедра древесиноведения;
- Кафедра механической технологии древесины;
- Кафедра промышленного транспорта, строительства и геодезии;
- Кафедра лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации;
- Кафедра химии.

СЕМИНАР В ФГБОУ ВО «КНИТУ»

08 февраля 2017 г. в г. Казань состоялся семинар «Автоматизация современного мебельного предприятия: проблемы и решения», организованный ведущим разработчиком программного обеспечения для комплексной автоматизации мебельных предприятий фирмой Базис-Центр при поддержке Казанского национального исследовательского технологического университета.



Насыщенная программа семинара позволила подробно рассмотреть основные возможности системы БАЗИС 9, ее преимущества перед аналогичными разработками, методику и практические приемы автоматизированного проектирования мебели, принципы автоматизации мебельного производства. Он был устроен таким образом, чтобы участие в нем было максимально интересным и полезным самой широкой аудитории: от специалистов, давно и плодотворно работающих с системой БАЗИС до потенциальных пользователей, аспирантов и студентов Университета.

Семинар вызвал неподдельный интерес у мебельщиков Республики Татарстан и близлежащих регионов и собрал широкий круг специалистов. Участники семинара активно обсуждали новые возможности системы БАЗИС, задавали вопросы, дискутировали и высказывали пожелания по развитию системы. Несомненным его достоинством стала возможность получить исчерпывающую информацию и профессиональные консультации непосредственно от разработчиков.

В целом мероприятие было проведено на самом высоком уровне благодаря поддержке руководства Казанского национального исследовательского технологического университета.

Физико-механические процессы в деревообработке

УДК 674.04

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ВАКУУМНО- КОНДУКТИВНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Ш.Р. Мухаметзянов, П.А. Кайнов, А.Х. Сафиуллина, П.М. Мазуркин

Одним из направлений рационального использования энергоресурсов в области сушки древесины является использование управляемых тепловых насосов, обладающих значительным потенциалом для уменьшения основного потребления энергии при сушке. Тепловые насосы могут использоваться в сочетании с традиционным топливом или электричеством как дополнительный источник энергии или выступать самостоятельным генератором тепла и одновременно осушающим устройством. Достоинством тепловых насосов является более низкое потребление энергии для каждой единицы удаленной влаги, более точное управление условиями и параметрами процесса сушки и достижение улучшенного качества продукта. Однако тепловые насосы до сих пор не нашли применения в технологиях вакуумной сушки материалов.

С целью снижения затрат в процессах вакуумной сушки пиломатериалов была разработана технология осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки с применением теплового насоса. При этом для расчета теплового насоса необходимо задание тепловой нагрузки, определяемой скоростью испарения влаги из материала. В связи с этим в представленной статье приведены результаты экспериментального исследования и математическая обработка данных стадии вакуумирования предварительно нагретого древесного образца.

Полученные выражения позволяют определить изменение характеристик процесса сушки в зависимости от режимных параметров и сортамента высушиваемого пиломатериала и могут быть использованы при проектных расчетах теплонасосного оборудования для вакуумных сушильных камер.

Ключевые слова: *древесина, вакуум-кондуктивная сушка, тепловой насос, скорость сушки.*

One of the areas of rational use of energy resources in the field of wood drying is the use of controlled heat pumps that have a significant potential for reducing the basic energy consumption during drying. Heat pumps can be used in combination with traditional fuel or electricity as an additional source of energy or act as an independent heat generator and simultaneously a desiccant device. The advantage of heat pumps is a lower energy consumption for each unit of remote moisture, more precise control of the conditions and parameters of the drying process and the achievement of improved product quality. However, heat pumps have not yet found application in vacuum drying technologies for materials.

In order to reduce costs in the process of vacuum drying of sawn timber, the technology of oscillating vacuum-conductive drying with the use of a heat pump was developed. In order to calculate the heat pump, it is necessary to set the heat load, determined by the rate of evaporation of moisture from the material. In this connection, the presented article presents the results of an experimental study and a mathematical treatment of the data of the stage of evacuation of a preheated wood sample.

The obtained expressions allow to determine the change in the characteristics of the drying process depending on the regime parameters and the range of the dried lumber and can be used in the design calculations of the heat pump equipment for vacuum drying chambers.

Key words: *wood, vacuum-conductive drying, heat pump, drying speed.*

Введение

Известные в различных отраслях промышленности методы энергосбережения в виде использования тепловых насосов, применительно к деревообрабатывающей промышленности до сих пор не нашли широкого применения или носят единичный характер. Так, например, используемые в конвективных сушилках тепловые насосы не получили дальнейшего развития и применения в других методах сушки, в частности, в вакуумных технологиях. При этом ведение процесса в герметичных условиях позволяет наиболее эффективно улавливать тепловую энергию испаряющейся из материала влаги.

Литературный анализ показал, что, несмотря на объективно большие перспективы использования тепловых насосов в сушильной промышленности, развитие данной технологии находится на стадии зарождения и в основном нашла применение только в конвективных процессах сушки [1-3].

Обобщая существующие технологии сушки древесины можно заключить, что тепловые насосы позволяют существенно повысить энергоэффективность процесса, а объединением их с вакуумными технологиями можно добиться также и сокращения продолжительности сушки древесных материалов [2-6].

В связи с этим была разработана технология осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов с использованием теплового насоса. Особенностью предложенной технологии является передача тепловой энергии испаренной в первой камере влаги обрабатываемому материалу, находящемуся во второй камере, с помощью теплового насоса [7-10]. При этом на процесс передачи тепловой энергии из одной камеры в другую с помощью теплового насоса затрачивается в несколько раз меньшее количество энергии, чем величина передаваемой теплоты, поэтому процесс нагрева пиломатериала протекает при меньших энергозатратах.

Осциллирующая технология сушки с использованием теплового насоса [7] предполагает наличие чередующиеся стадии нагрева и стадии вакуумирования, при которой

непосредственно происходит основная часть процесса сушки, поэтому необходимо исследование процесса скорости сушки нагретого материала в процессе вакуумирования.

Методы и материалы

Для проведения экспериментальных исследований использовался вакуумный сушильный шкаф Memmert, способный к поддержанию заданного значения вакуума.

Древесные образцы заранее подготавливаются и их параметры с высокой точностью приводятся к заданным начальным значениям, пригодным для метода планирования эксперимента по таким факторам, как толщина, температура и влажность. В качестве образцов были выбраны три наиболее популярные породы древесины по критерию «цена-качество», также обуславливающие различные группы плотности – сосна, береза, дуб. Толщина образцов дискретна и составила 20, 35, 50 мм, поскольку эти размеры наиболее востребованы на рынке пиломатериалов. Удаление влажности рассматривалось в диапазонах от 80 до 40 % и от 30 до 10 %. Такое разделение необходимо для более точного расчета исследуемого фактора – скорости сушки в интервале влажности выше предела насыщения клеточных стенок и в интервале ниже предела гигроскопичности.

Предварительно подготовленные и нагретые до заданных значений температуры образцы (табл. 1) помещаются в сушильный шкаф, где осуществляется стадия вакуумирования материала. В процессе сушки текущая масса образца фиксируется с помощью тензометрического датчика.

Методом полного факторного эксперимента были получены экспериментальные значения скорости сушки нагретого материала в процессе вакуумирования в зависимости от плотности, толщины, температуры нагрева, остаточного давления на стадии вакуумирования и влажности материала [8-10].

В данной статье моделирование выполняется по натуральным значениям факторов. Общая модель по таблице 2 содержит 420 точек измерений, где выходным значением является скорость сушки древесины.

Таблица 1 – Переменные факторы и уровни их варьирования в экспериментах

Наименование фактора	Обозначение	Уровень варьирования		
		Нижний (-1)	Основной (0)	Верхний (+1)
Температура материала, °C	T	40	50	60
Остаточное давление на стадии вакуумирования, кПа	p	20	40	60
Базисная плотность пиломатериалов, кг/м ³	ρ	400	500	600
Толщина пиломатериалов, мм	S	20	35	50
Удаление свободной влаги				
Средняя влажность пиломатериалов, %	W	40	60	80
Удаление связанной влаги				
Средняя влажность пиломатериалов, %	W	10	20	30

Таблица 2 – Экспериментальные данные скорости процесса осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов

№ п/п	ρ , кг/м ³	S , мм	W , %	T , °C	p , кПа	v , %/мин
1	623	50	30	60	60	0.025
2	623	50	30	60	20	0.032
3	623	50	30	40	60	0.034
4	623	50	30	40	20	0.052
5	623	50	10	60	60	0.012
416	518	35	40	50	40	0.075
417	518	35	60	60	40	0.08
418	518	35	60	40	40	0.12
419	518	35	60	50	60	0.15
420	518	35	60	50	20	0.079

Планирование выполнялось на трех уровнях в В-планах второго порядка. Среднее из пяти повторов при статистическом моделировании исключается, что повышает точность моделей в виде устойчивых закономерностей.

Все тенденции моделируются трендовой двухчленной закономерностью вида

$$y = a_1 x^{a_2} \exp(-a_3 x^{a_4}) + a_5 x^{a_6} \exp(-a_7 x^{a_8}) \quad (1)$$

В формуле (2) первый член является законом Лапласа (в математике), Мандельброта (в физике), Парето (в экономике) и Перла-Ципфа (в биологии). Он показывает естественную тенденцию к понижению скорости сушки с увеличением толщины образца древесины. При нулевой толщине $S \rightarrow 0$ скорость сушки равна 0.112 %/мин. Вторая составляющая по

Далее приведем результаты однофакторного и многофакторного моделирования.

Результаты

Однофакторное моделирование. Из пяти влияющих переменных четыре оказались слабо влияющими на изменение скорости сушки. Основная причина, – жесткая фиксация значений влияющих факторов.

Влияние на скорость сушки толщины образца определяется (рис. 1а) формулой

$$v = 0.11223 \exp(-0.0014861S) - 0.0012535S^{1.19923} \exp(-0.023711S) \quad (2)$$

биотехническому закону показывает, что наблюдается какое-то кризисное (из-за отрицательного знака перед составляющей) влияние толщины образца [11, 12].

Влияние на скорость сушки температуры образца при жестко фиксированных значениях слабое (рис. 1b) также по двухчленной формуле

$$v = 0.30548 \exp(0.0063581T) - 0.0039545T^{1.36359} \exp(-0.016690T) \quad (3)$$

Первый член является законом экспоненциального роста по Лапласу. Он показывает, что при нулевой температуре скорость сушки может быть равной 0.305 %/мин. Как и толщина, по второй составляющей температура кризиса влияет на скорость. По-видимому, можно найти причину такой

задержки в процессе сушки новыми опытами.

Влияние на скорость сушки базисной плотности древесины образцов определяется (рис. 1с) аналогичной двухчленной закономерностью

$$v = 57146378.0 \exp(-0.049792\rho^{1.00854}) + 1.72834 \cdot 10^{-6} \rho^{1.68001} \quad (4)$$

По первому члену с возрастанием базисной плотности скорость сушки убывает по модифицированному закону Лапласа. При стремлении $\rho \rightarrow 0$ скорость сушки огромна и равна 57146378.0 %/мин. Второй член показывает рост по показательному закону. В

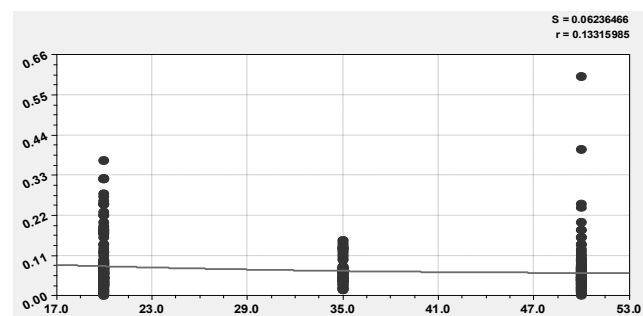
итоге базисная плотность влияет двояко по тенденциям гибели и роста.

Влияние на скорость сушки остаточного давления наблюдается наиболее слабо из-за жесткой фиксации значений фактора (рис. 1d) по двучленной закономерности вида

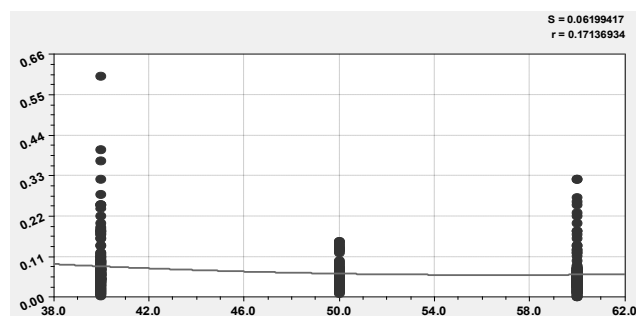
$$v = 0.10396 \exp(-0.0011955p) - 0.00085940p^{1.29456} \exp(-0.028487p) \quad (5)$$

По первому члену с ростом давления наблюдается снижение скорости сушки. Если

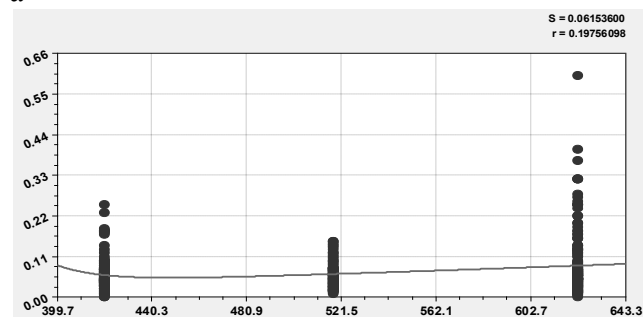
бы достичь условия $p \rightarrow 0$, то скорость сушки максимальна и равна 0.104 %/мин.



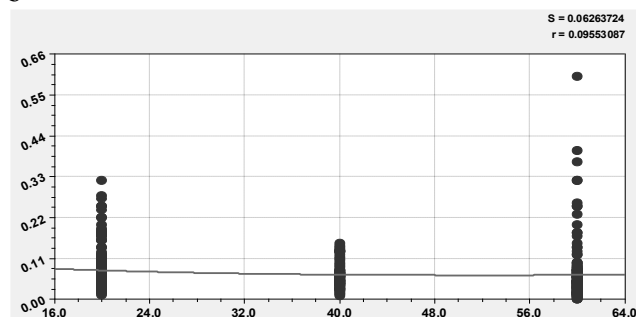
a



b



c



d

Рис. 1. Графики однофакторного влияния на скорость сушки образцов древесины трех пород (сосна, береза, дуб) по результатам десяти экспериментов: толщины образца (а), температуры материала образца (b), средней базисной плотности древесины (с) и остаточного давления вакуумирования (d)

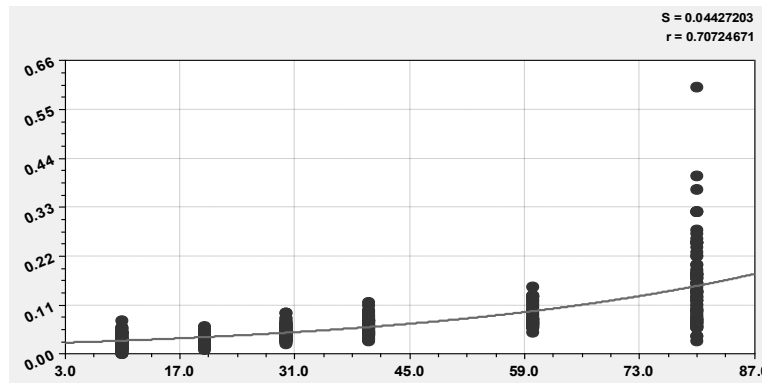


Рис. 2. График влияния влажности образца древесины на скорость осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки

Интенсивность гибели равна 0.98907 и не намного меньше 1, однако это значение существенно влияет на процесс сушки. По ней экстраполяцией можно вычислить скорость сушки при 100 и более процентах влажности. Из графика на рисунке 2 видно, что с увеличением влажности разброс (дисперсия) значений скорости сушки резко возрастает.

Многофакторное моделирование. Вначале необходимо провести однофакторное моделирование и по возрастанию коэффициента корреляции предыдущих формул составить рейтинг влияющих переменных (табл. 3) [11-17].

Таблица 3 – Рейтинг однофакторных моделей изменения скорости сушки

Влияющие переменные факторы	Козфф. коррел.	Место модели
P - остаточное давление на стадии вакуумирования, кПа	0.0955	1
S - толщина образца, мм	0.1332	2
T - температура материала, °C	0.1714	3
ρ - средняя базисная плотность древесины образцов, кг/м ³	0.1976	4
W - влажность древесины, %	0.7072	5

Места расставляются по возрастанию коэффициента корреляции, то есть по повышению адекватности однофакторной закономерности. На первом месте находится понижение давления охлаждения с коэффициентами корреляции для 0.0955. Из данных таблицы 3 видно, что сильную

факторную связь с коэффициентом корреляции не менее 0.7 получает только пятая по иерархии влияющая переменная. Затем записывается общее многофакторное уравнение с пятью значащими цифрами в его параметрах (рис. 3) вида

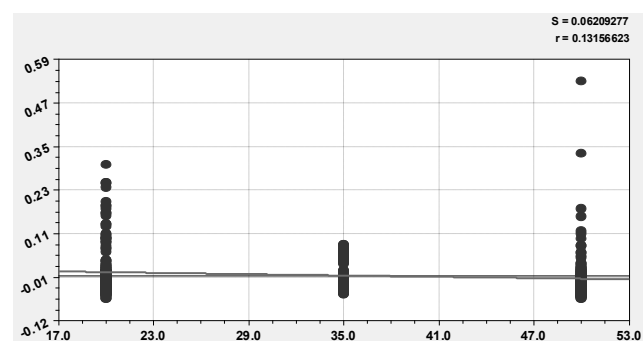
$$\begin{aligned}
 v = & 0,10396 \exp(-0,0011955p) - 0,00085940p^{1,29456} \exp(-0,028487p) + \\
 & + 0,021918 \exp(-0,00090820S^{1,00409}) - 0,00062509S^{1,00612} \exp(-0,0012923S^{1,00380}) + \\
 & + 0,19503 \exp(-0,00074820T^{0,699997}) - 0,0034038T^{1,29961} \exp(-0,021058T) - \\
 & - 0,066513 \exp(1,27376 \cdot 10^{-5} \rho^{0,97716}) + 0,00012699\rho^{1,00181} - \\
 & - 0,043755 \exp(4,85679 \cdot 10^{-5} W^{1,57331}) + 4,56719 \cdot 10^{-5} W^{1,80820}
 \end{aligned} \quad (9)$$

Методика многофакторного моделирования заключается в том, что вначале берется идентифицированное уравнение для первой по рейтингу влияющей переменной [18-

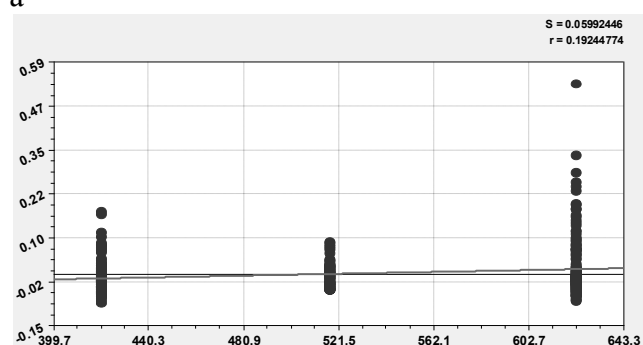
22]. Затем в остатки от первого уравнения в программной среде CurveExpert-1.40 вместо первой влияющей переменной (давление p , кПа) вставляются значения переменной из таблицы 1,

занившей второе место (толщина образца). После идентификации закономерности в очередные остатки вставляется третья переменная (температура образца). Снова проводится идентификация новой

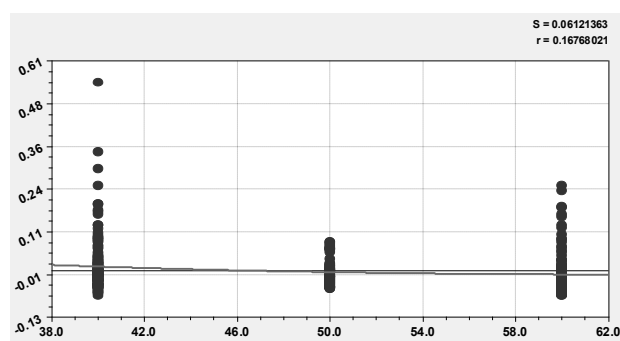
закономерности. Так проводится наращивание аддитивной статистической модели до переменной, занимающей последнее пятое место.



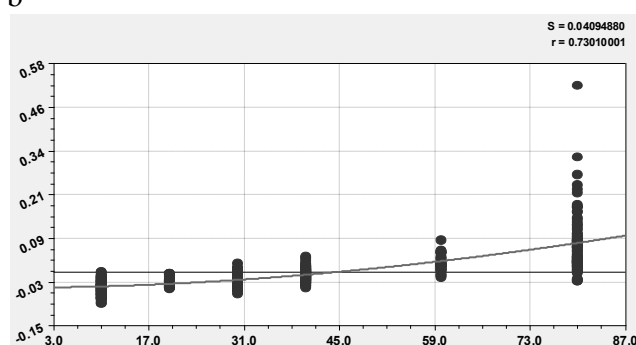
а



с



b



d

Рис. 3. Графики последовательного влияния пяти факторов на изменение скорости сушки образцов древесины трех пород (сосна, береза, дуб) по результатам десяти экспериментов: толщины образца (а), температуры материала образца (b), средней базисной плотности древесины (с) и влажности древесины (d)

При многофакторном моделировании адекватность влияния влажности возросла до коэффициента корреляции 0.7301 вместо 0.7072 на однофакторной модели.

Заключение

В работе проведено экспериментальное исследование осциллирующей вакуумно-кондуктивной сушки. Получены уравнения регрессии, характеризующие скорость удаления влаги из материала в процессе вакуумирования в зависимости от текущих температуры, влажности, толщины и плотности материала, а также от остаточного давления в аппарате. Анализируя проведенные исследования можно сделать вывод о высокой зарегулированности значений влияющих переменных, более того в одинаковых интервалах; при повторях, появились неизвестные влияющие факторы, что свидетельствует о необходимости упрощения опытов. Полученные выражения позволяют определить изменение тепловой нагрузки для теплового насоса в зависимости от режимных

параметров и сортамента высушиваемого пиломатериала.

Литература

1. Chua, K.J., Choua, J.C., Hoa and M.N.A. Hawladera, Heat Pump drying: Recent developments and future trends. Drying Technology: An International Journal, USA, vol. 20/issue 8, pp 1579-1610, 2007;
2. Vasile Minea, Efficient Energy Recovery with Wood Drying Heat Pumps, Drying Technology, USA, vol. 30/issue 14, pp 1630-1643, 2012;
3. Strommen I., Alves-Filho O., Eikevik T.M., Claussen I.C., Physical Properties in Drying of Food with Combined Sublimation and Evaporation, 13th International Drying Symposium, China, 2002, vol. C, pp 1698-1705;
4. Lee K.H., Kim O.J., Kim J., Drying performance simulation of a two-cycle heat pump dryer for high temperature drying, Drying Technology, USA, 2008, vol. 28, pp 683-689;
5. Perre P., G. Almeida and J. Colin, Energy issues of drying and heat treatment for solid wood and

- other biomass sources, Modern Drying Technology, Germany, vol. 4, Chap. 7, pp 245-293, 2011;
6. Goreshnev M., Litvishko E. Math modeling of vacuum conductive timber drying. International Conference for Young Scientists "High Technology: Research and Applications 2014", HTRA 2014. Tomsk. Russian Federation. 2014. № 1040. P. 478-483;
7. Galyavetdinov, N.R., Safin R.R., Mukametzyanov S.R., Kaynov P.A., Khakimzyanov I.F., Study of the speed of vacuum drying of pre-heated wood, 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Bulgaria, 2016, vol. 2, pp 217-222;
8. Galyavetdinov, N.R., Safin R.R., Mukametzyanov S.R., Khakimzyanov I.F., Kaynov P.A., Recycling energy in technology of vacuum drying. Conference Proceedings 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference "SGEM 2015. Energy and Clean Technologies", Bulgaria, 2015, pp 731-738;
9. Safin R.R., Khasanshin R.R., Shaikhutdinova A.R., Khakimzyanov I.F., Calculation methodology of the heat pump in the process of oscillating vacuum-conductive drying of lumber, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 124/issue 1, pp 356-360, 2016;
10. 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), Russia, vol. 75/issue 2, pp 384-389, 2002;
11. Mazurkin, P.M., Method of identification, International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM 2014, Bulgaria, vol. 1/issue 6, pp 427-434, 2014;
12. Mazurkin, P.M., Identification of the wave patterns of behavior, International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM 2014, Bulgaria, vol. 1/issue 6, pp 373-380, 2014. 13. Способ сушки и термической обработки древесины // Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладышкина Н.А., Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А., Кузьмин И.А., Мазохин М.А., Шайхутдинова А.Р., Ахтямова Т.Н., Воронин А.Е. // патент на изобретение rus 2425305 04.03.2010
14. Обзор современных решений сотрудников ФГБОУ ВПО «КНИТУ» в области техники и технологии сушки пиломатериалов // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А. // Вестник казанского технологического университета. 2013. т. 16. № 23. с. 76-78.
15. Снижение расхода энергии на проведение процессов сушки древесины посредством вакуумно-конвективной технологии // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. // Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. с. 22-23.
16. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов // 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.
17. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды // Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. // Лесной Вестник. 2005. № 2. с. 168-173.
18. Усовершенствование технологии термомодифицирования древесины bikos-tmt // Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник казанского технологического университета. 2012. т. 15. № 13. с. 134-136.
19. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов вч-плазмой // Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 1. с. 24-25.
20. Способ термической обработки древесины // 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 rus 2453425 18.01.2011.
21. Математическая модель процесса термомодифицирования древесины труднопропитываемых пород в жидкости // Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р. // Вестник казанского технологического университета. 2011. № 16. с. 233-239.
22. Оптимизация процесса фрезерования на станках с чпу // Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. Деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 3. С. 15-17.

– к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **А.Х. Сафиуллина** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **П.М. Мазуркин** – д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Природообустройства», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет».

УДК 674.04

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СМАЧИВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

В.Е. Пузаков, Р.Р. Зиатдинов, А.Ф. Гараева, А.Л. Тимербаева

В статье рассмотрена целесообразность предварительной обработки древесины ультрафиолетовым излучением. Образцы двух пород древесины (сосна и бук) подверглись обработке ультрафиолетовым излучением в воздушной среде. После определенного периода воздействия источника излучения на древесину, смачиваемость и свободная поверхностная энергия обеих пород древесины значительно увеличилась. Предполагается, что УФ облучение-это процесс разрушения поверхностного слоя древесины.

Ключевые слова: УФ-активация, кислотно-щелочной подход, динамический угол смачивания.

The article discusses the feasibility of pre-treatment of wood by ultraviolet radiation. Samples of the two types of wood (pine and beech) were subjected to ultraviolet radiation treatment in air. After a period of exposure to the radiation source timber, wettability and surface free energy of both types of wood has increased significantly. It is assumed that the UV irradiation is the process of destruction of the surface layer of wood.

Keywords: UF-activation, acid-base approach, dynamic angle of wetting.

Введение

Поверхность древесины можно охарактеризовать как пористую, с различной плотностью и склонную к самостоятельному загрязнению (в связи с перемещением экстрактивных веществ к поверхности), большей частью гидрофильную, гигроскопичную и анизотропную [1]. Обычно при одинаковых способах механической обработки и условиях окружающей среды, поверхность различных пород древесины демонстрирует различные химические и физические показатели, которые приводят к изменению адгезионных свойств и характеристик поверхности. В работах [2-6] было доказано, что смачиваемость древесины усиливается с увеличением шероховатости поверхности. Поверхность твердых тел никогда не бывает идеально гладкой, а покрыта многочисленными неровностями различной формы. Размеры неровностей изменяются в очень широких пределах – от нескольких межатомных расстояний до десятков микрон, а в отдельных случаях – до нескольких миллиметров [7]. Liptakova E. и Kudela J. продемонстрировали, что механическая обработка древесины приводит к изменениям в

морфологии и химии поверхности древесины [8]. Установлено, что поверхностная обработка древесины бука приводит к сжатию и пластификации клеточной стенки, что в свою очередь приводит к уменьшению свободной поверхностной энергии. При шлифовании той же поверхности происходит отделение волокон и увеличение свободной энергии. Marian J. E. показал максимальный предел прочности при сдвиге склеенных соединений как функцию шероховатости поверхности. Он объяснил, что снижение прочности и увеличение пористости поверхности древесины при механической обработке приводит к снижению производительности. Несколько лет спустя, Richter K. и соавт. [9] сообщили об усилении прочности клеевых соединений с увеличением шероховатости поверхности [10-11]. В общем, объяснение шероховатости поверхности достаточно сложный процесс, учитывая, что термодинамическое условие равновесия, описанное уравнением Юнга, не будет выполнено [12] из-за того, что шероховатость влияет на угол смачивания [13].

В течение короткого периода времени свежее обработанные деревянные поверхности проходят преобразование, так называемое

поверхностное инактивирование, явление, которое изучалось в течение многих лет [14-16]. Основным фактором, способствующим изменению свойств поверхности древесины, является перемещение низкомолекулярных экстрактивных веществ к ее поверхности. Инактивированная поверхность древесины слабо связывается с клеящими составами из-за физических и химических модификаций поверхности, которые приводят к снижению способности клеящего состава глубоко проникать и впитываться в древесину [17]. Кроме того, древесина деформируется на значительную глубину в процессе механической обработки, и на поверхности формируется граничный слой. Этот химически и механически слабый слой, может препятствовать пропитке или покрытию данного древесного материала различными клеящими и пропитывающими составами [18]. Кроме того, некоторые измельченные древесные волокна могут не вступить в контакт с клеящим (пропитывающим) составом из-за высокой степени поверхностной энергии [19]. Чтобы получить хорошую адгезию между древесиной и клеящим составом, обе фазы должны быть в тесном контакте на молекулярном уровне [20].

На данный момент определены 4 критерия формирования сильной адгезионной связи между материалами:

1. Удаление слабого пограничного слоя;
2. Хорошее смачивание клеящей жидкостью;
3. Затвердевание клеевой жидкости;
4. Достаточная деформативность (для уменьшения влияния упругих напряжений в формировании соединения).

Наиболее распространенными методами удаления слабого пограничного слоя являются процессы шлифования и строгания, с последующим удалением древесной пыли с поверхности. Теория слабого пограничного слоя объясняет потерю прочной адгезионной связи в промежуточном молекулярном слое между поверхностью древесины и клеящей жидкостью (вызванную присутствием экстрактов, древесной пыли, более низких частиц молекулярной массы на поверхности) [21]. В производстве материалов на основе полимеров, метод УФ облучения используется для отверждения или устранения дефектов различных облицовочных материалов. Однако, полученные результаты и понимание процесса УФ-активации в целом еще не полное. Точное описание изменения химического состава поверхности древесины

под воздействием УФ излучения все равно не достаточно для применения в производстве синтетических и биологических полимеров. Как и другие методы активации, УФ излучение ускоряет процесс поверхностного окисления, что приводит к введению функциональной (карбоксильной) группы и способствует повышению смачиваемости и увеличению свободной поверхностной энергии. Каждый из химических компонентов древесины (лигнин, целлюлоза, гемицеллюлоза или экстрактивные вещества) чувствителен к ультрафиолетовому излучению. Из них лигнин из-за фенольной природы его молекулярного строения, окисляется и разлагается очень быстро под воздействием УФ-излучения. Древесина, как гетерогенный и пористый материал, является более сложным и, следовательно, более трудно активируемым под воздействием УФ излучения, чем материалы на основе полимеров [22-23]. В исследовании, представленном ниже, мы оцениваем возможность воздействия ультрафиолета для активации образцов радиального и тангенциального разреза двух различных пород древесины.

Материалы и методы

Образцы (100×8×5 мм) двух пород древесины, сосны и бука, подверглись воздействию ультрафиолетового излучения при 20°C и 40% относительной влажности воздуха. Сосна была выбрана, так как известно, что это одна из самых широко применяемых в промышленности пород хвойной древесины в Республике Татарстан. С другой стороны бук был выбран за его гидрофобные свойства, которые снижают способность к пропитке и склеиванию, таким образом ограничивая промышленное применение данной породы древесины. Для того чтобы учитывать химические и структурные изменения между различно ориентированными поверхностями древесины, были исследованы смачивающие и адгезионные свойства обеих поверхностей. Проверку смачивающих свойств поверхности различными жидкостями проводили на поздней древесине, но для очень узких участков поздней древесины не было возможности избежать движения жидкости и контакта ее с ранней древесиной. Все краевые углы смачивания были измерены вдоль направления волокон.

Процесс шлифования влечет за собой разрыв волокон древесины и других клеточных элементов, в результате механического

воздействия. Вкупе с древесной пылью эти поврежденные элементы вдавливаются в поры, что может привести к снижению шероховатости. С другой стороны, поврежденные волокна набухают, что приводит к увеличению шероховатости поверхности.

Все древесные поверхности были отшлифованы наждачной бумагой с размером зерна 400 мкм. Во время процесса шлифования происходит образование крошечных древесных частиц, которые трудно удалить с поверхности [11]. В большинстве случаев они остаются на поверхности и препятствуют пропитке и проникновению клея в древесину [10]. Поэтому, после шлифовки поверхности образцов были очищены с помощью потока воздуха под высоким давлением, а также помещены в климатическую камеру при температуре 20 °C и относительной влажности воздуха 65 % и доведены до равновесной влажности 12 %.

Для УФ-обработки использовалась ртутная газоразрядная лампа с колбой из кварцевого стекла. Измерения проводились при расположении лампы от поверхности древесины на расстоянии 11 см, интенсивность падающего излучения составляла 200-400 Нм, а поверхность плотности теплового потока составила 346 Вт/м². Общее облучение (Дж/см²) было рассчитано как произведение мощности источника излучения на время обработки (табл. 1).

После УФ-обработки образцы снова доведены до равновесной влажности и погружены в дистиллированную воду, после чего выявлены изменения в смачиваемости модифицированных образцов, которые отображены на рис. 1.

Таблица 1 – Время обработки и общее облучение (Дж/см²)

Время обработки (мин)	0.5	1.0	5.0	15	30	60	90	120	150	180
Общее облучение (Дж/см ²)	1.0	2.1	10.4	32	62	125	187	249	311	375

Свободная поверхностная энергия твердых материалов не может быть измерена непосредственно, она рассчитывается на основе краевого угла смачивания поверхности различными жидкостями. Основная задача при анализе свободной энергии поверхности – правильно подобрать тестовые жидкости и

Эффекты воздействия УФ облучения на изменение химической структуры поверхности древесины были проверены с использованием дисперсионных и полярных составляющих свободной энергии поверхности.

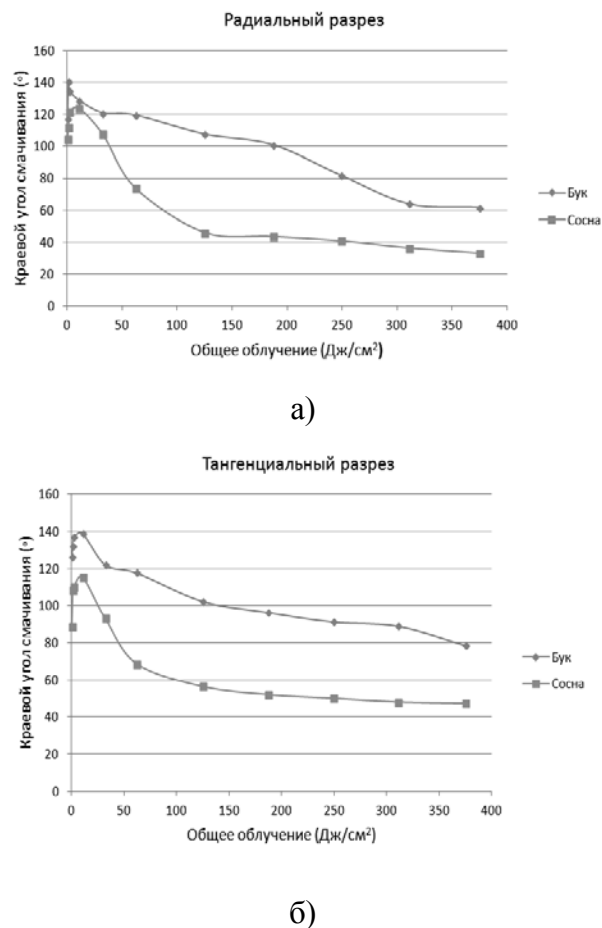


Рис. 1. Изменение краевого угла смачивания воды с образцами (а) радиального и (б) тангенциального разрезов древесины сосны и бука в зависимости от общего УФ-облучения

метод расчета, чтобы получить максимально достоверные результаты.

Оусс и Гуд выделяли дисперсионную и полярную составляющие свободной энергии поверхности, но полярный компонент описывали с помощью льюисовых кислот и оснований. Таким образом, у них получалась трехкомпонентная модель: дисперсионная,

кислотная и щелочная составляющие. Кислотная составляющая характеризует склонность поверхности при участии во взаимодействиях выступать в качестве донора электронов, а щелочная составляющая – в качестве акцептора электронов. Для того, чтобы решить уравнение Оусса и Гуда необходимы данные по поверхностному натяжению, как минимум, по трем жидкостям и краевой угол смачивания. Как минимум две жидкости (Формамид, Дийодметан) должны иметь кислотную и основную составляющие отличные от нуля. Кроме того, хотя бы одна жидкость должна иметь равные основные и дисперсные составляющие, обычно для этих целей используют воду, т.к. она нейтральна по шкале Льюиса.

Если использовать правильное сочетание жидкостей, кислотно-основной подход предоставляет максимальное количество информации о химическом составе, давая представления о склонности поверхности выступать в качестве донора или акцептора электронов, которые особенно ценны для химически разнородных материалов, таких как древесина, содержащих целлюлозу, лигнин, гемицеллюлозу и множество экстрактивных веществ (содержание которых в основном и влияет на изменение кислотных и основных компонентов γ_s).

Согласно кислотно-основному подходу van Oss C. J. с коллегами, наилучшее адгезионное взаимодействие достигается, когда один из соединяемых материалов обладает кислотными свойствами, а другой основными. Взаимодействие через межфазную границу осуществляется между кислотными центрами одной фазы и основными центрами другой и наоборот.

По словам vanOss-Good-Chaudhury (vOGC) кислотно-основной подход подразумевает что, полная свободная поверхностная энергия (γ_i), тела (или поверхностное натяжение жидкости) разделена на дисперсный (неполярный) компонент (γ_i^{LW}) и кислотный/основной, или полярный, компонент (γ_i^{AB}) (уравнение 1).

$$\gamma_i = \gamma_i^{LW} + \gamma_i^{AB} = \gamma_i^{LW} + 2\sqrt{\gamma_i^+ \gamma_i^-}, \frac{мДж}{м^2} \quad (1)$$

Как замечено в уравнении (1), основной/кислотный компонент далее разделен на кислотный (γ_i^-) (акцептор электронов) и

основной (γ_i^+) (электронный донор) компонент. Кислотно-основная теория требует знания показателей поверхностного натяжения испытательных жидкостей (угла смачивания для этих жидкостей). Полное поверхностное натяжение (γ_L) было определено, используя динамический угол контакта, который, вместе с наступающим углом смачивания испытательных жидкостей на твердом парафине, позволил вычислять дисперсный (γ_L^{LW}) и полярный (γ_L^{AB}) компоненты поверхностного натяжения. Поскольку результаты измерений поверхностного натяжения испытательных жидкостей соответствовали литературным данным, значения для кислотных (γ_L^+) и основных (γ_L^-), компонентов были взяты из литературы. Из-за пористости и разнородности древесины, угол равновесия не может достигаться, а отступающий краевой угол достигается очень редко, таким образом, наступающие углы смачивания были определены с использованием метода лежащей капли с применением устройства измерения краевого угла «Digidrop» от GBX Co., Франция. Для этого жидкость постоянно пополнялась каплями при помощи шприца. Во время измерения, кончик шприца остается в центре капли. Преимущество измерения наступающего угла смачивания состоит в том, что во время движения капельки новая область поверхности всегда смочена и поэтому измеренный краевой угол смачивания является постоянным и может использоваться для вычисления поверхностной свободной энергии древесины. Система анализа рассчитывает контур капли из изображения, снятого с помощью видеокамеры. Для расчета поверхностной свободной энергии использовалось среднее значение более чем 60 измеренных углов контакта для каждой комбинации поверхность древесины испытательная жидкость.

Дополнительные подробности определения наступающего контактного угла и расчета поверхностной свободной энергии с использованием кислотно-щелочного подхода приведены в данной работе. Так как в этой работе был сделан упор на оценку целесообразности УФ облучения, как предварительной обработки для активации поверхности древесины, все измеренные углы контакта находятся без какой-либо правки относительно шероховатости, гетерогенности или пористости древесины.

Результаты и обсуждение

Результаты изменения краевого угла смачивания дистиллированной водой на необработанной и модифицированной УФ деревянных поверхностей показаны на рис. 1. Увеличение угла смачивания существенно для всех исследованных поверхностей и связано со временем обработки и поглощенным УФ-излучением. При полном ультрафиолетовом облучении 62 Дж/см^2 краевой угол смачивания уменьшается в среднем на 36 % на образце древесины сосны радиального разреза. При полном облучении 375 Дж/см^2 краевой угол смачивания составляет примерно 35 % от изначального уровня, что отображено на рис. 2. Максимальная смачиваемость образцов с радиальным разрезом древесины сосны достигается через 1,5 часа УФ обработки (то есть 187 Дж/см^2), в то время как образцы с радиальным разрезом древесины бука достигают того же улучшения смачиваемости спустя 2,5 часа обработки (то есть, 311 Дж/см^2) вследствие более высокой плотности, что отображено на рис. 2, 4. Тангенциальные поверхности древесины обоих пород, показали схожие результаты модификации с радиальными плоскостями.

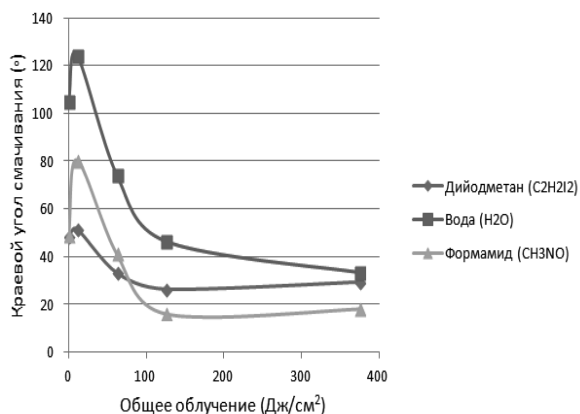


Рис. 2. Изменение краевого угла смачивания жидкостей с образцом радиального разреза древесины сосны в зависимости от общего УФ-облучения

Поскольку измерение угла смачивания дистиллированной водой радиального и тангенциального разреза обеих пород древесины показали такую же тенденцию, предполагается, что изменение свободной поверхностной энергии также должно следовать аналогичным результатам. Таким образом, свободная потенциальная энергия тангенциального разреза древесины была установлена только для

необработанных образцов и образцов, обработанных 375 Дж/см^2 от общего облучающего воздействия. Для образца радиального разреза древесины сосны испытательные жидкости показали большое снижение угла смачиваемости (в 3 раза, рис. 2, 4), в то время, как измерение углов смачивания образцов тангенциального разреза древесины сосны, а также на обеих поверхностях древесины бука было снижено лишь на 50 % (рис. 3, 5).

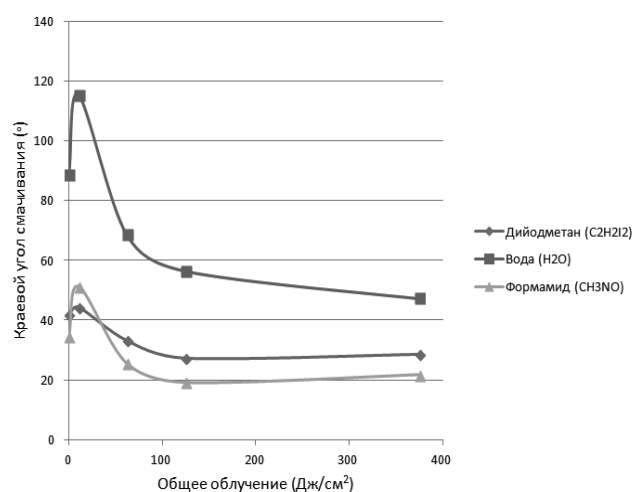


Рис. 3. Изменение краевого угла смачивания жидкостей с образцом тангенциального разреза древесины сосны в зависимости от общего УФ-облучения

Согласно кислотно-щелочной теории, полярные группы твердой фазы взаимодействуют только с полярными группами жидкости.

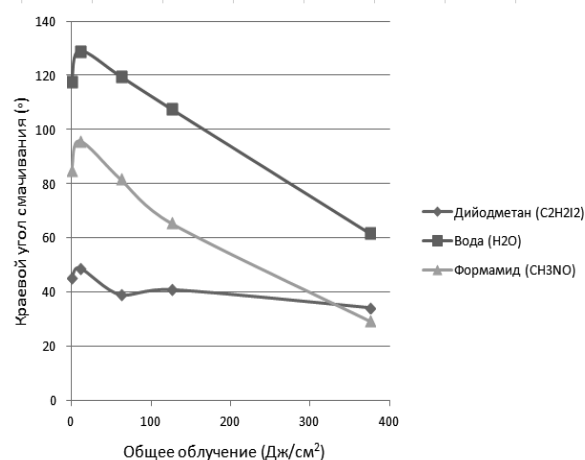


Рис. 4. Изменение краевого угла смачивания жидкостей с образцом радиального разреза древесины бука в зависимости от общего УФ-облучения

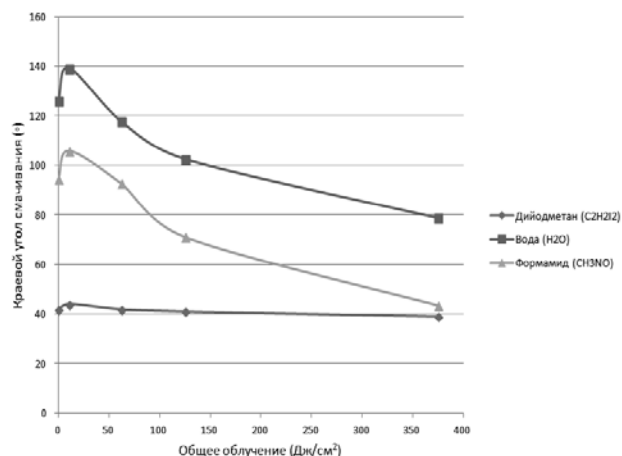


Рис. 5. Изменение краевого угла смачивания жидкостей с образцом тангенциального разреза древесины бука в зависимости от общего УФ-облучения

Таким образом, уменьшение угла смачивания с полярными жидкостями (вода и формамид) на модифицированных ультрафиолетом образцах является явным признаком увеличения полярной свободной поверхностной энергии.

С увеличением времени облучения поверхностей значительно возрастет свободная поверхностная энергия. При энергии излучения 375 Дж/см² общая поверхностная свободная энергия образца радиального разреза древесины сосны увеличилась более чем на 50 %, а поверхностная свободная энергия радиального разреза образца древесины бука примерно на 30 %. Различия в поверхностной свободной энергии тангенциальных и радиальных разрезов происходят, предположительно, по причине незащищенности межклеточного вещества при радиальном разрезе с высоким содержанием лигнина.

Сообщалось, что чем выше базовый компонент (γ_s) обрабатываемой поверхности древесины, тем лучше адгезионные свойства материала. В таблице 2 приведены кислотные и базовые компоненты поверхностной свободной энергии сосны и бука. Вследствие УФ обработки, на поверхности древесины сосны кардинальным образом усиливаются основные свойства. Это было в некоторой степени подтверждено для древесины бука.

Таблица 2 – Влияние облучения на полную поверхностную энергию древесины

	Свободная поверхностная энергия МДж/м²	Общее облучение (Дж/см²)				
		0	10	62	125	375
Сосна						
Радиальный	Total γ_s	35.1	33.3	46.5	55.3	55.6
	γ_s^d	35.1	33.3	42.9	45.7	44.5
	γ_s^p	0.0	0.0	3.7	9.6	11.1
	γ_s^+	0.0	0.0	1.5	2.3	2.1
	γ_s^-	0.0	0.0	2.2	9.8	14.9
Тангенциальный	Total γ_s	39.7		—	—	53.9
	γ_s^d	38.7	—	—	—	44.8
	γ_s^p	1.0	—	—	—	9.1
	γ_s^+	3.7	—	—	—	2.1
	γ_s^-	0.1	—	—	—	9.8
Бук						
	Total γ_s	36.9	34.9	40.2	39.1	49.4
	γ_s^d	36.9	34.9	40.2	39.1	42.4
	γ_s^p	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
	γ_s^+	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
	γ_s^-	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2
Тангенциальный	Total γ_s	38.6	—	—	—	43.1
	γ_s^d	38.6	—	—	—	39.6
	γ_s^p	0.0	—	—	—	3.5
	γ_s^+	0.0	—	—	—	2.2
	γ_s^-	0.0	—	—	—	1.4

Ноп и соавт. сообщили, что УФ-излучение может, вследствие разрушения остатков клеточных стенок, раскрывать поры, которые позволяют пропитывающим и клеящим составам глубже проникнуть в поверхность древесины и, следовательно, усилить адгезию. На рис. 2 показано сравнение образцов радиального разреза еловой древесины необработанной и подверженной УФ-обработке. На всех исследованных образцах УФ-излучение способствует очистке поверхности от мелкой пыли, оставшейся после обработки сжатым воздухом. Как процесс удаления загрязнений с поверхности, УФ-излучение является эффективным методом для получения чистой поверхности путем устранения микрослоев. Процесс очистки начинается с получения озона, образующегося в процессе облучения атмосферного кислорода светом с длиной волны 254 нм. Очистка происходит, когда озон и кислород окисляют загрязнители (т.е. пыль, экстрактивные вещества и лигнин). Особенно ясно этот эффект был замечен для образцов древесины сосны с радиальным разрезом. Остатки разрушенных клеточных стенок на поверхности древесины были полностью удалены в процессе обработки УФ-излучением. (рис. 6).

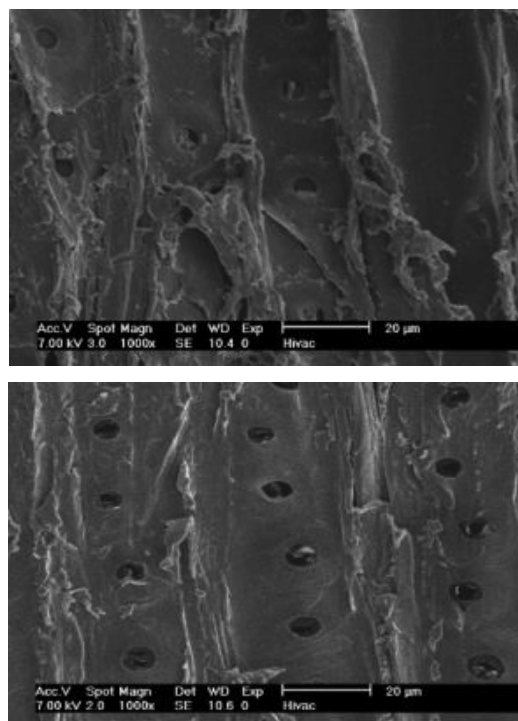


Рис. 6. Поверхность не модифицированной древесины сосны с закрытыми порами (а), поверхность древесины сосны обработанная суммарным излучением 375 Дж/см² (б) с открытым доступом к порам

С учетом того, что в деревообрабатывающей промышленности УФ-облучение обычно используется для отверждения систем покрытий и УФ-источник, в основном, существует в производственной линии, представляется целесообразным интегрировать УФ-модификацию в процессы финишной обработки. В отличие от других методов активации УФ модификация подходит для контроля производственного процесса в реальном времени. Модификация поверхности с помощью УФ-излучения является экологически чистым процессом и выделяет очень низкие уровни озона в замкнутом пространстве. В противоположность этому, обработка открытым пламенем и плазменные методы воздействия имеют серьезные ограничения в модификации сложных геометрических фигур, в то время как УФ-излучение обладает отличным потенциалом для обработки различных 3D объектов.

Заключение

Воздействие УФ-излучения является простым и эффективным способом улучшения смачиваемости поверхности древесины. Для того, чтобы достичь полного светового воздействия, при котором смачиваемость значительно возрастает (то есть, 311 Дж/см²), процесс УФ-активации должен быть оптимизирован, что возможно путем изменения расстояния между УФ-лампой и обрабатываемой поверхностью, или используя лампу с более высокой интенсивностью излучения.

При определенной интенсивности УФ-излучения поверхностная свободная энергия (γ_s), особенно ее базовый компонент (γ_s^-), древесины значительно возрастает, что указывает на хорошие свойства поверхности активированного материала. Сделан вывод о том, что УФ-облучение обеспечивает очистку поверхности древесины, открытие пор (сосна), изменение в строении поверхности, а также в определенной степени изменению поверхностного химического состава.

Литература

1. R. Nussbaum, Surface investigation of wood with adhesives and coatings, PhD Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm (2001).
2. E. Liptakova, J. Kudela, Z. Basti and I. Spirovova, *Holzforschung* 49, 369–375 (1995).
3. D. Ma, W. E. Johns, A. K. Dunker and A. E. Bayoumi, *J. Adhesion Sci. Technol.* 4, 411–429 (1990).

4. J. E. Marian and D. A. Stumbo, *Holzforschung* 16, 134–148 (1962).
5. J. E. Marian, *Holzforschung* 20, 91–101 (1966).
6. P. Triboulot, C. Sales, A. Zerizer and P. Martin, *Holzforschung* 49, 465–470 (1995).
7. J. E. Marian and D. A. Stumbo, *Holzforschung* 16, 168–180 (1962).
8. E. Liptakova and J. Kudela, *Holzforschung* 48, 139–144 (1994).
9. K. Richter, W. C. Feist and M. T. Knaebe, *Forest Products J.* 45, 91–97 (1995).
10. M. Gindl, Effects of surface free energy on the coating properties of wood, PhD Thesis, University of Agricultural Sciences, Vienna (2002).
11. G. Sinn, M. Gindl, A. Reiterer and S. Stanzl-Tschegg, *Holzforschung* 58, 246–251 (2004).
12. M. de Meijer and H. Militz, *Prog. Organic Coatings* 38, 223–240 (2000).
13. C. Della Volpe, A. Penati, R. Peruzzi, S. Siboni, L. Toniolo and C. Colombo, *J. Adhesion Sci. Technol.* 14, 273–299 (2000).
14. C.-M. Chen, *Forest Products J.* 20, 36–41 (1970).
15. G. E. Troughton and S.-Z. Chow, *Wood Sci.* 3, 129–133 (1971).
16. D. J. Gardner and T. J. Elder, *Wood Fiber Sci.* 20, 378–375 (1988).
17. J. Nylund, K. Sundberg, Q. Shen and J. B. Rosenholm, *Colloids Surfaces A* 133, 261–268 (1998).
18. Изготовление высокопрочных биологически разлагаемых композиционных пленок на основе поливинилового спирта, золы и глутарового альдегида // Ахунова Л.В., Корнилова М.В., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 4. С. 53–59.
19. Влияние высокотемпературной обработки на химический состав древесного наполнителя // Сафин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 1. С. 50–55.
20. Перспективное направление в области упаковки // Гараева А.Ф., Сафин Р.Р. 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.
21. Термодревесина как материал для дизайнеров // Шайхутдинова А.Р., Гараева А.Ф., Разумов Е.Ю. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 2. С. 21–26.
22. Исследование механических характеристик биоразлагаемого композита на основе древесного наполнителя // Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 2. С. 41–45.
23. Оптимизация процесса фрезерования на станках с ЧПУ // Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 3. С. 15–17.

© **В.Е. Пузаков**. – магистр 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»; **А.Ф. Гараева** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», chebesh@bk.ru; **А.Л. Тимербаева** – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

УДК 747.023.9

РАЗРАБОТКА ЭЛАСТИЧНОГО ДРЕВЕСНО-НАПОЛНЕННОГО НАПОЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ НА СИЛИКОНОВОМ СВЯЗУЮЩЕМ

Н.Р. Галяветдинов, Л.В. Ахунова, Р.Т. Хасаншина

Исследована возможность применения силиконового связующего в производстве эластичных напольных покрытий как альтернатива для резины, как в виде чистого силиконового покрытия, так и с добавлением измельченных древесных отходов в виде муки и древесных опилок. В ходе исследований были получены экспериментальные образцы, которые впоследствии были исследованы на влагостойкость, на эластичность, а также на плотность в зависимости от содержания древесного наполнителя. Выявлено, что применение силикона в качестве основного сырья для производства напольных покрытий позволяет получить эластичные напольные покрытия хорошего качества с высокими эстетическими, эксплуатационными и экологическими свойствами.

Ключевые слова: композиционный материал, древесина, силикон, напольные покрытия.

Possibility of application silicone binding in production of elastic floor coverings as alternative of rubber, both in the form of a pure silicone covering, and with addition of the crushed wood waste in the form of flour and wood sawdust is investigated. During researches experimental samples which were investigated on moisture resistance, on elasticity subsequently, and also on density depending on the maintenance of a wood filler were received. It is revealed that use of silicone as the main raw materials for production of floor coverings allows to receive elastic floor coverings of high quality with high esthetic, operational and ecological properties.

Key words: composite material, wood, silicone, floor coverings.

Введение

Сегодня трудно представить современные спортивные площадки без качественных спортивных покрытий. При этом в последнее время возрастает и интерес к спорту, что вызывает увеличение количества различных спортивных сооружений и, соответственно, появление новых технологий и материалов для их строительства. Поэтому все большую популярность в последнее время приобретают напольные резиновые покрытия, использующиеся как в открытых условиях, так и в закрытых помещениях. Покрытия из резиновой крошки занимают одно из лидирующих мест: их можно встретить на многих детских и спортивных площадках, в том числе и около бассейнов, так как эксплуатационные характеристики позволяют заливать каток на данном покрытии в зимний период. Они имеют высокие эксплуатационные характеристики, довольно удобны в использовании. Одновременно, такое покрытие устойчиво к влаге и сохраняет эластичность на протяжении всего срока службы, легко и быстро ремонтируется и не создает электростатического напряжения. Примеры подобных напольных покрытий приведены на рис.1.

Однако резиновые напольные покрытия могут быть выполнены различными способами,

а также из различных материалов. Основой для них является резиновая крошка, которая производится специально для включения в напольное покрытие. В этом случае себестоимость самой крошки, и покрытия, которое из нее произведут, будет выше нежели в случае использования вторсырья – отработанных резиновых шин и покрышек, что встречается довольно часто.

С точки зрения выгоды для окружающей среды безусловно второй вариант предпочтительнее, поскольку продлевает жизнь уже произведенной и изношенной резины. Однако использовать такое резиновое покрытие в качестве напольного в спортивных и, тем более, в детских залах не рекомендуется, поскольку в качестве связующего состава в подобное покрытие производственного назначения включают полиуретаны.

При нагревании полиуретановые смолы могут выделять в воздух неприятный запах, источником которого являются пары входящего в их состав фенола, что весьма негативным образом отражается на здоровье вдыхающих эти пары людей. Кроме того, такие напольные покрытия имеют неэстетичный внешний вид, не дают возможность подойти к вопросу с

дизайнерской точки зрения, поскольку кроме черного цвета не позволяют получать покрытия других цветов и текстур, (кроме добавления в структуру измельченной резины цветных пигментов, что также естественно удорожает конечный продукт).

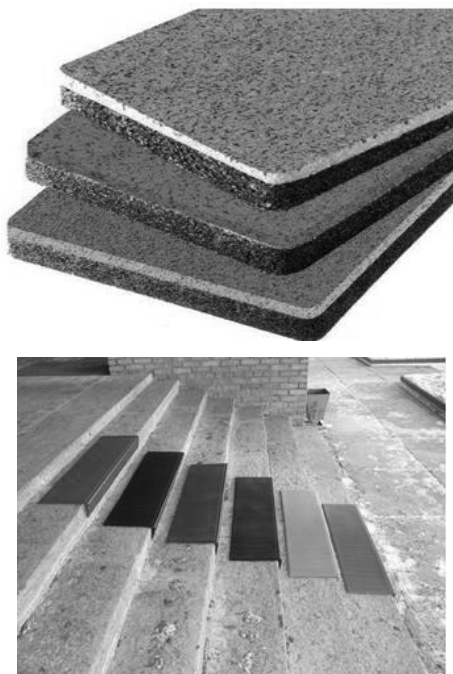


Рис. 1. Виды напольных покрытий из резины и резиновых крошек

Еще одним из вариантов удешевления материала без ущерба здоровью человека и окружающей среде является применение в качестве наполнителя древесных отходов. На рис 2. представлены образцы материала, полученные путем смешения древесных отходов с каучуком. Как можно видеть из рисунка, цвет получаемого композита получается черным, а текстура древесины полностью закрытой.



Рис. 2. Образцы композитов, полученные с применением связующего – резины

Учитывая все недостатки известных на сегодняшний день технологий производства эластичных материалов, в качестве

альтернативного варианта для изготовления напольных покрытий для детских и спортзалов предлагается использование силикона с добавлением древесных отходов в виде измельченной древесной муки или опилок [1-5].

Материалы

Силикон, как известно, не содержит фенол и при этом, значительно «мягче» синтетических аналогов. Однако использование чистый силикона приводит к серьезному удорожанию напольного покрытия. Поэтому наполнение силикона измельченной древесиной позволяет значительно снизить себестоимость изготавливаемого из такого материала напольного покрытия. При этом одновременно появляется возможность изменения внешнего вида и цвета получаемого композиционного материала, который можно достичь путем предварительной окраски древесного наполнителя. Таким образом, используя сочетание различных текстур и цвета возможно получение напольных покрытий различного рода: от естественного цвета древесины до цветных полупрозрачных и полностью залитых (рис. 3).



Рис. 3. Варианты исполнения напольных покрытий

Еще один критерий выбора силикона в качестве связующего обусловлен его экологичностью при воздействии любых температур и внешних факторов. Кроме того,

как уже было отмечено, добавление к прозрачному силикону древесных отходов в качестве наполнителя позволит значительно уменьшить расход силикона, так как с ростом экономической конкуренции и экологического давления на предприятия, еще и растет потребность в разработке более эффективных и недорогих наполнителей и связующих для производства композиционных материалов. Причем данные требования распространяются практически на все композиционные материалы, получаемые из древесных наполнителей, в том числе и на напольные покрытия.

Именно, отходы лесозаготовительного и деревообрабатывающего производств, такие как щепа, стружка и древесная мука – это древесноволокнистые материалы, имеющие преимущества с точки зрения низкой стоимости, что делает их благоприятным, безопасным и дешевым наполнителем для производства полимерных композиционных материалов на их основе, обладающих приятным эстетическим внешним видом. Кроме того, получение полимерных композитов с целлюлозными волокнами может не только улучшить их физико-механические свойства, а также способствует дальнейшему их естественному биологическому разложению после истечения срока эксплуатации изделия [6-12].

Для проведения исследований композиционных материалов, изготовленных по предложенной технологии, было получено несколько экспериментальных образцов с разной степенью содержания древесного наполнителя: 10 %, 20 %, 30 %, 50 %-ным содержанием, а также контрольный образец из чистого силикона. В ходе предварительных исследований было обнаружено, что скорость отверждения композита непосредственно связана с начальной влажностью наполнителя, поэтому древесный наполнитель предварительно высушивался [13-18].



Рис. 4. Образцы композита, полученные с использованием связующего – силикона

Были получены различные варианты образцов: как с добавлением древесной муки, так и с добавлением более крупных древесных отходов – опилок и стружек, причем, как видно из рис. 4, в зависимости от этого изменяется их внешний вид. Далее полученные образцы были выдержаны в течение 24 часов для окончательного затвердевания [19-23].

Результаты

После подготовки образцы были подвергнуты исследованиям на водопоглощение и прочностные характеристики. Для определения водопоглощения образцы выдерживались в воде комнатной температуры при периодическом замере их массы. Данные по поглощению воды были получены при шести повторных измерениях для каждого образца. График зависимости водопоглощения композитов от количества наполнителя представлен на рис. 5. Кривые показывают логарифмическое линейное увеличение показателей водопоглощения с течением времени. Основные механические свойства полученных образцов представлены в таблице 1.

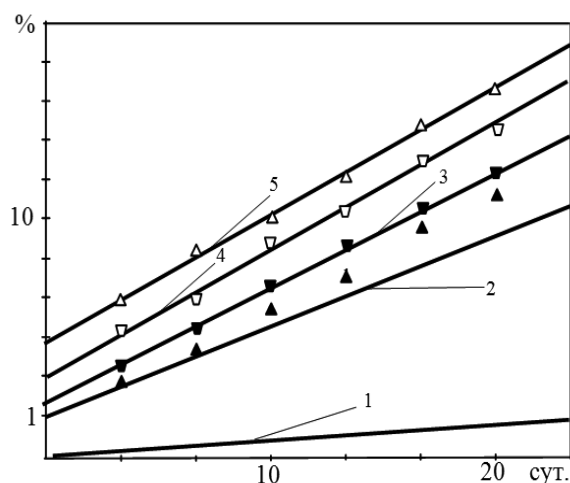


Рис. 5. Влияние содержания древесной муки на водопоглощение композитов:
1 – композит без наполнителя;
2 – с 10% содержанием наполнителя;
3 – 20%; 4 – 30%; 5 – 50%

Таблица 1 – Механические свойства образцов композита

№ образца	Предел прочности, МПа	σ (100%), МПа	σ (300%), МПа	σ (500%), МПа	Относ. удлинение при разрыве, %	Прочность на разрыв, кН·м	Прочность на сдвиг, Н/м
	18,60	0,88	2,45	8,55	593,50	34,50	43,00
	21,45	1,25	2,70	8,35	655,00	35,00	48,00
	18,78	1,70	3,82	13,05	567,50	35,70	54,00
	14,90	1,65	3,00	7,35	647,50	34,00	57,00
	9,50	2,25	3,90	9,00	523,00	31,30	68,00

Снижение плотности композита с увеличением количества добавляемого в него древесного наполнителя показано на кривой рис. 6. Из графика можно сделать вывод, что плотность композита полученного с добавлением в него 60 % наполнителя снижается примерно в 2 раза по сравнению с плотностью чистого силикона.

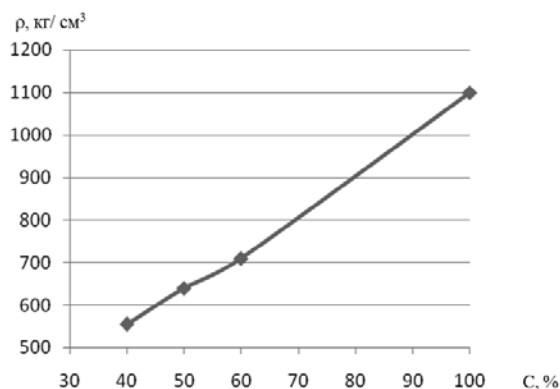


Рис. 6. Влияние содержания силикона на плотность получаемого композита

Таким образом, в результате проведенной работы можно сделать вывод, что применение силикона в качестве связующего и измельченных древесных отходов в качестве наполнителя позволяет получить эластичные экологически чистые напольные покрытия с высокими эстетическими и эксплуатационными свойствами.

Литература

1. Сафин, Р.Р. Усовершенствование технологии производства травмобезопасных покрытий на основе резиновых крошек / Р.Р. Сафин, Н.Р. Галяветдинов // Вестник КГТУ. – 2014. Т17. №9 – С.133-135.
2. Сафин Р.Р. Способ изготовления древесно-наполненного композиционного материала / Р.Р. Сафин, Н.Р. Галяветдинов и др. // Патент РФ на изобретение № 2453426.
3. Хасаншин, Р.Р. Исследование изменения химического состава древесины, подвергнутой термомодифицированию, с помощью ИК-спектрометра / Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин. // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2010, №9.
4. Галяветдинов, Н.Р. Усовершенствование технологии изготовления древесно-наполненных композиционных материалов / Н.Р. Галяветдинов // Деревообрабатывающая промышленность. 2012. – №1. – С. 25-27.
5. Мухаметзянов, Ш.Р. Сушка и термовлажностная обработка крупномерной древесины / Ш.Р. Мухаметзянов, Р.Р. Хасаншин // Вестник Казанского государственного технологического университета. Казань. - 2013. №22. - С. 72-73.
6. Сафин, Р.Р. Энергосберегающая установка для сушки и термической обработки древесины / Р.Р. Сафин, Е.Ю. Р; Н.А. Оладышкина // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2010. - №9. – С.542-546.
7. Сафин, Р.Р. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов, созданных на основе термически модифицированной древесины / Р.Р. Сафин, Р.В. Данилова, Р.Р. Хасаншин // Вестник Казанского государственного технологического университета. Казань. - 2012. - Т15. №7. - С. 64-66.
8. Разумов, Е.Ю. Тепломассоперенос внутри древесины в процессе ее термического модифицирования / Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин // Вестник Казанского государственного технологического университета. Казань. - 2012. - №15. - С. 137-142.

9. Сафин, Р.Р. Разработка технологии создания влагостойкой фанеры / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин и др. // Вестник Казанского государственного технологического университета. Казань. - 2012. - Т15. №20. - С. 64-65.
10. Сафин, Р.Р. Вакуумно-конвективное термомодифицирование древесины в среде перегретого пара / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, А.Р. Шайхутдинова // Вестник Казанского государственного технологического университета. Казань. - 2011. №6. - С. 93-99.
11. Галяветдинов, Н.Р. Усовершенствование технологии изготовления древесно-наполненных композиционных материалов на основе цементных вяжущих / Н.Р. Галяветдинов, В.А. Лашков, А.Н. Николаев // Вестник Казанского государственного технологического университета. Казань. - 2011. №20. - С. 112-115.
12. Исследование термомодифицирования древесины сосны в условиях вакуумно-кондуктивных аппаратов // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Д.А. // Дизайн и производство мебели. 2008. № 2. с. 36-39.
13. Способ сушки и термической обработки древесины // Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладышкина Н.А., Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А., Кузьмин И.А., Мазохин М.А., Шайхутдинова А.Р., Ахтямова Т.Н., Воронин А.Е. // патент на изобретение rus 2425305 04.03.2010
14. Обзор современных решений сотрудников ФГБОУ ВПО «КНИТУ» в области техники и технологии сушки пиломатериалов // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А. // Вестник казанского технологического университета. 2013. т. 16. № 23. с. 76-78.
15. Снижение расхода энергии на проведение процессов сушки древесины посредством вакуумно-конвективной технологии // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. // Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. с. 22-23.
16. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов // 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.
17. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды // Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. // Лесной Вестник. 2005. № 2. с. 168-173.
18. Усовершенствование технологии термомодифицирования древесины bikos-tmt // Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник казанского технологического университета. 2012. т. 15. № 13. с. 134-136.
19. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов вч-плазмой // Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 1. с. 24-25.
20. Способ термической обработки древесины // 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 rus 2453425 18.01.2011.
21. Математическая модель процесса термомодифицирования древесины труднопропитываемых пород в жидкости // Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р. // Вестник казанского технологического университета. 2011. № 16. с. 233-239.
22. Оптимизация процесса фрезерования на станках с чпу // Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. Деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 3. С. 15-17.
23. Применение древесного наполнителя и силиконового связующего в производстве эластичных напольных покрытий // Гараева А.Ф., Мухаметзянов Ш.Р. В сборнике: Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов сборник научных статей материалы международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2016. С. 243-246.

© **Н.Р. Галяветдинов** – к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», pour777@mail.ru; **Л.В. Лямина** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВПО Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет; **Р.Т. Хасаншина** – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет».

УДК 674.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПАНЕЛИ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ И ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

И.М. Галиев, Ф.В. Назипова

Описана технология изготовления теплоизоляционной панели методом коэкструзии, состоящая из поверхностного слоя на основе древесно-полимерных композитов и внутреннего слоя на основе пенополиуретана. Проведен анализ результатов исследований эксплуатационных свойств панели и определена зависимость твердости, коэффициента теплопроводности и влагопоглощения изделия от концентрации древесного наполнителя и типа полимерной матрицы используемого при формировании поверхностного слоя.

Ключевые слова: древесные отходы, пенополиуретан, теплоизоляционный материал, композит, коэкструзия.

The technology of manufacturing a heat-insulating panel by the co-extrusion method consisting of a surface layer based on wood-polymer composites and an inner layer based on polyurethane foam is described. The analysis of the results of studies of the operational properties of the panel is carried out and the dependence of hardness, thermal conductivity and moisture absorption of the product on the concentration of wood filler and the type of polymer matrix used in the formation of the surface layer is determined.

Keywords: wood waste, polyurethane foam, heat-insulating material, composite, coextrusion.

Введение

Наблюдающаяся повсеместно тенденция роста малоэтажного строительства стимулирует к интенсивной разработке новых строительных материалов. Требования рынка весьма жестки, изделия должны быть функциональными, с оптимальным набором физико-механических свойств, и с доступной ценой. Многие традиционные материалы уже не соответствуют требованиям строительной индустрии, и ввиду этого композиционные материалы выгодно отличаются от них. Преимущество композитов над конкурирующими материалами заключается в проявлении лучших свойств компонентов, входящих в их состав, запрашиваемых потребителем [1].

Учитывая, что в последние годы многие отрасли акцентируют внимание на переработку вторичных ресурсов, производство древесно-полимерных композитов (ДПК) является актуальным направлением, имеющим широкий потенциал создания и расширения ассортимента современных строительных материалов на основе древесных отходов, в том числе низкосортной древесины и термопластичных полимеров в роли матрицы [2]. Существующие технологии позволяют использовать в процессе производства ДПК вторичные полимеры, в мире такая практика применяется и довольно успешно, особенно в Китае. ДПК состоит из

полимерной матрицы, древесного наполнителя, модификаторов и комплекса технологических добавок, улучшающих технологические и эксплуатационные показатели готовой продукции, а также красителей придающих изделию необходимый цвет. Популярность ДПК обусловлена широким спектром применения и высокими эксплуатационными характеристиками изделий изготовленных на их основе, в частности теплоизоляционных материалов [3, 4, 5].

В этой связи интересным является разработанная теплоизоляционная панель, состоящая из поверхностного слоя на основе ДПК и внутреннего слоя на основе жесткого пенополиуретана (ППУ). ППУ получают в результате сложных реакций, основными компонентами, входящими в состав ППУ, необходимыми для образования и присоединения цепочек полимера, являются полиол и полиизоционат, также в состав входят полиэфиры, катализаторы, эмульгаторы и добавки [6-10]. Катализаторы регулируют реакцию образования полиуретана, его вспенивание и отверждение, эмульгаторы – поверхностно-активные вещества, позволяющие получить равномерную структуру ППУ, а в качестве добавок при изготовлении ППУ применяют, антипирены, повышающие его огнестойкость, и красители. В зависимости от вида используемого полиэфира, ППУ выпускают

жесткие – используемые в качестве тепло- и звукоизоляции легких формообразующих элементов, или эластичные – используемые в качестве мягких покрытий и набивки. Изменяя состав смеси можно получать ППУ с различными свойствами. Преимуществами ППУ являются отличная адгезия практически с любыми материалами, легкий вес, высокая акустическая и гидроизоляция. В качестве недостатков ППУ необходимо отметить нестойкость к действию ультрафиолета и ограниченность применения в местах с вероятностью чрезмерного нагревания поверхностей, которые устраняются в разработанной панели посредством наслоения поверхностного слоя на основе ДПК [11-15].

Методы и материалы

На рисунке 1 представлено схематическое изображение теплоизоляционной панели на основе ДПК и ППУ.

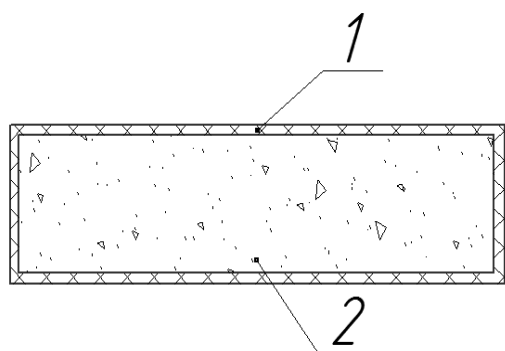


Рис. 1. Схематическое изображение теплоизоляционной панели: 1 – поверхностный слой панели на основе ДПК; 2 – внутренний слой панели на основе ППУ

При разработке изделия ставилась задача получения теплоизоляционной композиции с оптимальным комплексом эксплуатационных свойств и расширенными функциональными возможностями, позволяющие использовать ее не только в качестве теплоизоляционного, но и в качестве конструкционного материала, при сохранении экономического эффекта от производства.

Технология изготовления теплоизоляционной панели заключается в следующем. Наполнитель для поверхностного слоя в виде древесных частиц с влажностью не более 10 %, предварительно смешивают с термопластичным полимером, целевыми добавками и отправляют в загрузочное устройство экструдера, где и формируется

поверхностный слой изделия и одновременно с помощью вспенивающего оборудования в формирующую головку подается ППУ, который заполняет внутреннюю часть панели. Состав поверхностного слоя теплоизоляционной панели включает древесные частицы размерами 0,1-10 мм, термопластичный полимер, имеющий предел текучести расплава 3-10 г/10 мин, с температурой плавления не более 180 °С и целевые добавки (модификаторы, красители, экструзионные смазки и т.д.). Внутренний слой панели состоит из ППУ. Соотношение компонентов в изделии может варьироваться в зависимости от области использования. В результате совместного течения двух комбинированных расплавов на выходе образуется двухслойное изделие в виде панели. Наиболее подходящим способом производства является метод коэкструзии (рис. 2).

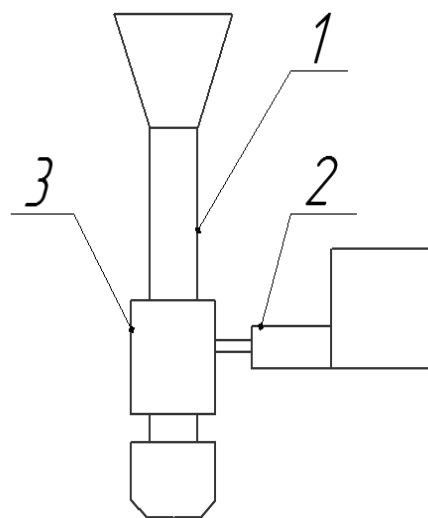


Рис. 2. Схема коэкструзионной установки: 1 – экструдер, формирующий поверхностный слой панели; 2 – вспенивающее оборудование; 3 – формирующая головка

Благодаря такому конструкционному строению поверхностный слой придает прочность изделию, а внутренний слой сохраняет теплоизоляционные характеристики материала, позволяя изготавливать панели невысокой плотности, что является положительным моментом при транспортировке.

Для лучшего понимания состава изделия в таблице 1 представлены некоторые примеры конкретного выполнения.

Таблица 1 – Примеры состава теплоизоляционной панели на основе ДПК и ППУ

№ примера	Соотношение компонентов (мас. %)			Внутренний слой
	Поверхностный слой			
1.	ПВХ (35)	древесная мука (55)	целевые добавки (10)	ППУ (100)
2.	ПП (40)	опилки (50)	целевые добавки (10)	
3.	ПЭ (25)	древесная мука (70)	целевые добавки (5)	
4.	ПЭТ(35)	опилки (60)	целевые добавки (5)	
5.	ПС (35)	древесная мука (60)	целевые добавки (5)	

Для изучения зависимости физико-механических свойств теплоизоляционной панели от типа полимерной матрицы и концентрации и древесного наполнителя были изготовлены опытные образцы и проведен ряд экспериментальных испытаний. При исследованиях в качестве наполнителя было принято решение использовать древесную муку марки 180.

Результаты и обсуждение

Твердость для строительных материалов является ценным эксплуатационным показателем. Проведенные исследования позволили установить зависимость между концентрацией древесной муки и типом полимерной матрицы, используемой при формировании поверхностного слоя панели (рис. 3).

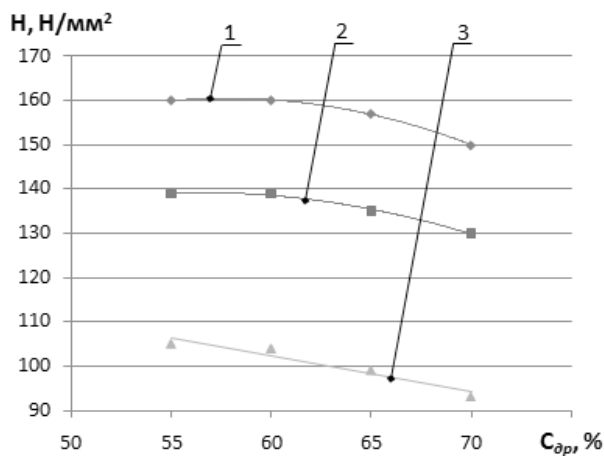


Рис. 3. Зависимость твердости панели от концентрации древесного наполнителя: 1 – на основе ПВХ; 2 – на основе ПП; 3 – на основе ПЭ

Проанализировав полученные результаты, было установлено, что образцы, изготовленные на основе ПВХ, обладают

твердостью в среднем на 13 % и 27 % больше, чем образцы на основе ПП и ПЭ соответственно. Также выявлено, что увеличение концентрации древесного наполнителя более 65 % приводит к снижению показателя твердости материала.

При оценке теплофизических показателей было принято решение исследовать теплопроводность панели в зависимости от доли древесного наполнителя и типа полимерной матрицы, использованного при формировании материала (рис. 4).

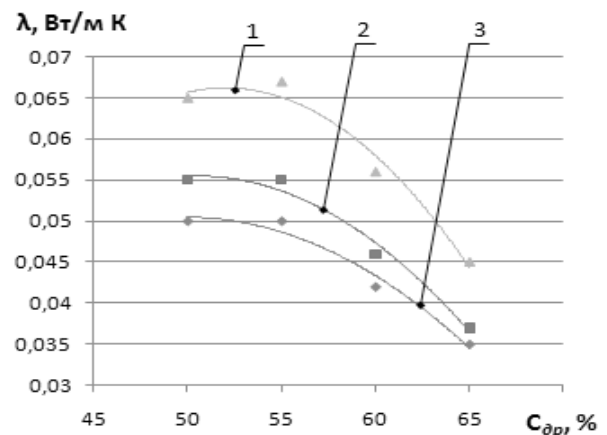


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности от доли древесного наполнителя: 1 – на основе ПЭ; 2 – на основе ПП; 3 – на основе ПВХ

Экспериментальные исследования, направленные на определение теплопроводности, показывают зависимость данного коэффициента от концентрации древесных частиц и типа используемого полимера. Полученные данные отражают уменьшение теплопроводности материала при увеличении концентрации древесной муки. Установлено, что образцы на основе ПВХ в качестве полимерной матрицы имеют меньший коэффициент теплопроводности.

На рисунке 5 представлены результаты проведенных испытаний по определению влагопоглощения теплоизоляционной панели. Для исследования были использованы образцы с концентрацией 65 % древесного наполнителя, 30 % полимера и 5 % целевых добавок.

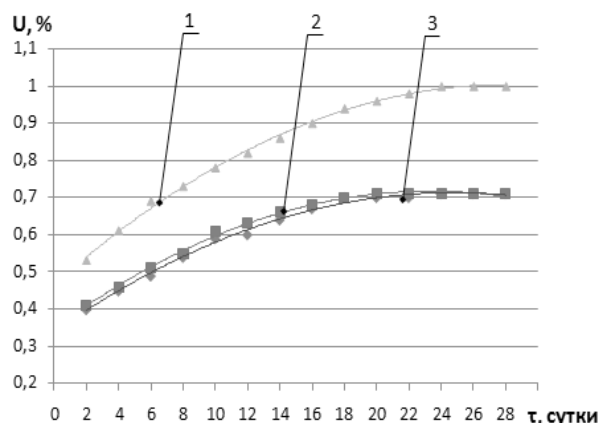


Рис. 5. Зависимость количества поглощенной влаги от количества суток: 1 – на основе ПЭ; 2 – на основе ПП; 3 – на основе ПВХ

В ходе проведенных испытаний выявлено, что у образцов на основе ПВХ наблюдается меньшее изменение массы, что показывает меньшее количество впитанной влаги, по сравнению с композитами на основе ПП и ПЭ, в среднем на 17 % и 24 % соответственно.

Заключение

Таким образом, в данной работе описана особенность технологии изготовления теплоизоляционной панели, состоящая из поверхностного слоя на основе ДПК и внутреннего слоя на основе ППУ. Анализ проведенных исследований показывает, что разработанная теплоизоляционная панель обладает высокими прочностными характеристиками, низким коэффициентом теплопроводности, а также невысоким влагопоглощением. Область использования данной панели может быть весьма обширной, дающая возможность заменить традиционные дорогостоящие виды теплоизоляционных материалов на более функциональный и доступный материал. Экономический эффект достигается технологичностью производства, малой энергоемкостью и возможностью частичного использования вторичных ресурсов в виде отходов лесопиления,

деревообрабатывающей промышленности, а также продуктов переработки вторичных термопластов.

Литература

1. Галиев И., Степанова Т. Создание многослойного напольного настила на основе термопластичных материалов и древесных отходов. Современный научный вестник. 2014. Т. 10. № 2. С. 3-6.
2. Галиев И.М. Плиты для пола из древесно-полимерного композита. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-2 (8-2). С. 296-298.
3. Галиев И.М. Исследование огнестойкости напольных плит и досок из древесно-полимерного композиционного материала. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 4-3 (9-3). С. 18-21.
4. Сафин Р.Г., Филиппова Ф.М., Галиев И.М. Исследование предела прочности на растяжение напольных плит и досок из древесно-полимерного композиционного материала. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-2 (10-2). С. 210-214.
5. Галиев И.М. Исследование удельного сопротивления выдергиванию шурупа напольного настила из древесно-полимерного композиционного материала. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-4 (10-4). С. 81-83.
6. Назипова Ф.В., Шайхутдинова А.Р. Ультразвуковая интенсификация щелочной обработки наполнителя в производстве древесно-пластикового композита / Деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 1. С. 33-37.
7. Бодылевская Т.А., Бодылевский К.А., Назипова Ф.В., Ахмадиева С.В. Экспериментальные исследования биостойкости древесно-полимерных композитов / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 16. С. 155-158.
8. Safin R.R., Nazipova F.V., Ziatdinov R.R., Shaikhutdinova A.R., Beliakova E.A., Kainov P.A., Barcik Š. The effect of ultrasonic extraction of soluble sugars from the wood filler on the

- strength properties of the composite based on mineral binder/ Key Engineering Materials. 2016. Т. 688. С. 138-144.
9. Safin R.R., Voronin A.E., Shaikhutdinova A.S., Nazipova F.V., Kaynov P.A. Method of rational use of waste of timber industries / В сборнике: International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. 2015. С. 699-706.
 10. Исследование термомодифицирования древесины сосны в условиях вакуумно-кондуктивных аппаратов // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Д.А. // Дизайн и производство мебели. 2008. № 2. С. 36-39.
 11. Способ сушки и термической обработки древесины // Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладышкина Н.А., Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А., Кузьмин И.А., Мазохин М.А., Шайхутдинова А.Р., Ахтямова Т.Н., Воронин А.Е. // патент на изобретение RUS 2425305 04.03.2010
 12. Снижение расхода энергии на проведение процессов сушки древесины посредством вакуумно-конвективной технологии // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. // Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. С. 22-23.
 13. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов вч-плазмой // Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 1. С. 24-25.
 14. Способ термической обработки древесины // 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 RUS 2453425 18.01.2011
 15. Разработка методики классификации термомодифицированной древесины с помощью цветовой гаммы // Белякова Е.А., Сафин Р.Р., Бодылевская Т.А. // Деревообрабатывающая промышленность. 2013. № 1. С. 30-34.

© **Галиев И.М.** – доцент кафедры «Инженерная компьютерная графика и автоматизированное проектирование», ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», galeil@mail.ru;
Назипова Ф.В. – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», faridaN13@mail.ru.

Химическая технология древесины

УДК 66. 092 – 977

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ В ПИРОЛИЗНОЙ УСТАНОВКЕ

А.В. Сафина, Н.Ф. Тимербаев, А.Р. Хабибуллина, Л.Ш. Асаева, А.С. Калашникова

Разработана математическая модель процесса конвективного охлаждения древесного угля в кольцевом зазоре пиролизной установки. Математическим моделированием установлено, что при подаче теплоносителя от периферии камеры к ее центру достигается равномерное охлаждение слоя материала и сокращение времени на осуществление процесса, а увеличение температуры хладагента компенсируется увеличением скорости его потока.

Ключевые слова: древесина, древесный уголь, математическая модель, конвективный теплоперенос, пиролиз, охлаждение.

A mathematical model of the process of convective cooling of charcoal in the annular gap of a pyrolysis plant is developed. Mathematical modeling has established that when the coolant is supplied from the periphery of the chamber to its center, uniform cooling of the material layer and a shortening of the time for the process is achieved, and the increase in the coolant temperature is compensated by an increase in its flow rate.

Keywords: wood, charcoal, mathematical model, wood particles, convective heattransfer, pyrolysis, cooling.

Введение

Одним из перспективных направлений утилизации древесных отходов является их переработка в древесный уголь, который выступает в качестве альтернативы традиционным видам топлива. С каждым годом масштабы использования древесного угля растут, поскольку это наиболее экологически чистый вид топлива, соответствующий самым высоким требованиям качества и безопасности. Существует большое количество оборудования для термического разложения древесины, отвечающее требованиям экологии, качества получаемого древесного угля и запросам заказчиков [1,2].

При организации технологических процессов пиролиза древесных отходов сырье перед подачей в реактор пиролиза необходимо нагреть до температур начала экзотермической реакции, а сами продукты пиролиза подлежат охлаждению. По результатам исследований была разработана установка для производства древесного угля непрерывного действия с применением эффекта тепловой трубы [3].

В данной установке имеется зона конвективного охлаждения полученного угля инертными газами с целью предотвращения его

самовозгорания. Для определения рациональных параметров зоны и технологических процессов, протекающих в ней, необходимо провести моделирование этих процессов.

Основная часть

На (рис.1) представлена схема установки для производства древесного угля. [3]. Основной частью данной установки является вертикальная реторта 1, которая имеет зоны накопления 2, сушки 3, пиролиза 4, активирования 5, кондуктивного охлаждения 6, конвективного охлаждения 7, с патрубками подвода и отвода воздуха. Зоны изолированы между собой шибберными заслонками [4,5].

В этой установке технологическая щепка превращается в древесный уголь в зоне пиролиза. Температура древесного угля на выходе из зоны пиролиза составляет порядка 500 °С. После зоны кондуктивного охлаждения с помощью тепловой трубы в зоне 6 температура древесного угля снижается примерно до 100 °С, затем происходит охлаждение конвекцией воздухом, подаваемым воздуходувкой 10 через сепаратор 9. В зоне конвективного охлаждения древесный уголь охлаждается до температуры

50 °С для предотвращения самовозгорания угля [6-8].

На рис. 2 представлена схема подачи хладагента и расположения древесного угля в зоне конвективного охлаждения. Для безопасности процесса охлаждения древесного угля осуществляется воздухом, сепарированным от кислорода. Рациональной конструкцией аппарата для осуществления процесса теплообмена является такая, в которой небольшой по толщине слой материала расположен в межкольцевом пространстве [9], а теплообмен материала с воздухом осуществляется при его радиальной фильтрации.

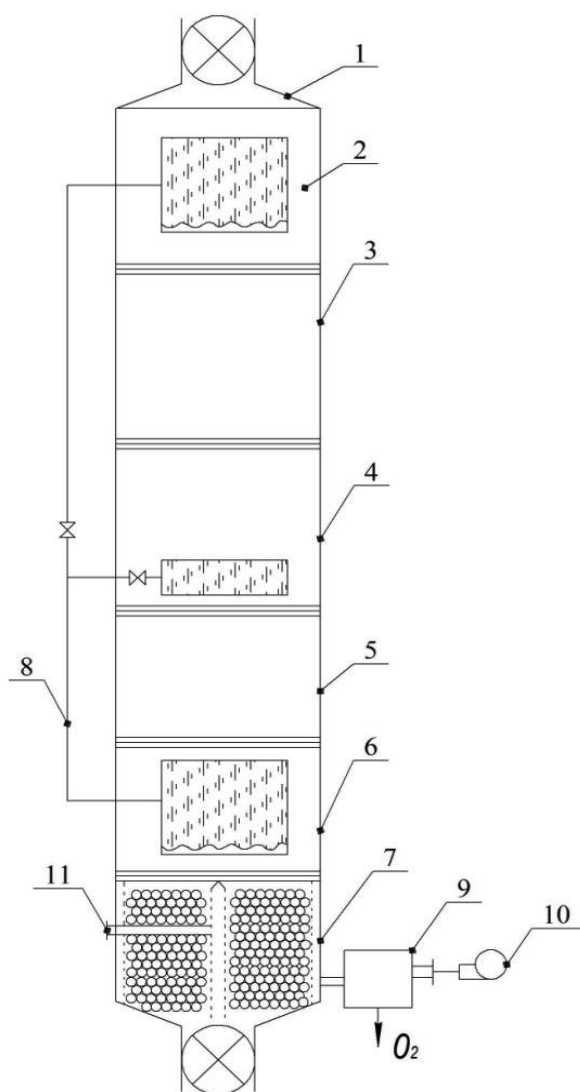


Рис. 1. Схема установки для производства древесного угля: 1-вертикальная реторта; 2-зона накопления; 3- зона сушки; 4-зона пиролиза; 5-зона активирования; 6-зона кондуктивного охлаждения; 7-зона конвективного охлаждения; 8-тепловая труба; 9-сепаратор; 10-воздуходувка; 11-патрубков отвода воздуха

Выделим элементарный объем слоя древесного угля толщиной – $dR_{ап}$ на расстоянии – $R_{ап}$ от центра камеры. Дифференциальное уравнение переноса энергии для парогазовой смеси в общем виде записывается уравнением Фурье II порядка. В цилиндрических координатах для выделенного объема слоя зернистого материала с порозностью ε и с учетом замены субстанциональной производной ее выражением согласно [10] уравнение Фурье II порядка принимает вид

$$C_{см} \rho_{см} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_R \frac{\partial T}{\partial R_{ап}} + \frac{w_\varphi}{R_{ап}} \frac{\partial T}{\partial \varphi} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) =$$

$$= \lambda_{см} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{R_{ап}} \frac{\partial T}{\partial R_{ап}} + \frac{\partial^2 T}{\partial R_{ап}^2} + \frac{1}{R_{ап}} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \gamma_T (1)$$

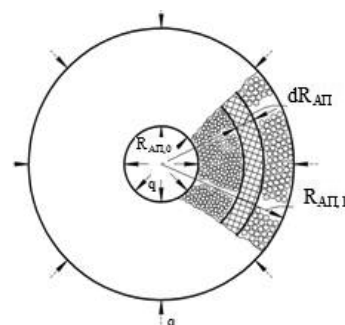


Рис. 2. Схема подачи хладагента и расположения древесного угля в зоне конвективного охлаждения

При движении хладагент отбирает тепло от слоя древесного угля. Функция притока тепла при этом может быть определена выражением

$$\gamma_T = \alpha(T_M - T) \frac{f}{\varepsilon} \quad (2)$$

Так как поток полностью заполняет пространство между частицами слоя, можно считать, что хладагент одновременно обтекает отдельные элементы слоя. Тогда пренебрегая изменением температуры парогазовой смеси по высоте слоя z и по углу φ , а также молекулярной теплопроводностью теплоносителя, выражение (1) с учетом уравнения (2) запишем в виде

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_R \frac{\partial T}{\partial R_{ап}} = \frac{f \alpha}{C_{см} \rho_{см} \varepsilon} (T_M - T) \quad (3)$$

В уравнение (3) входят плотность $\rho_{см}$ и теплоемкость $C_{см}$ охлаждающей смеси, которые определяются по правилу аддитивности.

Парциальные давления компонентов смеси рассчитываются по уравнению Антуана или Генри [11].

Подставим в уравнение (3) выражение для скорости потока

$$w_R = \frac{Q_R}{F_R \varepsilon} \text{ при } Q_R = \text{const}, \quad (4)$$

тогда дифференциальное уравнение переноса энергии для охлаждающей смеси при переменной скорости движения теплоносителя будет иметь вид

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{Q_R}{F_R \varepsilon} \frac{\partial T}{\partial R_{ап}} = \frac{f\alpha}{C_{см} \rho_{см} \varepsilon} (T_M - T) \quad (5)$$

Краевые условия для уравнений (5) можно записать в следующем виде:
граничное уравнение начальные условия

$$T(\tau; R_{ап,1}) = T_H = \text{const} \quad (6)$$

$$T(0; R_{ап,1}) = T_H \quad (7)$$

При фильтрации смеси дисперсного слоя происходит отбор тепла от древесного угля, в результате чего древесный уголь охлаждается. Уравнение теплового баланса для материала имеет вид [9,12]

$$\frac{\partial T_M}{\partial \tau} = \frac{f\alpha}{c_{м} \rho_M (1-\varepsilon)} (T - T_M) \quad (8)$$

Часто на практике имеет место такой случай теплообмена, когда слой состоит из сравнительно крупных частиц с малой теплопроводностью. Теплообмен между парогазовой смесью и частицами слоя (при учете их термического сопротивления) происходит в сочетании с теплопроводностью внутри самой частицы. Уравнение теплопроводности для элементов слоя имеет вид [13]

$$\frac{\partial T_M}{\partial \tau} = a_M \left(\frac{\partial^2 T_M}{\partial x^2} + \frac{\Gamma}{x} \frac{\partial T_M}{\partial x} \right) \quad (9)$$

Краевые условия для уравнения (9) представим в следующем виде:

граничное условие

$$\left. \frac{\partial T_M}{\partial x} \right|_{x=R} = \alpha (T - T_M) \quad (10)$$

условие симметрии

$$\left. \frac{\partial T_M}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (11)$$

начальное условие

$$T_M(0; R_{ап}) = T_{M.H} \quad (12)$$

Для моделирования процессов теплообмена, протекающих в слое дисперсного материала, необходимо вычислить коэффициент теплоотдачи от потока фильтрующей среды к наружной поверхности частиц. Теоретически определить коэффициент теплоотдачи α сложно даже для регулярной укладки монодисперсного сферического материала. Попытки теоретического анализа основаны, как правило, на решении задач теплообмена сферической частицы с безграничным потоком и не могут охватить широкий класс полидисперсных материалов с частицами неправильной формы.

Для определения коэффициента α широко используются результаты экспериментальных исследований. Анализ имеющихся экспериментальных корреляций дан в литературе [12,14], где рекомендованы критериальные уравнения для расчета коэффициентов теплообмена. Выбор уравнения осуществляется по эквивалентному критерию Рейнольдса, который можно определить по выражению

$$Re_3 = \frac{4\rho_{см} w_R}{\mu_{см} a} \quad (13)$$

Система уравнений переноса энергии для парогазовой смеси (5) и материала (8), (9) с граничными и начальными условиями (6,7,10-11) полностью описывает процесс теплообмена в слое древесного материала при радиальной фильтрации теплоносителя. При этом полученные кинетические зависимости позволяют определить рациональную схему подачи теплоносителя, выбрать оптимальные

параметры проведения процесса и размеры аппарата.

Для решения приведенной системы уравнений, использован численный метод [15]. На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма, расчета процесса конвективного охлаждения слоя древесного угля.

В первом блоке осуществляется ввод исходных данных, состоящих из начальных условий процесса, теплофизических характеристик древесного продукта и теплоносителя, структурных характеристик дисперсного слоя, а также геометрических параметров теплообменной камеры. Расчет динамики процесса проводится во втором блоке. Выбирается схема подачи теплоносителя (от центра к периферии камеры аппарата или наоборот) и по скорости потока теплоносителя, изменяющейся в зависимости от площади сечения камеры, при помощи критериальных уравнений Рейнольдса и Нуссельта вычисляется коэффициент теплоотдачи. Проверкой условия эффективности передачи тепла теплопроводностью частицами слоя материала выбирается дальнейшая последовательность расчета.

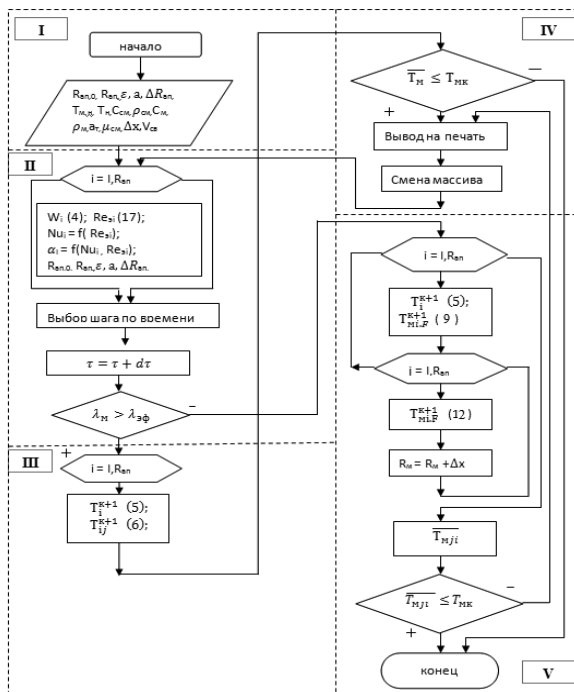


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета процесса конвективного охлаждения в слое дисперсного древесного продукта

Если частицы дисперсного древесного угля незначительны по размерам, то нахождение нестационарных полей температуры осуществляется в третьем блоке, в противном случае расчет ведется по уравнениям пятого блока. Выбор шага по времени производится по результатам проверки конечно-разностных схем уравнений (5), (8), (9) на устойчивость.

В четвертом блоке осуществляется смена массива. Расчет прекращается при достижении интегральной температуры слоя материала требуемого значения.

Исследование теплообмена при охлаждении древесного угля фильтрацией воздухом проводилось на экспериментальной установке, представленной на рис. 4. Установка состоит из теплообменной камеры 1, выполненной в виде сектора и ограниченной перфорированными цилиндрическими поверхностями; электрического калорифера 2, подключенного к сети переменного тока с напряжением 220 В через регулятор температуры 3; контактного термометра 4; хромель – копелевых термопар 5, введенных в слой исследуемого материала и подключенных к АЦП 6 через переключатель позиций 7; воздухоудки 8; автотрансформатора 9; дифференциального манометра 10, сообщенного с трубкой Пито 11. Регулирование температуры теплоносителя на входе в камеру обеспечивается контактным термометром 4, при замыкании контакта которого отключается питание калорифера 2. Расход теплоносителя регулируется изменением мощности привода воздухоудки с помощью автотрансформатора 9.

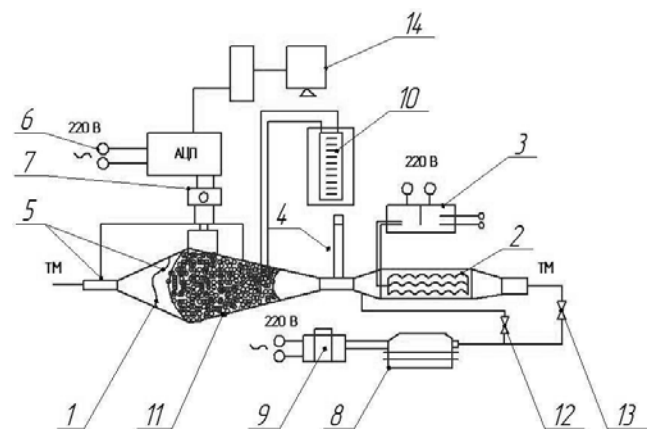


Рис. 4. Схема установки для исследования конвективного охлаждения древесного угля

Экспериментальные исследования на установке проводятся в следующем порядке. Выбирается схема подачи хладоносителя: от центра камеры к периферии или от периферии камеры к центру. В слой древесного угля на определенном расстоянии по радиусу камеры вводят термопары 5, после чего крышку камеры закрывают. Для определения скорости потока в различных точках камеры в древесный уголь вводят трубку Пито 11. По показанию дифференциального манометра вычисляют искомую величину. Задают определенную температуру теплоносителя на входе в теплообменную камеру 1, включают калорифер 2 и воздухоподувку 8. При достижении заданной температуры древесного угля, о чем свидетельствует отключение сигнальной лампочки на панели регулятора температуры 3, калорифер 2 исключают из схемы с помощью шиберных заслонок – 12, 13. По информации с АЦП, которые поступают на компьютер 14, снимают кинетические кривые охлаждения слоя древесного угля.

Экспериментальные исследования древесного угля, обладающего значительным термическим сопротивлением, проводят в той же последовательности. При этом температура регистрируется по координате частицы в различных точках камеры. Данные эксперимента используются для анализа кинетики охлаждения слоя древесного угля при различных схемах подачи теплоносителя.

На рис.5 приведены кривые охлаждения древесного угля, при различных схемах подачи хладоносителя: от центра камеры к периферии и, наоборот, от периферии камеры – к центру. Характер изменения расчетных кривых распределения температуры получен моделированием системы уравнений (5,8). Расхождение расчетных и экспериментальных данных при исследовании процесса теплообмена в слое дисперсного материала без учета термического сопротивления его элементов составляет 10%.

Сопоставление полей температуры позволяет сделать вывод о том, что при подаче теплоносителя по схеме от периферии камеры к ее центру осуществляется более равномерное охлаждение слоя материала, о чем свидетельствует низкий градиент температуры по слою в течение процесса. При этом сокращаются затраты времени на осуществление

процесса. Увеличение температуры хладагента (воздуха) в направлении движения в данном случае компенсируется увеличением скорости потока, следовательно, и коэффициента теплоотдачи, что обеспечивает равномерное охлаждение древесного угля.

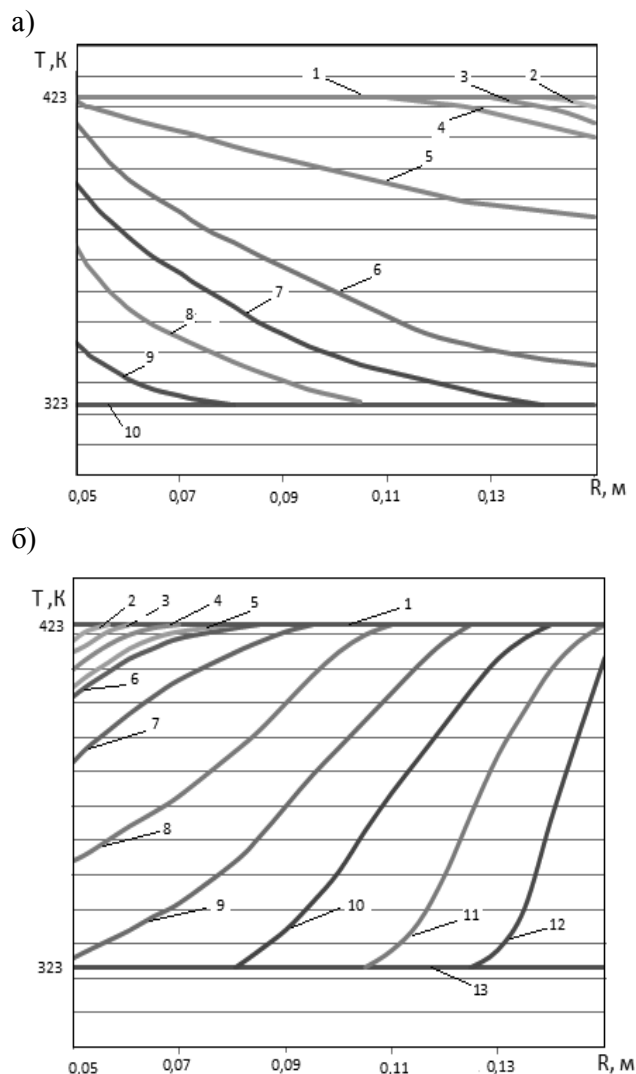
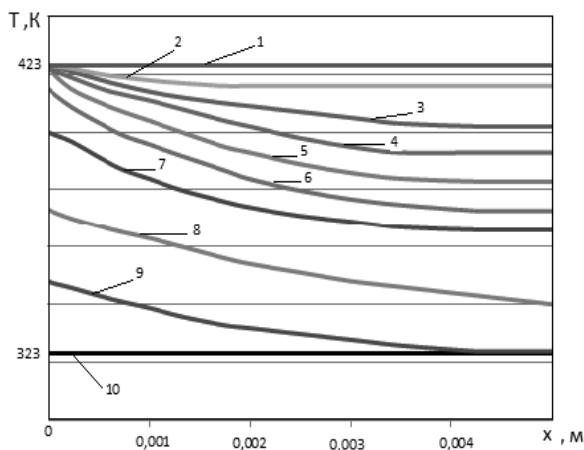


Рис. 5. Кривые распределения температуры в слое древесного угля при различных схемах подачи хладоносителя (расход хладоносителя составляет 0,157 м³/с): а – от периферии камеры к центру; б – от центра камеры к периферии; 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 30$ с; 3 – $t = 50$ с; 4 – $t = 100$ с; 5 – $t = 200$ с; 6 – $t = 300$ с; 7 – $t = 400$ с; 8 – $t = 500$ с; 9 – $t = 600$ с; 10 – $t = 700$ с; 11 – $t = 800$ с; 12 – $t = 900$ с; 13 – $t = 1000$ с

Используя представленные зависимости, можно при заданных производительностях установки определить размеры зоны конвективного охлаждения, пиролизной установки в которой, за известный промежуток времени, охлаждение будет осуществляться

более равномерно. Приведенные зависимости получены для случая, когда термическое сопротивление элементов слоя, ввиду их малых размеров, не учитывалось. Теплообмен в слое материала, состоящем из достаточно крупных частиц с малой теплопроводностью, происходит в сочетании с теплопроводностью внутри самой частицы. На рис. 6 представлены расчетные кривые распределения температуры по сечению частиц слоя материала.

а)



б)

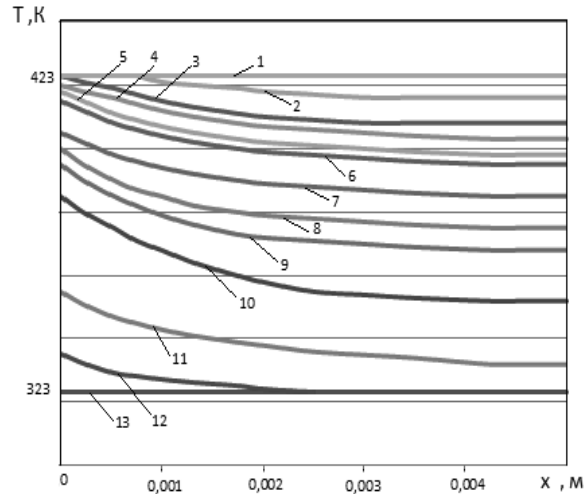


Рис. 6. Кривые распределения температуры по сечению частицы в различных точках камеры: а – $R_{an} = 0,15$ м; б – $R_{an} = 0,10$ м; 1 – $t = 0$ с; 2 – $t = 50$ с; 3 – $t = 100$ с; 4 – $t = 200$ с; 5 – $t = 300$ с; 6 – $t = 400$ с; 7 – $t = 500$ с; 8 – $t = 600$ с; 9 – $t = 700$ с; 10 – $t = 800$ с; 11 – $t = 900$ с; 12 – $t = 1000$ с; 13 – $t = 1100$ с

Из графических зависимостей видно, что в нестационарных условиях процесса теплообмена на характер распределения температуры по сечению частицы оказывает влияние ее расположение в слое. Эксперименты по исследованию процесса охлаждения слоя

материала с учетом термического сопротивления его элементов проводились с частицами древесного угля, эквивалентный диаметр которых составляет 0,01 м. Расхождение между экспериментальными данными и расчетными значениями не превышает 20 %. При охлаждении материала, обладающего термическим сопротивлением, фактором, лимитирующим выравнивание температуры по сечению частицы, является перенос тепла в материале.

Заключение

Анализ результатов моделирования и исследования показывает, что при подаче теплоносителя от периферии камеры к ее центру осуществляется более равномерное охлаждение слоя материала, при этом сокращаются затраты времени на осуществление процесса, а увеличение температуры хладагента компенсируется увеличением скорости потока, следовательно, и коэффициента теплоотдачи, что обеспечивает более равномерное охлаждения древесного угля.

Литература

1. Р.Р. Сафин, Энергосбережение: современный подход к повышению эффективности деревообрабатывающих предприятий в России / Р.Р. Сафин, А.В. Беляева // Деревообрабатывающая промышленность. – 2005. - №3. – С. 11-13.
2. Сафин Р.Г. Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – М.: МГУЛ, 2002. – 688 с.
3. Патент РФ №2014153912, МПК C10B1/04(2014.01) Установка для производства древесного угля /Р.Г Сафин, Н.Ф., Тимербаев, Р.Р.Сафин. и др., 2014.
4. Пиролизная переработка отходов лесопромышленного комплекса в древесный уголь // Р.Г. Сафин, Р.Р. Зиятдинов, А.В. Сафина, А.Р. Хабибуллина // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2014. - №20-Т.17. – С.131-134.
5. Переработка отходов лесопромышленного комплекса в древесный уголь // Р.Г.Сафин, З.Г. Саттарова, А.В. Сафина, Т.Д. Исхаков, А.Р. Хабибуллина// Вестник КТУ, 2015. – Т.18. №4. С. 151-153.

6. Математическая модель тепломассообменных процессов, протекающих при переработке древесных отходов (статья)/Р.Г. Сафин, Р.Р. Зиатдинов, Д.А. Ахметова, А.В. Сафина, А.Р. Хабибуллина - 2015. Т.18, №3. – С.161-163.
7. Сафин, Р.Г. Пирогенетическая переработка древесных материалов/ Р.Г. Сафин // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. – Т. 17. №9. – С. 88-92.
8. Сафин, Р.Г., Тунцев Д.В., Касимов А.М., Хисматов Р.Г., Романчева И.С., Савельев А.С. Технологическая схема подготовки жидких продуктов пиролиза древесных отходов к газификации // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. – Т. 16. №21. - С. 258-260.
9. Любошиц А.И., Шейман В.А. Регенеративный теплообмен в плотном слое. Минск: Наука и техника, 1979. – 200 с.
10. Протождяконов И.О., Марцулевич Н.А., Марков А.В. Явления переноса в процессах химической технологии. Л.: Химия, 1981. - 264 с.
11. Сафин Р.Г. Актуальные проблемы технологических процессов лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств: учебное пособие / М-во образ. и науки России, Казан.нац.исслед.технол.ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. – 408 с.
12. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: ГИФМЛ, 1962. – 456 с.
13. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
14. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Л.: Химия, 1979. – 176 с.
15. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. – 512 с.

© **А.В. Сафина** – к.т.н., доцент кафедры «Экономика», ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», alb_saf@mail.ru; **Н.Ф. Тимербаев** – д.т.н., директор научного центра Казанского государственного энергетического университета, srekgeu@gmail.com; **А.Р. Хабибуллина** – аспирант кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», almira-h@rambler.ru; **Асаева Л.Ш.** – студент ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», leisanasaeva@mail.ru; **Калашникова А.С.** – студент ФГБОУ ВО «Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет», Kalashadelina@rambler.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 661.746.2

ПОЛУЧЕНИЕ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ГИДРОЛИЗА С ПОСЛЕДУЮЩИМ МОЛОЧНОКИСЛЫМ БРОЖЕНИЕМ

А.Н. Кузнецова, Р.В. Салимгараева

Рассмотрен метод получения молочной кислоты из отходов деревообрабатывающих производств путем их гидролиза серной кислотой и последующей переработки гидролизата с помощью лактобактерий. Проведены опыты по получению молочной кислоты на глюкозе с помощью лактобактерий.

Ключевые слова: молочная кислота, древесные отходы, гидролиз, брожение.

The method of obtaining lactic acid from wood processing industries waste by hydrolysis with sulfuric acid and subsequent processing of hydrolyzate by means of lactobacilli is considered. Experiments have been conducted on the production of lactic acid on glucose using lactobacilli.

Keywords: lactic acid, wood waste, hydrolysis, fermentation.

Введение

Данное исследование фокусируется на производстве молочной кислоты из древесных отходов. Молочная кислота является достаточно востребованным продуктом ввиду ее широкого спектра применения. Она используется в самых различных отраслях, среди которых особенно выделяются пищевая промышленность, медицина и фармакология, производство полимеров, косметология. Продукт ее полимеризации – биоразлагаемый пластик полилактид – в свою очередь также применяется в различных сферах, таких как производство рассасывающихся шовных материалов, разлагаемой упаковки для продуктов питания, 3D печати, и является наиболее широко распространенным биоразлагаемым пластиком в настоящее время.

Молочная кислота может производиться бактериями *Lactobacilli*, использующими сахара в качестве источника углерода. Обычно для получения молочной кислоты используется такое сырье как меласса, молочная сыворотка, глюкоза, мальтоза, сахароза, лактоза, осажаренный крахмал и пр [6].

Основной способ получения молочной кислоты в России – ферментативное брожение главным образом глюкозы, а также суслу зерна или картофеля [12].

Однако вышеперечисленные субстраты, используемые для производства молочной кислоты, производятся из продуктов, которые могут непосредственно применяться в пищу. С этим связана актуальность вопроса об альтернативном сырье для производства

молочной кислоты. Возможным источником для производства сахаров, необходимых для развития лактобактерий, представляется древесина. Для снижения стоимости продукта предлагается использовать отходы существующих производств.

Экспериментальная часть

Для получения молочной кислоты из древесных отходов требуется перевести полисахариды древесины в доступную для лактобактерий форму – моносахариды. Это осуществляется методом кислотного гидролиза древесины с использованием концентрированной серной кислоты. Использование концентрированной серной кислоты обусловлено тем, что при гидролизе с использованием разбавленной серной кислоты увеличиваются потери сахаров в результате их распада под действием кислоты [14].

В данном опыте для получения глюкозы использовались сосновые опилки. В стеклянный сосуд было помещено 300 г опилок, которые затем были залиты 315 мл серной кислоты. Сосуд помещен в печь, где он выдерживался при $t^{\circ}=180^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч. В результате такой обработки целлюлоза распадается до глюкозы, гемицеллюлоза переходит в пентозу, лигнин выпадает в осадок, часть пентозы под действием серной кислоты образует фурфурол [7].

На этом этапе технологический процесс повторяет уже существующее гидролизное производство, и в случае его осуществления в промышленных масштабах полученные побочные продукты можно использовать

аналогичным способом. Например, гидролизный лигнин является достаточно полезным продуктом, он может использоваться для производства топливных брикетов; в качестве котельного топлива; для производства восстановителей для некоторых металлов и кремния; как наполнитель при производстве пластмасс; в производстве топливного газа; изготовлении удобрений; производстве гербицидов; в качестве сырья для производства фенола, уксусной кислоты; в производстве активированного угля; в качестве сорбента для очистки городских и промышленных стоков; для производства медицинских препаратов; производства кирпича и керамических изделий [2,13]. Фурфурол также находит свое применение как растворитель в нефтеперерабатывающей промышленности, сырье для производства растворителей, на основе фурфурола производятся некоторые лекарственные средства, например, фурацилин.

Также как и при традиционном гидролизном производстве, после осуществления гидролиза необходимо нейтрализовать остатки кислоты, чтобы подготовить подходящую среду для жизни микроорганизмов, осуществляющих биосинтез. В отличие от производства гидролизного спирта, в котором применяются дрожжи, для производства молочной кислоты необходимо использовать другие виды микроорганизмов. Молочную кислоту производят лактобактерии, бифидобактерии, некоторые виды стрептококков и грибов [1]. Наиболее перспективными представляются гомоферментативные бактерии, такие как *Lactobacillus delbrueckii* [3] или *Lactobacillus acidophilum*.

Гидролизат, полученный в опыте, был нейтрализован добавлением по каплям гашеной извести. Осадок, содержащий лигнин и образовавшийся при нейтрализации раствора CaSO_4 , был отделен методом отстаивания. В результате была получена насыщенная глюкозой и пентозой жидкая среда. Количество сахаров в такой среде составляет около 30 % от первоначальной массы древесины. Преимущественно это глюкоза. Таким образом, из 300 г опилок получается около 90 г сахаров. Пентоза не усваивается большинством продуцентов молочной кислоты. Для обеспечения остальных необходимых для жизнедеятельности лактобактерий веществ

использовалось пророщенное зерно ячменя, предварительно измельченное. Солодовые ростки содержат до 30 % азотистых веществ, около половины которых растворяются в воде. В ростках заключена основная масса витаминов и биостимуляторов проросшего зерна: рибофлавин, пиридоксин, цианокобаламин, никотиновая кислота, пантотеновая кислота, токоферол, инозит, биотин [10]. Они были внесены в количестве 10 г.

В качестве продуцента молочной кислоты использовались *Lactobacillus acidophilum* в виде лиофилизата. Это гомоферментативные лактобактерии, которые достаточно широко встречаются в природе [5].

Сосуд с раствором выдерживался в печи при температуре $t=42^\circ\text{C}$, периодически осуществлялся контроль pH раствора с помощью индикаторных полосок. Исходный раствор имел нейтральную кислотность.

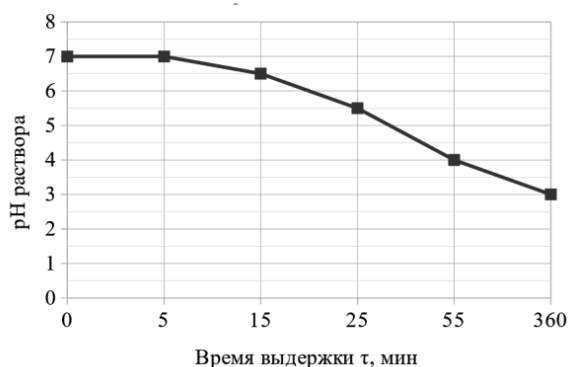


Рис. 1. Изменение кислотности в зависимости от времени выдержки раствора в печи

По рисунку 1 видно, что в первый час опыта кислотность раствора сменяется с нейтральной на слабокислую, после чего ее изменение существенно замедляется. После продолжительной выдержки раствора в печи (6 часов) раствор имеет $\text{pH}=3$. Он представляет собой слегка желтоватую жидкость, с осадком на дне, представленным в основном остатками зерна. Раствор имеет кисло-сладкий вкус, что свидетельствует о неполной переработке бактериями глюкозы. При близких к 3 значениям кислотности жизнедеятельность лактобактерий приостанавливается, даже при наличии непереработанных сахаров в растворе, так что для дальнейшей переработки кислотность необходимо снижать, по каплям добавляя известковое молоко. Прежде чем

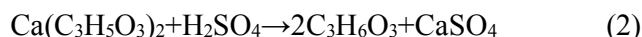
продолжить опыт, осадок был отделен с помощью фильтровальной бумаги, так как в дальнейшем продукт реакции – молочная кислота – будет нейтрализован с образованием лактата кальция, который также представляет собой осадок, это позволяет избежать смешивания осадков [11].

Нейтрализация молочной кислоты с образованием лактата кальция [4]:



Снижая таким образом кислотность раствора до pH=5 каждый час опыта, была достигнута максимальная переработка глюкозы из раствора, после чего дальнейшее изменение кислотности не наблюдалось.

В результате был получен осадок, состоящий из лактата кальция, который был отделен от раствора методом отстаивания и обработан серной кислотой, что позволяет получить раствор молочной кислоты с осадком сульфата кальция, который легко отделяется методом отстаивания [16-18].



Выпариванием раствора была получена молочная кислота в сухом виде, масса которой составляла 62 г.

Заключение

В ходе опыта удалось получить некоторое количество молочной кислоты, содержащей примеси пентозы и фурфурола. Это обусловлено тем, что лактобактерии, используемые в опыте, не способны перерабатывать пентозу. Наличие фурфурола связано с взаимодействием присутствующей в растворе пентозы с серной кислотой, используемой для получения молочной кислоты из кристаллов лактата кальция. В мире ведутся работы по получению штаммов микроорганизмов, способных перерабатывать и глюкозу, и пентозу, что позволит перерабатывать гидролизный сахар более полно. Например, в работе B.S Dien, N.N. Nichols и R.J. Bothast используется *Escherichia coli* с геном *Streptococcus bovis* [19-22].

Также одним из способов получения молочной кислоты более высокой степени чистоты может стать предварительное удаление

из древесины гемицеллюлоз и экстрактивных веществ, что достижимо путем термомодифицирования древесины.

Литература

1. Аркадьева, З.А. Промышленная микробиология/ З.А. Аркадьева. - М., 1989. 686 с.
2. Богомолов, Б.Д. Лигнин./ Д. Б. Богомолов. - Химия древесины и основы химии высокомолекулярных соединений, М., 1973
3. Бочкова, А.П., Евелева В.В. Технология молочной кислоты с использованием селекционированного штамма молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrueckii* ВКПМ В-8744 // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 9. – С. 68-68;
4. Гуляницкий, А.. // Реакции кислот и оснований в аналитической химии/ А. Гуляницкий. – М., Мир, 1975
5. Кошелев, Ю.А. Краткий курс биотехнологии: учебное пособие / Ю.А. Кошелев, Е.А. Скиба, Е.В. Аверьянова; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2009. – 77 с.
6. Муратова, Е.И. Биотехнология органических кислот и белковых препаратов: учебное пособие./Е.И. Муратова. - Тамбов : Изд-во ТГХУ, 2007.
7. Никитин, В.М. Химия древесины и целлюлозы. Учебное пособие/В М. Никитин, А.В. Оболенская, В.П. Щеголёв - М.: "Лесная промышленность" - 1978
8. Никишов, В.Д. Комплексное использование древесины. Учебник для вузов
9. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Часть II - СПб: «Мир и Семья», 2002 - 1142 с.
10. Полянский, К. К. Производство молочной кислоты / К.К. Полянский, Г.П. Шуваева, Н.Д. Деменко, В.Ф. Яковлев. - Воронежская государственная технологическая академия - 1996
11. Потапов В.М., Хомченко Г.П. Химия. М., 1982. 367 с.
12. Смирнов, В.А. Пищевые кислоты (лимонная, молочная, винная). – М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. – 264 с.

13. Чудаков, М.И. Промышленное использование лигнина//М.И. Чудаков. - М.; 1972г. 268с
14. Яковенко, А.З. Гидролиз древесины концентрированной соляной кислотой/А.З. Яковенко. - Москва, 1958.
15. Dien, B.S. Recombinant *Escherichia coli* engineered for production of L-lactic acid from hexose and pentose sugars/ B.S Dien, N.N. Nichols, R.J. Bothast. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* (2001) 27, 259–264
16. Термомодифицирование древесины в среде топочных газов // Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. *Лесной вестник*. 2010. № 4. С. 95-98.
17. Исследование изменения химического состава древесины, подвергнутой термомодифицированию, с помощью инфракрасного спектрометра // Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Кайнов П.А. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 10. С. 100-103.
18. Энергосберегающая установка для сушки и термической обработки древесины // Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 9. С. 542-546.
19. Анализ современного состояния лесопромышленного комплекса и перспективы его развития на базе кафедр лесотехнического профиля кгу // Сафин Р.Р., Сафин Р.Г. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2010. № 4. С. 120-130.
20. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов, созданных на основе термически модифицированной древесины // Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Валиев Ф.Г., Данилова Р.В. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т. 15. № 7. С. 64-66.
21. Исследование вакуумно-кондуктивного процесса модифицирующей термообработки древесины // Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Герасимов М.К., Ахметова Д.А. // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2009. № 3. С. 9-11.
22. Разработка новой технологии получения термодревеси // Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Разумов Е.Ю. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 1. С. 157-162.

© А.Н. Кузнецова – бакалавр кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», t-anastasia.kuz@mail.ru; Р.В. Салимгареева – к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

УДК 674.04

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ С ПОЗИЦИИ ПОВЫШЕНИЯ БИОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

А.Р. Шайхутдинова, Р.Р. Сафин

Проведены эксперименты по исследованию биологической стойкости древесины, термомодифицированной по пяти различным технологиям: вакуумно-конвективное термомодифицирование в среде перегретого пара, конвективное термомодифицирование в среде насыщенного пара высокого давления, термомодифицирование древесины в гидрофобных жидкостях, термомодифицирование древесины в среде топочных газов и вакуумно-кондуктивное термомодифицирование. Рассчитана степень стойкости образцов, позволяющая сделать вывод о существенно меньших потерях массы термомодифицированной древесины, вызванных разрушающим действием грибов, по сравнению с необработанными образцами. Определена технология, наиболее оптимальная для конструкций, предполагающих глубокий контакт с почвой.

Ключевые слова: термомодифицирование, грибок, древесина, биостойкость, гниение.

Experiments on the study of biological stability of thermally modified timbers, treated on five different technologies were performed: vacuum-convective heat treatment in superheated steam, convective heat treatment in the environment of saturated steam of high pressure, heat treatment of wood in hydrophobic liquids, heat treatment of wood in the environment of flue gases and vacuum-conductive heat treatment. The grade of stability of the test samples after 360 days of incubation in two different substrates was calculated, allowing concluding that thermally modified wood has significantly lower mass loss caused by the destructive action of fungi, compared to untreated samples. The most optimal technology of heat treatment for the constructions assuming a deep contact with the soil was determined.

Key words: *thermomodification, fungus, wood, biostability, decay.*

Введение

Древесина, как строительный материал, обладает множеством положительных свойств, однако относительно недолгий срок эксплуатации, сравнительно малая стабильность формы, а также наличие в ней грибковой инфекции снижают ее конкурентоспособность по сравнению с металлами и синтетическими материалами и ограничивают сферы ее возможного применения.

До недавнего времени для изменения физических свойств древесины и борьбы с грибом самым распространенным был метод химической обработки древесины путем пропитки или поверхностной обработки органическими или неорганическими солями, токсичное действие которых прекращает развитие грибка, но при этом оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим, одним из передовых направлений в технологии переработки древесины в последнее время является термомодифицирование древесины, направленное на улучшение качества, продление срока эксплуатации, а также расширение областей применения изделий из древесины.

После термообработки содержание гемицеллюлоз в древесине значительно уменьшается, в результате чего существенно снижается объем материала, чувствительного к грибку, а, следовательно, повышаются показатели биостойкости, долговечности, твердости, а также стабильность геометрических размеров. Данные свойства позволяют использовать термодерево на открытом воздухе, однако, вопрос непосредственного контакта термодревеси с землей еще не до конца изучен.

Рядом исследователей [Кайнов П.А. 130-132] были проведены испытания с целью установления биостойкости и долговечности подвергнутой термообработке древесины. Автор [Кайнов Павел – «Энергосберегающая

технология термического модифицирования пиломатериалов в среде топочных газов»] считает, что повышение биостойкости термомодифицированной древесины, кроме происходящих в древесине химических превращений, может объясняться и физическими изменениями: вследствие того, что водопоглощение термодревеси намного меньше, а водоотдача быстрее, чем у натуральной древесины, продолжительность нахождения в наиболее опасной с позиции развития дереворазрушающих грибов влажностной зоне 30-70 % у термодревеси намного меньше, поэтому дереворазрушающие грибы в термодревесине находятся в неблагоприятных условиях [1].

Компанией СТВА (Франция) проводились испытания на устойчивость трем жукам: Longhorn, встречающийся в заболони мягких пород дерева; обычный мебельный жук Anobium punctatum, обитающий в основном в твердых породах дерева; Lyctus Bruneus, встречающийся в некоторых твердых породах дерева. В результате испытаний было выявлено, что подвергнутая термообработке древесина оказалась устойчивой ко всем трем жукам [2].

Испытания, проведенные в Университете г. Куопио, также выявили хорошую сопротивляемость термомодифицированной древесины насекомым и жукам. В связи с тем, что жуки распознают сосну по ее терпеновым выделениям, являющимся подходящим местом для кладки яиц, а терпеновые выделения термообработанной древесины резко сокращаются, жуки по мере возможности выберут обычную древесину [3].

Методы и материалы

Нами были проведены полевые испытания с целью установления биостойкости и долговечности древесины, подвергнутой термообработке по пяти известным в России технологиям: вакуумно-конвективное термомодифицирование в среде перегретого

пара, конвективное термомодифицирование в среде насыщенного пара высокого давления, термомодифицирование древесины в жидкостях, термомодифицирование древесины в среде топочных газов и вакуумно-кондуктивное термомодифицирование [4]. Общей характеристикой данных способов термомодифицирования древесины является температурный диапазон обработки от 180 до 240 °С, что объясняется физико-химическими процессами, протекающими в древесине при данной температуре, способствующими изменению цвета материала и его физико-механических характеристик.

Перед проведением эксперимента по определению биостойкости термодревесины образцы заболонной сосны и дуба размерами 500x50x20 мм, предварительно высушенные до комнатно-сухого состояния, были обработаны по пяти указанным технологиям.

Технологический процесс конвективного термомодифицирования в среде насыщенного пара, представленный в работе Шайхутдиновой А.Р. [4], складывался из следующих основных этапов: продувка камеры паром с целью удаления воздуха, повышение температуры в аппарате до 180 °С путем подачи насыщенного пара из парогенератора, выдержка древесины при высокой температуре и давлении среды в течение 6-8 часов с целью термомодифицирования материала по всему сечению, охлаждение и подсушка материала созданием разрежения в камере путем включения в работу конденсатора.

Следующая партия образцов была обработана по усовершенствованной технологии вакуумно-конвективного термомодифицирования древесины в среде перегретого водяного пара, отличающейся от аналоговых улучшенными конечными качествами материала ввиду отсутствия характерного для термодревесины запаха, что достигается путем многократного пропаривания и вакуумирования термодерева на стадии охлаждения, а также параллельным проведением сушки пиломатериалов в камере сушки за счет тепловой энергии, высвобождаемой при охлаждении термодревесины (Шайхутдинова А.Р. [5]). Технологический процесс состоял из предварительной откачки инертного газа из рабочей полости камеры, подачи водяного пара из предварительно нагретого парогенератора в

течение 40-70 минут, дальнейшего перегрева пара при включенных калориферах до достижения в камере температуры среды 220 °С в течение 3 часов, непосредственной термической обработки материала в перегретом паре при данной температуре в течение 6-9 часов, охлаждения древесины и повторного цикла «пропаривание-вакуумирование», что позволило снизить жженный запах термодревесины.

Третья партияготавливаемых к эксперименту образцов обрабатывалась в гидрофобных жидкостях, по технологии, представленной в работе Беляковой Е.А. [6]. В качестве агента обработки при проведении экспериментальных исследований была использована гидрофобная жидкость с температурой вспышки более 260 °С. После подготовки образцы помещались в гидрофобную жидкость, нагреваемую от термоэлектрического нагревателя, в результате чего происходило нагревание образца в течение 1-2 ч. до 240 °С. После повышения температуры образцы выдерживались в жидкости 3-6 часов, после чего шток с материалом поднимался в верхнее положение, где происходила выдержка под вакуумом в течение 15-20 минут. Завершался процесс пропаркой пиломатериала путем подачи пара из парогенератора.

Следующей технологией, по которой обрабатывался экспериментальный материал, была технология термомодифицирования древесины в среде топочных газов (Кайнов П.А. [1]), заключающаяся в следующем: постепенный прогрев древесины до 220 °С в течение 5-10 часов в среде топочных газов, образующихся в результате газификации отходов деревообработки и последующего сжигания синтез-газа; выдержка при этой температуре в течение 5-10 часов до приобретения древесиной заданных свойств; охлаждение образцов путем подачи в камеру водяного пара.

Последней технологией, по которой обрабатывались образцы, была технология вакуумно-кондуктивного термомодифицирования древесины, рассмотренная в работах Ахметовой Д.А. [3,7,8]. Процесс состоял из удаления воздуха из камеры путем создания вакуума, контактной досушки пиломатериала при температуре 130-150 °С до абсолютно сухого состояния, дальнейшего нагрева древесины при кондуктивном подводе

тепла в герметичных условиях до 220 °С, выдержки материала в течение 6-8 часов и охлаждения путем подачи водяного пара из парогенератора. При данной технологии в качестве нагревательных элементов использовались металлические плиты специальной конструкции, представляющие собой две перфорированные металлические пластины с установленными между ними электронагревательными кабелями.

Наряду с обработанными по пяти представленным технологиям образцами заболонной сосны и дуба размерами 500x50x20 мм для проведения эксперимента по определению биостойкости были подготовлены необработанные образцы сосны и дуба аналогичных размеров комнатно-сухого состояния, не имеющие сучков, трещин, гниения, повреждения насекомыми и других явных дефектов.

Термомодифицированные и контрольные образцы древесины погружались в воду на 24 часа для того, чтобы выровнять влажность различных образцов и создать благоприятные начальные условия для дереворазрушающих микроорганизмов. Затем образцы взвешивались и на расстоянии 20 см друг от друга закапывались на глубину 25 см во влажный грунт, содержащий наиболее распространенные и, как считается, наиболее опасные для древесины грибки *Coniophora puteana* и *Poria placenta*. Каждые 30 суток образцы доставались, взвешивались, визуально осматривались на предмет присутствия гнили, определялся распад

материала в соответствии с EN 252, затем помещались обратно в грунт. По истечении 360 суток они были окончательно извлечены, взвешены и высушены в вакуумной камере при температуре 50 °С до постоянной влажности, после чего оценивалась стойкость исследуемого материала [9-11].

Результаты

Для того чтобы оценить степень стойкости образцов, рассчитывали коэффициент потери массы образцов как отношение потери массы термообработанных материалов к потере массы контрольных образцов. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что все протестированные термически обработанные материалы имели меньшую потерю массы, вызванную грибами, чем необработанные контрольные образцы (Табл. 1). Обе термически обработанные породы древесины (сосна, дуб) показали незначительное поражение после 360 дней пребывания в почве в диапазоне от 3,4 % до 31 %. При этом выявлено, что сосна и дуб, обработанные в масле, показали наименьший процент потери массы, в то время как образцы, обработанные в насыщенном паре высокого давления, имели весьма значительные потери массы, признаки гниения и потерю прочности. Это вызвано недостаточно высокой температурой обработки (180 °С), которая является максимально допустимой в данной технологии ввиду высокого давления в аппарате и удорожания процесса обработки [12-14].

Таблица 1 – Средняя потеря массы (%) термически модифицированная древесина после контакта с грунтом в течение 360 дней

Технология термообработки	Poria placenta		Coniophora puteana	
	Сосна	Дуб	Сосна	Дуб
В среде с насыщенным паром, Т - 180 °С	31,0	25,2	19,3	12,4
В среде перегретого пара, Т - 220 °С	10,0	6,9	3,7	1,8
Гидрофобные жидкости (горячее масло), Т - 220 °С	3,4	1,9	1,8	0,9
В среде дымовых газов, Т - 220 °С	11,7	7,7	5,1	3,2
Вакуум-проводящая термообработка, Т - 220 °С	12,1	8,3	5,7	3,5

Касаемо действия грибков подвергнутая термообработке древесина показала следующие результаты. Грибок *Poria placentia* вызвал самую высокую потерю массы у модифицированных материалов, в диапазоне от 7,4 до 31 %, в то время как из-за грибка *Coniophora puteana* термообработанные образцы потеряли от 3,4 % до 16,3 %, в связи с чем можно сделать вывод, что необходима более высокая температура обработки древесины для того, чтобы добиться максимальной устойчивости к воздействию грибка *Poria placentia* по сравнению с устойчивостью к воздействию *Coniophora puteana*.

Заключение

Результаты проведенных экспериментов показали, что термически модифицированные сосна и дуб имеют значительно улучшенную природную стойкость после длительного контакта с почвой, содержащей грибки *Poria placentia* и *Coniophora puteana*, по сравнению с необработанной древесиной. При этом значение имеет технология термомодифицирования, по которой обрабатывается древесина. Так, из всех материалов наиболее стойкими оказались образцы, обработанные в масле, что вызвано дополнительной пропиткой термодревесины маслом. Наименее стойкими к гниению проявили себя образцы, прошедшие обработку в среде насыщенного пара при более низкой температуре 180 °C, что позволяет сделать вывод о том, что данная технология непригодна для изготовления изделий, предполагающих глубокий контакт с почвой. Таким образом, для обработки древесины до высокой степени биостойкости требуются температуры свыше 220 °C на протяжении не менее 3 часов. Касательно грибков, определено, что требуется более высокая температура обработки для максимальной устойчивости к воздействию грибка *Poria placentia* по сравнению с устойчивостью к воздействию *Coniophora puteana*.

Представленная работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-5596.2016.8).

Литература

1. P. A. Kaynov, Energy saving technology for

thermal modification of wood in the environment of flue gases, Published dissertation for the degree of candidate of technical Sciences, (2012) Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation.

2. M. J. Boonstra, B. F. Tjeerdsma, H.A.C. Groeneveld, Thermal modification of non-durable wood species. Part 1. The PLATO technology - thermal modification of wood. IRG/ WP/98-40123. (1998) 13 s.
3. W.F. Calonego, Severe E.T. Durgante, E.L. Furtado, Decay resistance of thermally-modified *Eucalyptus grandis* wood at 140°C, 160°C, 180°C, 200°C and 220°C. *Bioresour Technol* 101:9391-9394. (2010).
4. Вакуумно-конвективное термомодифицирование древесины в среде перегретого пара // Сафин Р. Р., Сафин Р. Г., Шайхутдинова А. Р. // Вестник Казанского технологического университета № 6 / 2011
5. Термомодифицирование древесины в среде водяного пара: диссертация кандидата технических наук // Шайхутдинова А.Р. // 05.21.05
6. Порошковые и порошково-активированные бетоны с использованием горных пород и зол ТЭЦ : диссертация кандидата технических наук // Белякова Е.А. // 05.23.05
7. E. Banks, Degradation of wood surfaces by water, *Holz als werkstoff*. №4 (1990) S/ 159-163.
8. N.Yilgor, Nami S. Kartal, Heat modification of wood: chemical properties and resistance to mold and decay fungi, *For Prod J.*, 60(4) (2010) 357-361.
6. Finnish Thermowood Association, *ThermoWood® handbook*, 2003.
7. R.R. Safin, , Vacuum-convective thermo modification of wood in superheated steam, *Bulletin of Kazan technological University*, 6 (2011) 93-99.
8. R.R. Safin, Š. Barčík, A.R. Shaikhutdinova, P. Kaynov, E. Razumov, Development of the energy-saving technology of thermal modification of wood in saturated steam, *Acta Facultatis Xylologiae* 57 (2) (2015) pp. 39-47.
9. N.R. Galyavetdinov, R.R. Safin, E. Beliakova, A.R. Shaikhutdinova, F.V. Nazipova, The energy saving in the process of thermomodification of wood in liquids, *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 1 (4) (2016) pp. 309-316

10. R.R. Safin, E.A. Belyakova, Experimental study of thermo modification of wood in hydrophobic liquids, Bulletin of Kazan technological University, 12: (2011) 241-245.
11. R.R. Safin, R.R. Khasanshin, D.A. Ahmetova, The study of thermo modification of pine in the conditions of vacuum-conductive devices, Design and manufacture of furniture, 2:36 (2008) 39.
12. R.R. Safin, R.R. Khasanshin, A.R. Shaikhutdinova, A.V. Safina, Research of heating rate while thermo modification of wood, World Applied Sciences Journal, 30 (11) (2014) 1618-1621.
13. M. Sailer, O. Rapp, Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment, The International Research Group on Wood Preservation, Document IRG/WP 00-40162 (2000) pp:16.
14. B. Tjeerdsma et al., Process development of treatment of wood with modified hot oil, In: Wood Modification: Processes, Properties and Commercialisation, 2nd European Conference on Wood Modification, Gottlingen – Germany, (2005)186-197.

© **А.Р. Шайхутдинова** – к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», aigulsha@mail.ru; **Р.Р. Сафин** – д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», cfaby@mail.ru.

УДК 674.028.9

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ШПОНА И ПОЛЯРИЗАЦИИ КЛЕЯ НА ВЛАГОСТОЙКОСТЬ ФАНЕРЫ

А.Ф. Замилова, М.Ф. Галиханов, Р.Р. Зиатдинов, Н.А. Пестова, Я.К. Микрюкова

В статье исследуется влияние процесса термомодифицирования шпона и воздействия постоянного электрического поля на влагостойкие и адгезионные свойства березовой фанеры, приведены результаты экспериментальных данных. Предварительное термомодифицирование шпона и поляризация в процессе приготовления фанеры позволяют повысить влагостойкость и прочность фанерного материала.

Ключевые слова: березовая фанера, поляризация, термомодифицирование, электрет, карбамидоформальдегидная смола, прочность, влагостойкость, постоянное электрическое поле.

The influence of the process of the thermomodification of veneer and the influence of the constant electric field on the moisture-proof and adhesion properties of birch plywood is investigated in the article, the results of experimental data are presented. The previous thermomodification of veneer and polarization during the preparation of plywood can improve the moisture resistance and strength of plywood material.

Keywords: birch plywood, polarisation, thermomodification, electret, urea-formaldehyde resin, strength, moisture resistance, constant electric field.

Введение

Для устранения недостатков перспективного древесно-клееного материала – фанеры (высокая гигроскопичность, потеря прочности, формоизменяемость при использовании в среде высокой влажности и др.) используют различные химические модифицирующие добавки для клея. Например, введение в карбамидоформальдегидную смолу парафиновой эмульсии при производстве фанерного материала заметно препятствует

сорбции воды [1-3]. Так же для снижения сорбции фанерой воды применяют: модификаторы нафтол [4], добавки на основе кислот [5], латекс [6], глиоксаль [7], наполнители (графитовая мука, мука из пиритовых огарков) [8], а в работе [9] в карбамидомеламинаформальдегидную смолу добавлена нанокристаллическая целлюлоза, в работе [10] разработан рациональный состав смолы. В работе [11] подбором мольного соотношения формальдегида к мочеvine, достигли высоких значений адгезии.

Для этой цели возможна и химическая модификация фанеры [12].

Повышение свойств фанеры можно достичь и введением различных пропиток и добавок для шпона. К примеру, в работе [13] произведена пропитка древесины активированной нанопибриллярной целлюлозой.

В патенте [14] предложено склеивание под давлением слоев шпона, которые перед этим предварительно пропитывают композицией, содержащей касторовое масло и растворитель. По патенту [15], технология изготовления влагостойкой фанеры включает упрочнение высушенных листов шпона при давлении 1,0-2,2 МПа и температуре 60-200 °С, их охлаждение до температуры не выше 45 °С, нанесение клея на поверхность шпона, сборку шпона в пакет, подпрессовывание и горячее прессование пакета шпона.

В то же время, одной из главных задач деревообрабатывающей и строительной области является производство фанеры с применением интенсивных технологий физического воздействия. В связи вышеизложенным, на первый план выходят методы снижения влагостойкости и повышения адгезионной прочности клееной древесины, например, за счет термомодифицирования, использования электрических, магнитных полей и др. [16-21].

В работе [21] было проведено исследование физических свойств слоистого материала на основе термообработанной древесины. Установлено, что высокотемпературная обработка шпона приводит к снижению гигроскопичности, изменению цвета, плотности, массы и клеточной структуры образца. Подтверждена повышенная водостойкость фанеры на основе термообработанного шпона, рациональная температура обработки древесного наполнителя 190-210 °С.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния воздействия температуры (предварительное термомодифицирование шпона) и постоянного электрического поля в процессе изготовления фанерных материалов на их сорбционные и прочностные свойства и поиск оптимальной технологии изготовления влагостойкой фанеры.

Экспериментальная часть

Объектами исследований являлись фанерные материалы на основе березового шпона (БШ) и карбамидформальдегидной (КФС) марки КФ-Ж.

Контрольные образцы изготавливались по стандартной технологии. В качестве интенсивных технологий использовались высокотемпературная обработка шпона при 220 °С в течение 1,5 часов и воздействие постоянного электрического поля напряженностью 5000 В/см в процессе приготовления фанеры (отверждения клея). Сборку шпона в пакет осуществляли с нанесением клея с расходом 180-190 г/м².

Образцы изготавливались по четырем технологиям. Первая технология (ПФ – поляризация фанеры): фанерные образцы с жидким (неотвержденным) клеевым слоем подвергали горячему прессованию при температуре 120 °С и давлением 0,5 МПа с одновременной поляризацией между обкладками конденсатора постоянным электрическим полем с напряженностью 5000 В/см в течение 20 минут, так, чтобы силовые линии были направлены перпендикулярно клеевому шву.

По второй технологии (БП – без поляризации) приготовление образцов шло при тех же температурных и временных режимах, что при первой технологии, но поляризация фанеры не осуществлялась.

Третья технология (ТШПФ – термомодифицирование шпона и поляризация фанеры) предварительно высушенный березовый шпон подвергался высокотемпературной обработке при 220 °С в течение 1,5 часа с последующим охлаждением. Затем образцы изготавливались аналогично технологии ПФ.

Четвертая технология (ТШБП – термомодифицирование шпона, фанера без поляризации): предварительно высушенный березовый шпон подвергался высокотемпературной обработке при 220 °С в течение 1,5 часа с последующим охлаждением. Затем образцы изготавливались аналогично технологии БП.

Влагостойкость полученных образцов определялась по ГОСТ 16483.20-72 «Древесина. Метод определения водопоглощения» и 16483.19-72 «Древесина. Метод определения влагопоглощения».

Водопоглощение W_1 и влагопоглощение W_2 определяли по формуле:

$$W = \frac{m_n - m}{m} \cdot 100 \quad (1)$$

где W – количество поглощенной влаги, %;
 m – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;
 m_n – масса образца, взвешенного через n суток с момента первоначального погружения образца в воду, г.

Основным прочностным показателем фанерных материалов, показывающих прочность именно адгезионного сцепления «шпон-клей» является предел прочности при скалывании по клеевому слою. Предел прочности при скалывании по клеевому слою $\tau_{ск}$ определяли по ГОСТ 9624-2009 «Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании» по формуле:

$$\tau_{ск} = \frac{P_{max}}{b \cdot l} \quad (2)$$

где P_{max} – максимальное значение разрушающей нагрузки, Н; b – ширина образца (плоскости скалывания), мм; l – длина плоскости скалывания, мм.

Предел прочности при скалывании для каждого образца определялся с точностью до 0,5 МПа.

Результаты и их обсуждение

Для начала были температурные и временные режимы обработки компонентов фанеры.

Время высокотемпературной обработки составило 1,5 час, поскольку меньшая продолжительность не позволяет добиться необходимой степени термической обработки, а большая продолжительность приводит к значительному увеличению энергетических затрат.

Высокотемпературная обработка шпона проводилась при 220 °С, поскольку более низкие температуры не позволяют добиться качественной термической обработки, а более высокие температуры сильно ухудшают прочностные характеристики образцов.

Длительность поляризации фанерных образцов в постоянном электрическом поле (20 минут) обусловлена необходимостью эффективных структурных изменений в полимерной матрице клеев, но увеличение продолжительности поляризации не желательно: повышаются энергетические затраты и снижается экономическая эффективность.

Значения физико-механических испытаний, а также водо- и влагопоглощения фанерных образцов к 30-ым суткам представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты испытания фанерных образцов

Технология изготовления фанерных образцов	W_1 , %	W_2 , %	$\tau_{ск}$, МПа
ПФ	110,96	15,25	3,3
БП	115,22	20,84	1,4
ТШПФ	86,05	8,2	2,5
ТШБП	100,14	10,1	1,2

При сравнении фанерных образцов (табл. 1) видно, что наилучшими прочностными характеристиками обладают образцы, изготовленные по технологии ПФ. Поляризация фанеры с одновременным отверждением клеевой прослойки в постоянном электрическом поле повышает прочность фанерных материалов на 135 %. Это объясняется тем, что воздействие постоянного электрического поля приводит к структурным изменениям в полимерной матрице клеев, к интенсивному упорядочиванию в расположении макромолекул полимера, сближению их между собой, формированию новых молекулярных связей в виде сшивок макромолекул, что способствует увеличению прочности клеевого шва и влагостойкости фанеры.

По таблице 1 можно увидеть, что наибольшее снижение значений водо- и влагопоглощения получилось для образцов, изготовленных из термомодифицированного шпона. Это объясняется тем, что благодаря предварительной высокотемпературной обработке шпона происходит разложение некоторых компонентов древесины, в частности гемицеллюлозы, что способствует снижению гигроскопичности материала и уменьшению его

разбухания в случае увлажнения. Это, в конечном счете, влечет за собой уменьшение давления набухания шпона и увеличение его влагостойкости и размероустойчивости. Наименьшими значениями влаго- и водопоглощения обладают образцы, изготовленные по технологии ТШПФ, где наблюдается снижение водопоглощения на 61 % и водопоглощения на 25 % (по сравнению с обычными образцами, изготовленными по технологии БП. Однако процессы, происходящие в процессе термомодифицирования шпона, в конечном итоге снижают прочность готовой фанеры.

Изучив результаты полученных испытаний, можно прийти к выводу, что оптимальной технологией изготовления влагостойкой фанеры является технология ТШПФ, включающая предварительное термомодифицирование шпона и поляризацию фанеры в постоянном электрическом поле в процессе отверждения клеевой прослойки.

Заключение

Таким образом, благодаря предварительной высокотемпературной обработке шпона и воздействия постоянного электрического поля на фанеру можно значительно повысить ее влаго- и водостойкость и улучшить прочностные характеристики клеевого шва.

Литература

1. Эльберт А. А. Водостойкость древесностружечных плит / А. А. Эльберт. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 96 с.
2. Плотников Н. П. Модификация карбамидоформальдегидных связующих для производства ДСтП / Н. П. Плотников, Г. П. Плотникова // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 11. – С. 152 – 158.
3. Угрюмов С. А. Исследование свойств композиционной фанеры с внутренним слоем из древесной стружки / С. А. Угрюмов // Вестник КГТУ: Периодический научный журнал. – Кострома: КГТУ, 2005. – №11. – С.110 – 111.
4. Плотникова Г. П. Оптимизация процесса производства клееной фанеры на основе применения модифицированных смол / Г. П. Плотникова, Н. П. Плотников // Труды БрГУ.
- Серия: Естественные и инженерные науки. – 2013. – Т. 2. – С. 122 – 125.
5. Угрюмов С. А. Применение модифицированной карбамидоформальдегидной смолы в производстве кистроплит / С. А. Угрюмов, Р. А. Павлов // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. – 2015. – № 9. – С. 220 – 223.
6. Глазков С. С. Поверхностные явления при образовании и отверждении клеевого слоя модифицированной карбамидоформальдегидной смолы / С. С. Глазков, Е. В. Снычева, О. Б. Рудаков // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012. – Т. 12. – № 1. – С. 105 – 113.
7. Стородубцева Т. Н. Улучшение адгезии в системе полиэтилентерефталат – древесина / Т. Н. Стородубцева, А. А. Аксомитный // Лесотехнический журнал. – 2015. – № 4. – С. 169 – 176.
8. Стородубцева Т. Н. Влияние водопоглощения на свойства древесины в полимерцементном композиционном материале / Т. Н. Стородубцева, А. И. Томилин // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 2. – С. 177 – 182.
9. Шамаев В. А. Исследование склеивания фанеры с применением нанокристаллической целлюлозы / В. А. Шамаев, Е. М. Разиньков, Ищенко Т. Л. [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 1. – С. 151 – 155.
10. Кондратьев В. П. Карбамидомеламинаформальдегидная смола ЦНИИФ СКМФ для производства экологически чистой водостойкой фанеры / В. П. Кондратьев, А. Б. Чубов, Е. Г. Соколова // Деревообрабатывающая промышленность. – 2011. – № 1. – С. 6 – 10.
11. Park Byung-Dae Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios // Journal of Applied Polymer Science. – 2008. – Vol. 108. – P. 2045 – 2051.
12. Wu Guo-feng Effect of chemical modification and hot-press drying on poplar wood / Guo-feng Wu, Qian Lang, Ping Qu et al. // BioResources. – 2010. – Vol. 5(4). – P. 2581 – 2590.
13. Шамаев В. А. Получение модифицированной древесины химико-механическим способом и исследование ее свойств / В. А. Шамаев //

- Лесотехнический журнал. – 2015. – № 4. – С. 177 – 187.
14. Пат 2323196 Российская Федерация, МПК C04B 41/63. Пропитывающая композиция для материалов с пористой структурой и влажностью более 10 %, способ гидроизоляции влажного бетона (варианты) и способ изготовления водостойкой фанеры (варианты) с использованием этой композиции / Веселовский Р. А.; заявитель и патентообладатель Веселовский Р. А. – заявл. 13.09.2006; опубл. 27.04.2008, Бюл. № 12. – 10 с.: ил.
 15. Пат 22242566 Российская Федерация, МПК В 27 D 1/04. Способ изготовления клееных слоистых древесных материалов из шпона / Орлов А. Т., Шевандо Т. В., Шорникова Н. Ю., Майорова Т. А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество Центральный научно-исследовательский институт фанеры – заявл. 20.10.2003; опубл. 27.01.2004. – 3 с.: ил.
 16. Замилова А. Ф., Салдаева О. С., Галиханов М. Ф. Влияние поляризации фанеры в процессе приготовления на ее водо- и влагопоглощение // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, № 13. – С. 57-60.
 17. Попов В. М., Новиков А. П., Иванов А. В. Влияние магнитной обработки полимерных клеев на прочность клеевых соединений на их основе // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т.18, № 3. – С. 414-421.
 18. Galyavetdinov N. R., Safin R. R., Voronin, A. E. Analysis of physic-mechanical properties of composites based on polylactide and thermally modified wood fibers // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 870. – P. 202–206.
 19. Razumov E. Y., Safin R. R., Barcik S. S., Kvietskova M., Romelevich K. R. Studies on mechanical properties of composite materials based on thermo modified timber // Drvna Industrija. – 2013. – Vol. 64. – P. 3 – 8.
 20. Замилова А. Ф., Галиханов М. Ф., Зиятдинов Р. Р. Влияние постоянного электрического поля на прочность фанерных материалов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2016. – № 4. – С. 17-20.
 21. Khasanshin R. R., Safin R. R., Razumov E. Y. High temperature treatment of birch plywood in the sparce environment for the creation of a waterproof construction veneer // Procedia Engeneering. – 2016. – Vol. 150. – P. 1541–1546.

© **А.Ф. Замилова** – аспирант кафедры «Технологии переработки полимеров и композиционных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», e-mail: Alinka-attractive@mail.ru; **М.Ф. Галиханов** – д.т.н., профессор кафедры «Технологии переработки полимеров и композиционных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», e-mail: mgalikhanov@yandex.ru, тел. (843) 231-40-74; **Р.Р. Зиятдинов** – к.т.н. доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **Н.А. Пестова** – магистр кафедры «Технологии переработки полимеров и композиционных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **Я.К. Микрюкова** – студент кафедры «Технологии переработки полимеров и композиционных материалов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

УДК 662.754

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВА

В.В. Губернаторов, Р.Р. Хасаншин

В данной статье рассмотрены современные виды производства энергии из биомассы для промышленности, получение электроэнергии и топлива для транспорта. Биоэнергетика является всеобъемлющим термином для всех видов биомассы и биотоплива. Зеленая энергия является альтернативным термином, используемым для обозначения возобновляемых источников энергии, то есть энергии, вырабатываемой из источников, которые считаются экологически чистыми. Термин

биотопливо употребляется для определения как жидких, так и газообразных видов топлив, которые в основном получают из природного материала.

Ключевые слова: биоэнергия, биодизель, биотопливо, природное сырье.

This article describes the modern forms of energy production from biomass for the industry, generating electricity and fuel for transport. Bioenergy is a comprehensive term for all types of biomass and biofuels. Green energy is an alternative term used to refer to renewable sources of energy, that is energy produced from sources that are considered environmentally friendly. The term is used for determining the biofuel both liquid and gaseous fuels, which is mainly produced from natural raw materials.

Keywords: bioenergy, biodiesel, biofuel, natural raw materials.

Введение

Альтернативные источники энергии используют внутренние природные ресурсы и имеют практически минимальный выброс загрязняющих веществ и парниковых газов. Такой вид энергии способен регенерировать, благодаря чему и получил название «возобновляемые источники энергии». Данные источники можно производить и выращивать практически во всем мире в отличие от ископаемых ресурсов. Мировая статистика использования возобновляемых источников энергии за 2015 год: биомасса – 46 %; ГЭС – 45 %; геотермальная энергия – 6 %; ветровая энергия – 2 %, солнечная энергия – 1 % [9].

Сырье, добываемое из растительных материалов, называют биомассой. Оно, как правило, получается из растений, древесины или отходов животноводства. Термин «современная биомасса» описывает производство и использование жидкого, твердого или газообразного вида биологического топлива. При производстве такого топлива применяют современное оборудование и технологии.

Биоэнергетика может стать огромным производителем экологически чистой энергии для промышленности, электроэнергетики и транспортного сектора. Прежнее положение такого вида энергии на мировой рынке было не рентабельным, но современные технологические разработки уменьшили затраты на ее производство, тем самым, увеличивая спрос и эффективность биоэнергетического производства [16].

В настоящее время наблюдается явный прогресс в увеличении производственных мощностей, усилении конкуренции с традиционными видами топлива, расширении международной торговли, а также в активных международных дискуссиях по поводу устойчивости использования и производства экологически чистого топлива [17].

Основная часть

Существует три способа использования биомассы. Её можно сжигать для производства тепла и электроэнергии, преобразовывать в газообразное или жидкое топливо. Жидкое топливо включает в себя две формы спиртосодержащего раствора: этанола и метанола. Поскольку сейчас огромный акцент ставят на экологичность, то это может когда-нибудь сместить основные виды горючих топлив применяемых для легковых автомобилей, грузовиков, самолетов и поездов [19].

Биоэнергия – это энергия, получаемая из органических источников, таких как: лигноцеллюлозные материалы, древесина, сельскохозяйственные культуры, твердые бытовые отходы, пищевые отходы, отходы сельского хозяйства и животноводства.

На сегодняшний день, древесина по-прежнему считается самым большим ресурсом для производства биоэнергии. Ее по-прежнему применяют в разных отраслях промышленности и даже научились преобразовывать в жидкие виды биотоплива. Биотопливом является любой вид топлива, полученный из природного сырья. Биоэтанол и биодизель представляют собой первое поколение жидкого горючего топлива на природной основе. Биоэтанол – является топливом на спиртовой основе, которое получается в результате ферментации сахара или крахмала. Сырьем для его производства служит: сахарный тростник, свекла, пшеница, ячмень и кукуруза. Биодизель производится из отходов древесины, растительных масел и животных жиров. Биогаз производится из органических материалов.

Производство биоэтанола является одним из альтернативных способов для снижения потребления сырой нефти как транспортного топлива и уменьшения загрязнения окружающей среды. Он может быть получен из целлюлозных исходных материалов: таких как стебли кукурузы, рисовая солома, выжатый сахарный тростник, балансовая

древесина. Однако конверсию целлюлозы и гемицеллюлозы в мономерных сахарах труднее осуществить, чем превращение крахмала, используемого для производства биоэтанола.

Биоэтанол является широко используемым жидким видом биотоплива. Он представляет собой важный, возобновляемый природный ресурс для снабжения автотранспортных средств. Использование биоэтанола в качестве топлива для автомобилей было начато практически одновременно с созданием первых двигателей внутреннего сгорания. При производстве биоэтанола должен происходить процесс предварительной обработки материала – гидролиз. Часть целлюлозы гидролизуют кислотами или ферментами, которые в процессе брожения переходят в биоэтанол. Сахара из гемицеллюлозы также ферментируются.

В настоящее время, возобновляемые спирты производят синтезом этанола из этилена или метанола из природного газа. Изготовление биоэтанола из сахарного сока, оказывается экономически привлекательным там, где гидроэлектроэнергия доступна по очень низкой цене.

Биоэтанол может быть использован непосредственно в автомобилях, предназначенных для работы на чистом этаноле или в смеси с бензином. Этанол может быть использован в качестве добавки для повышения октанового числа бензинового топлива. Мировое производство этанола из сахарного тростника, кукурузы и сахарной свеклы увеличилась с 20 миллиардов литров в 2010 году до 40 миллиардов литров в 2015 году. Это составляет около 3 % мирового потребления бензина [8].

Биодизель является лучшим заменителем дизельного топлива для двигателей. Он может быть использован в смеси с нефтяным дизельным топливом или без него, но с небольшим количеством модификаторов [3]. В настоящее время использование такого топлива составляет менее 0,2 % от стандартного дизельного топлива, потребляемого транспортом во всем мире. В последнее время биодизель стал более привлекательным из-за его экологичности. Стоимость данного вида топлива выше стандартного дизельного топлива, поэтому имеются препятствия на пути к коммерциализации продукта [17]. Кроме того, при приготовлении масел, используемых в

качестве сырья для производства, имеются некие технологические сложности, которые повышают его стоимость.

В дополнение к биологическому разложению биодизель не токсичен, он также практически не содержит серы и ароматических углеводородов, производя при этом более низкие выбросы выхлопных газов по сравнению с обычным дизелем, обеспечивая при этом сходные свойства с точки зрения топливной эффективности. Биодизельное топливо выглядит как янтарно-желтая жидкость с вязкостью, аналогичной обыкновенному дизелю. В мире используется система известная как «В» фактор, она показывает количество такого топлива в любом топливном балансе страны, в отличие от системы «ВА», используемой для биоспирта и смесей на его основе [9]. Например, топливо, содержащее 20 % биодизеля помечена индексом B20. Чистый биодизель помечают индексом B100. Общие международные стандарты для производства биодизельного топлива помечаются индексами EN 14214 и ASTM D6751. Биодизель имеет такой же эквивалент, что и обычный дизель [12]. Одним из недостатков использования чистого растительного масла в качестве топлива является его высокая вязкость. Данная проблема может быть решена с помощью различных современных технологий, таких как разбавление, пиролиз, или трансформация катионов. Из этих процессов трансформации растительного масла катионом в сверхкритическом метаноле было показано, что особенно перспективно, производство метиловых эфиров с низкой вязкостью без катализатора. Кроме того, метиловые эфиры имеют значительно более низкие точки зольности, чем у чистых растительных масел.

Биодизель сгорает аналогично обычному дизельному топливу. Благодаря этому дизельное топливо может быть легко заменено биодизельным топливом из растительных масел. Его в настоящее время производят из соевых бобов, рапсового и пальмового масла. Значения тепловой выработки биодизеля 39-41 МДж/кг, что немного ниже, чем у бензина 46 МДж/кг, стандартного дизельного топлива 43 МДж/кг, или минерального масла 42 МДж/кг, однако выше, чем у угля 32-37 МДж/кг. Цена такого топлива более чем в два раза превышает цену простого дизельного топлива. Главную роль в

повышении стоимости берут на себя затраты на производство и на сырье, оно составляет около 80 % от общей стоимости [4].

Однако из производства и использования биодизеля можно получить экономическое преимущество. Во-первых с помощью сельскохозяйственной политики субсидирования выращивания непродовольственных культур. Во-вторых, производство биодизеля освобождает от немалого налога на нефть. Поэтому на Европу приходится почти 89 % от общего объема производства биодизельного топлива во всем мире [5].

Производство биотоплива в странах ЕС составило около 2,9 млрд. литров. В 2010 году, биоэтанола было произведено примерно 620 миллионов литров, а биодизеля примерно 2,3 млрд. литров. Запасами сырья, используемыми для производства этанола являются зерновые культуры и сахарная свекла, а биодизель производят в основном из семян рапса [14]. В 2014 году для производства биодизельного топлива задействовано 27 % рапсового урожая. В том же году для производства биоэтанола использовалось 0,4 % зерновых культур и 0,8 % сахарной свеклы. На сегодняшний день крупнейшими производителями биодизеля в мире является Германия, она выпускает больше половины биодизеля во всей Европе. Франция и Италия также являются важными производителями биодизельного топлива, в то время как Испания является ведущим производителем биоэтанола [5].

Затраты на производство биотоплива могут широко варьироваться в зависимости от исходного сырья, процесса конверсии, масштаба производства и региона. В настоящее время производство этанола, получается дороже, чем производство бензина. Только в Бразилии производство этанола способно конкурировать с бензином. Так как его производят из сахарного тростника, в США этанол производится из кукурузы, поэтому его производство выходит значительно дороже, чем в Бразилии а этанол производимый в Европе из зерна и сахарной свеклы получается еще дороже. Эти различия отражают собой множество факторов: таких как масштаб производства, процесс эффективности производства, затраты на сырье, капитальные и трудовые затраты, учет получаемого продукта, а также от характера оценок [18-23].

Стоимость крупномасштабного производства биопродуктов на данный момент высока даже в развитых странах. Например, себестоимость производства биотоплива может быть в три раза выше, чем у нефтяных видов топлив. Но стоит принять во внимание тот факт, что в развивающихся странах, затраты на производство биотоплива значительно ниже, чем в развитых странах, поэтому такое производство для них весьма целесообразно [6].

Заключение

Большинство процессов производства биотоплива, на сегодняшний день являются незрелыми, именно поэтому они до сих пор не были реализованы в промышленном масштабе. Тенденция развития производства биотоплива зависит от развития экономики, общества и желания переходить от стандартных источников энергии к биологически чистым.

Само производство биотоплива зародилось достаточно давно. Например, производство биодизеля началось в 1990-е годы. Он стал наиболее популярным в последнее время из-за его экологических свойств. Однако его производство достаточно дорого, но оно не облагается огромным налогом по сравнению с нефтяными видами топлива.

Использование природных ресурсов для получения энергии всегда имело огромную перспективу в развитии. Постепенно наблюдается тенденция перехода на биоэнергию. В любом случае производство биотоплива будет включать дополнительные экономические затраты, такие как: увеличение числа рабочих мест в производстве, увеличение инвестиций в основные средства, расширение сектора обрабатывающей промышленности, увеличение налоговой базы и налога на прибыль. Не смотря на все это, биотопливо имеет огромный потенциал, благодаря чему происходит значительное уменьшение загрязнения окружающей среды и снижение выбросов парниковых газов.

Литература

1. K. Alanne, A. Sari, *Renew. Sust. Energy Rev.*, 10, 539–558 (2006).
2. K. Arkesteijn, L. Oerlemans. The early adoption of green power by Dutch households: An empirical exploration of factors influencing the

- early adoption of green electricity for domestic purposes. *Energy Policy* 33:183–196 (2005).
3. A. Demirbas. Diesel fuel from vegetable oil via transesterification and soap pyrolysis. *Energy Sources* 24:835–841 (2002).
4. A. Demirbas. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: A survey. *Energy Convers. Mgmt.* 44:2093–2109 (2003).
5. A. Demirbas. Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy* 35:4661–4670 (2007).
6. A. Demirbas. Economic and environmental impacts of the liquid biofuels. *Energy Edu. Sci. Technol.* 22:37–58 (2008).
7. A. Demirbas. Social, economic, environmental and policy aspects of biofuels. *Energy Edu. Sci. Technol. Part B* 2:75–109 (2010).
8. A. Demirbas. Biofuels for future transportation necessity. *Energy Edu. Sci. Technol. Part A* 26:13–23 (2010).
9. EIA (Energy Information Administration). *Annual Energy Outlook 2006*. Energy Information Administration, Washington, DC: U.S. Department of Energy (2006).
10. D. Elliott. Prospects for renewable energy and green energy markets in the UK. *Renewable Energy* 16:1268–1271 (1999).
12. EPA (US Environmental Protection Agency). A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. Draft Technical Report, EPA420-P-02-001, (October 2002).
11. I. B. Fridleifsson. Status of geothermal energy amongst the world's energy sources. *Geothermics* 32:379–388 (2003).
12. J. Goldemberg, S. T. Coelho. Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass. *Energy Policy* 32:711–714 (2004).
13. C. Hamelinck, A. Faaij. Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy* 34:3268–3283 (2006).
14. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Fourth Assessment Report, Working Group III. Available from <http://www.ipcc.ch> (2007).
15. E. D. Larson. Technology for fuels and electricity from biomass. *Annual Rev. Energy Environ.* 18:567–630 (1993).
16. F. Ma, M. A. Hanna. Biodiesel production: A review. *Biores. Technol.* 70:1–15 (1999).
17. H. Murphy, H. Niitsuma. Strategies for compensating for higher costs of geothermal electricity with environmental benefits. *Geothermics* 28:693–711 (1999).
18. RFA (Renewable Fuels Association). *Ethanol Industry Statistics*. Washington, D.C.: Renewable Fuels Association (2007).
19. S. R. Tewfik. Biomass utilization facilities and biomass processing technologies. *Energy Edu. Sci. Technol.* 14:1–19 (2004).
20. Y. Zhang, M. A. Dub, D. D. McLean, M. Kates. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. *Biores. Technol.* 90:229–240 (2003).
21. Шаяхметова А.Х., Сафин Р.Р., Тимербаева А.Л., Зиатдинов Р.Р. Торрефицирование твердых видов биотоплива из древесины илузги подсолнечника // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 8. С. 138–141.
22. 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.
23. Хасаншин Р.Р., Тимербаева А.Л. // Совершенствование технологии производства топливных гранул на основе древесного сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 5. С. 72–74.

УДК 674.04

ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.Л. Тимербаева, Р.Р. Сафин

В статье проведен обзор наиболее распространенных конструктивных решений для осуществления процесса термической обработки измельченной древесины. По результатам литературного анализа выявлены основные преимущества и недостатки известных типов реакторов. Установлена актуальность дальнейшего исследования реакторов тарельчатого типа.

Ключевые слова: термическая обработка, измельченная древесина.

The article reviews the most common constructive solutions for the process of heat treatment of crushed wood. Based on the results of the literature analysis, the main advantages and disadvantages of known types of reactors are revealed. The urgency of the further research of disk type reactors is established.

Key words: heat treatment, crushed wood.

Введение

В настоящее время в России, как и во всем мире, существует большое разнообразие конструкций тепломассообменных установок для обработки измельченного целлюлозосодержащего растительного сырья. Каждый из этих установок имеет свои преимущества перед другими и свои недостатки. Установки, осуществляющие термическую обработку измельченной древесины, вследствие физико-химической природы данного процесса принято называть реакторами. В настоящее время нашли применение достаточно разнообразные по конструктивному и технологическому исполнению реакторы. Разработаны и созданы установки как с прямым подводом тепловой энергии к обрабатываемому материалу (конвективный нагрев инертными газами, насыщенным или перегретым паром, нагрев микроволновым излучением), так и с непрямым нагревом, при котором тепло передается через стенки аппарата. При этом более предпочтительным является создание прямого нагрева способствующего наиболее интенсивной и равномерной обработке сыпучего материала. По конструктивному исполнению реакторы подразделяют на шахтный, шнековый, ленточный и тарельчатый типы. Столь широкое разнообразие типов исполнения объясняется широким спектром стоящих задач при проектировании производства: в каждом конкретном случае в зависимости от типа сырья, требуемой производительности, доступных источников энергии некогда менее популярные

конструктивные решения могут оказаться более выгодными.

Основная часть

Наиболее простыми в конструктивном плане являются шахтные реакторы или торрефикационные колонны. Особенностью реактора является продвижение обрабатываемого сырья сверху вниз под действием силы тяжести с противоточной подачей горячего газообразного теплоносителя. В данном аппарате последовательно протекают практически все стадии процесса термической обработки: в верхней зоне реактора осуществляется сушка сыпучего материала, далее его прогрев до заданной температуры модифицирования, в нижней части – непосредственная термическая обработка. Лишь стадия охлаждения чаще всего вынесена за пределы колонны. Основным достоинством данных устройств является высокая эффективность теплообмена и возможность обработки различного вида и типоразмера сыпучего сырья. К недостаткам следует отнести неравномерность термической обработки различных фракций сырья и высокие гидравлические сопротивления потоку газообразного теплоносителя.

Одними из наиболее распространенных типов установок в настоящее время являются шнековые реакторы [1]. Данные установки производятся как с прямым, так и с непрямым нагревом. Удобство создания данных типов аппаратов объясняется возможностью разделения рабочего пространства реактора на

зоны с различной температурой, а также возможностью увеличения длины рабочей зоны в случае выявления недостатков конструкции в процессе эксплуатации путем создания аппарата с несколькими последовательно расположенными реакторами шнекового типа (рис. 1).

К основным недостаткам данного типа реакторов относят: низкую интенсивность

теплообмена вследствие недостаточного перемешивания слоя сыпучего материала, влекущую за собой высокие энергозатраты и неоднородность свойств конечного продукта, что особенно ярко выражено в установках с непрямым нагревом; невозможность обработки сырья с низкой насыпной плотностью и характерным размером частиц более 10 мм.

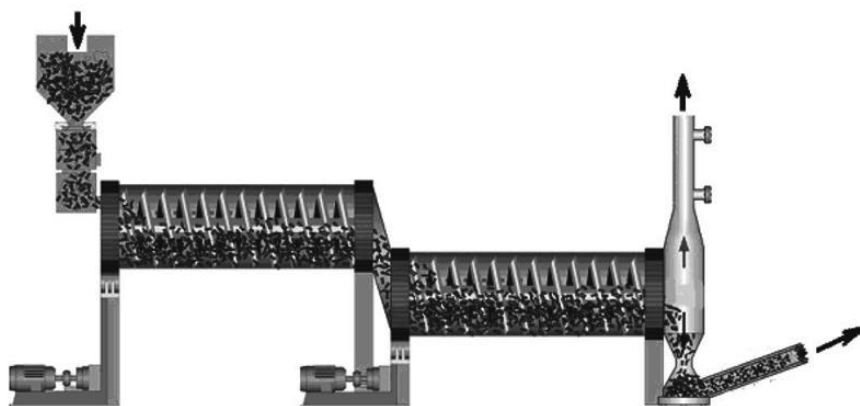


Рис. 1. Схема каскадного шнекового реактора энергетического исследовательского центра Нидерландов (Energy Research Centre of the Netherlands)

В работе Салимгаревой Р.В. [2] исследуется возможность использования хорошо зарекомендовавших себя в процессах сушки сыпучих материалов барабанных аппаратов применительно к процессу термомодифицирования измельченной древесины. Автором разработана математическая модель процесса, проведены экспериментальные исследования и пилотные промышленные испытания. Для исследований

была использована классическая схема с вращающимся барабаном с приваренными внутренними ребрами, осуществляющими перемешивание материала (рис. 2). Установлена эффективность применения данной конструкции для термической обработки древесного наполнителя в крупнотоннажном производстве древесно-полимерных композиционных материалов.

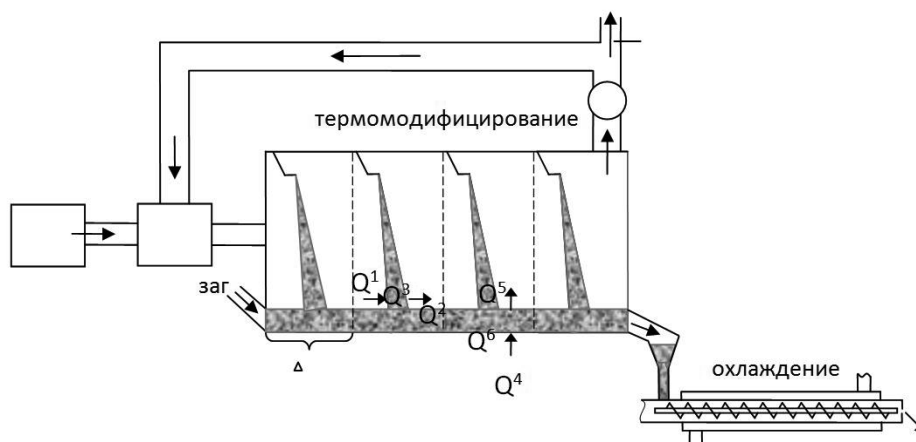


Рис. 2. Схема барабанного реактора на топочных газах [2]

Установки по тепловой обработке сыпучих материалов с кипящим слоем хорошо зарекомендовали себя в пищевой, химической, микробиологической и деревообрабатывающей промышленности. Для осуществления процессов в кипящем слое применяют односекционные и многосекционные аппараты. Однако стоит отметить, что в односекционных аппаратах происходит обратное перемешивание сплошной и дисперсной фаз, снижается

однородность псевдооживления, что ухудшает эффективность процесса. Многосекционные аппараты позволяют исключить эти недостатки путем горизонтального и вертикального секционирования кипящего слоя [3].

На основании исследований [4,5] была разработана конструкция однокамерного аппарата с направленным перемещением слоя без применения каких-либо сложных дополнительных устройств [6] (рис. 3).

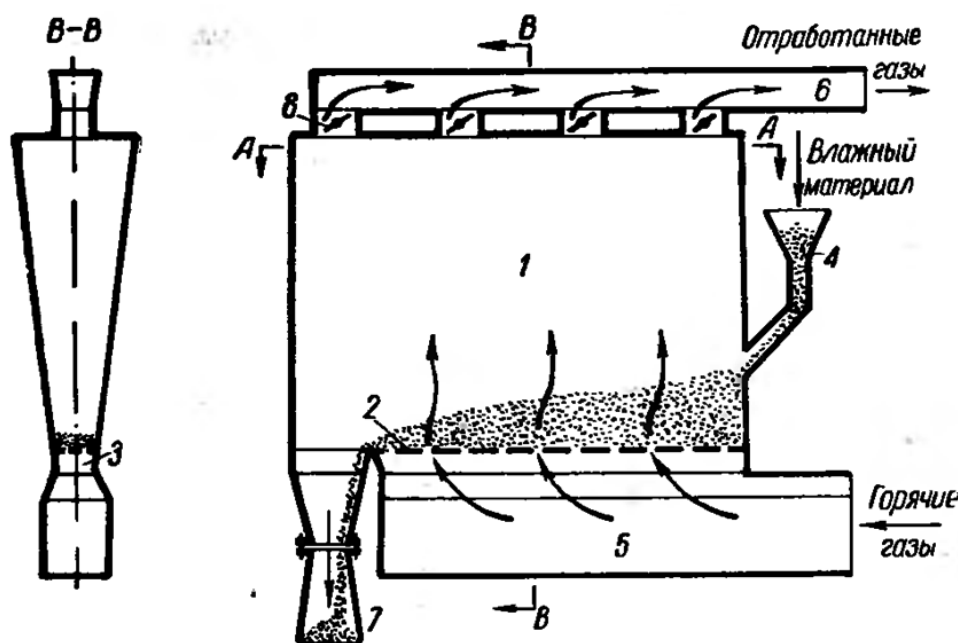


Рис. 3. Схема промышленной установки с направленным движением слоя:
1 – камера, 2 – решетка, 3 – газораспределительная щель, 4 – загрузочный бункер,
5 – газоподводящая коробка, 6 – газоотводящий коллектор, 7 – приемник сухого материала, 8 – заслонка

Наиболее технологически эффективными считаются реакторы тарельчатого типа, в которых обрабатываемый сыпучий материал подается на верхнюю тарелку аппарата с последующим механическим перемещением через пересыпные отверстия на нижележащие тарелки. При этом подвод тепла к материалу может осуществляться конвективным, контактным и конвективно-контактным способами (рис. 4). В случае с конвективным теплоподводом реализуется поперечная схема циркуляции теплоносителя.

Преимуществами данного типа реакторов являются достаточно высокая равномерность обработки сырья вследствие эффективного перемешивания в процессе его

движения, возможность оптимизации процесса путем регулирования температуры и длительности пребывания обрабатываемого сырья на тарелках, что позволяет использовать один аппарат для разных видов сырья. Кроме того, исследователи отмечают легкость масштабирования тарельчатых реакторов и возможность увеличения их диаметров до 7–9 м [7]. К недостаткам подобного типа устройств относят наличие подвижных элементов – вращающегося вала с мешалками, работающего при повышенных температурах. Однако, следует отметить, что ввиду менее плотного слоя движущегося материала нагрузка на вал значительно меньше, чем в случае эксплуатации шнекового реактора.

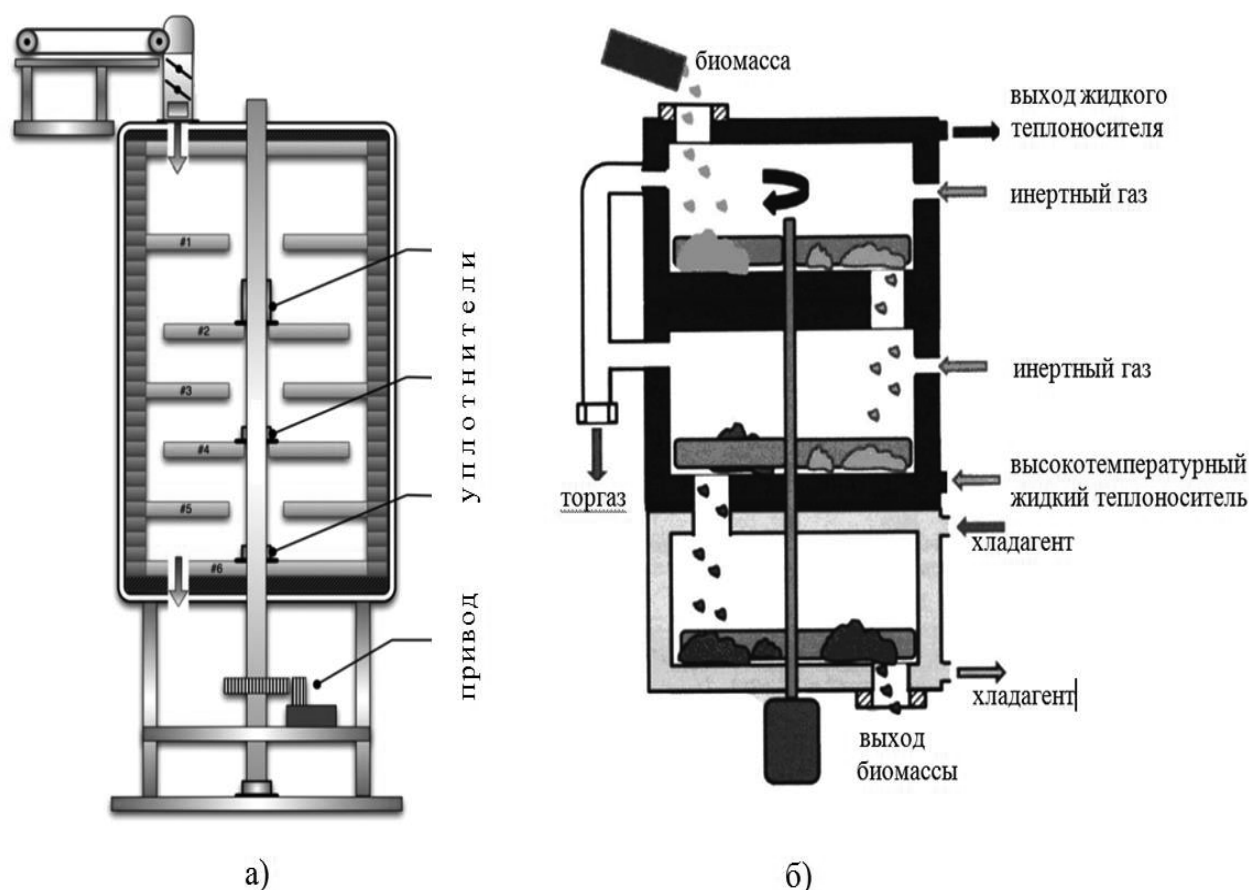


Рис. 4. Схемы тарельчатых реакторов [1]: а – с непрямым нагревом, б – с комбинацией прямого и непрямого нагрева

Кроме выше указанных реакторов для термической обработки измельченной древесины в литературе известны аппараты для обработки различных сыпучих материалов. В Институте катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской Академии наук разработано устройство для импульсной тепловой обработки сыпучих материалов (рис. 5) [7]. Данная технология включает стадии испарения поверхности влаги, быстрого нагрева до требуемой температуры и последующего охлаждения.

Контакт частиц с нагретой поверхностью осуществляется действием центробежных сил. Обработка движущихся частиц сыпучего материала происходит на вращающейся вертикальной цилиндрической нагретой

поверхности, на которой стадии испарения избыточной влаги и нагрева до требуемой температуры совмещены. Предложенное устройство для импульсной тепловой обработки сыпучих материалов обеспечивает упрощение управления процессом термообработки.

Для повышения температуры сушильного агента Васильевым А.С. и соавторами [8] предложено установить в сушильной камере дополнительный теплообменник, в который подаются топочные газы. Такая конструкция аппарата позволяет проводить обезвоживание гидратов, например, пасты тригидрата фторида алюминия в широком интервале температур (от температуры удаления свободной влаги равной 100 °С до температуры разрушения кристаллогидратов 600 °С).

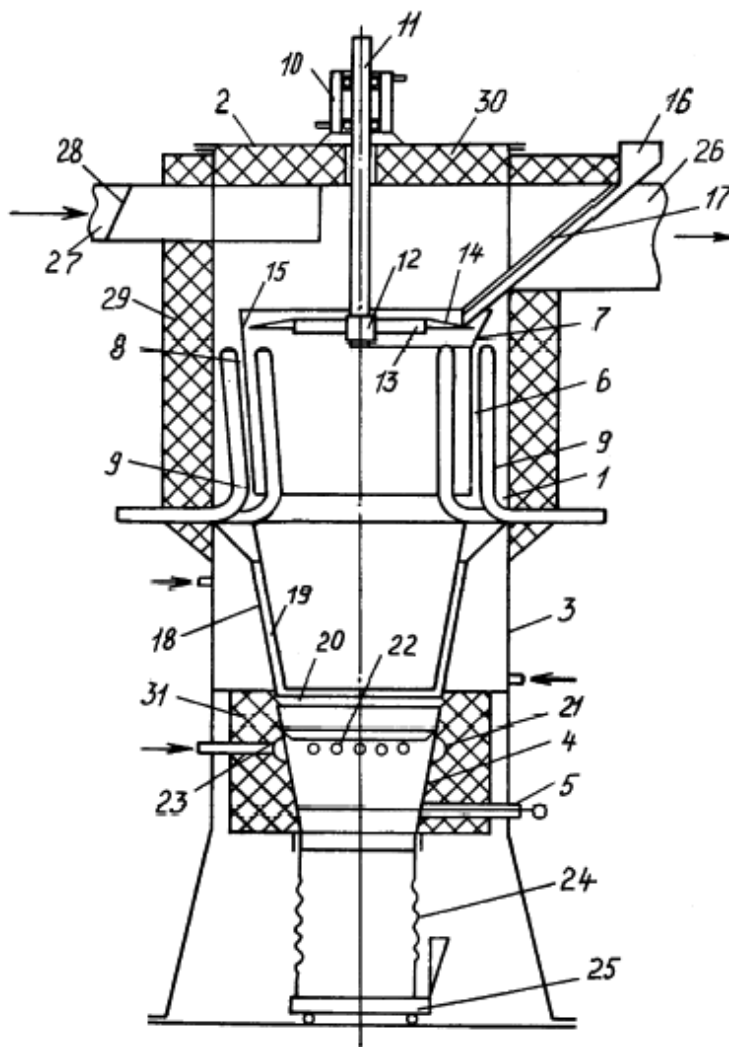


Рис. 5. Устройство для импульсной тепловой обработки сыпучих материалов:

1 – корпус; 2 – съемная крышка; 3 – холодильник; 4 – накопитель; 5 – шибер; 6 – вращающийся цилиндрический барабан; 7 – коническая отбортовка; 8 – конический барабан; 9 – электронагреватели; 10 – охлаждающий корпус; 11 – вал; 12 – ступица; 13 – ребро; 14 – упорное кольцо; 15, 19, 20 – зазоры; 16 – желоб; 17 – крышка желоба; 18 – экран; 21 – распределительный коллектор; 22, 26, 27 – патрубки; 23 – козырек; 24 – съемная тара; 25 – весы; 28 – заслонка; 29, 30, 31 – теплоизоляция

В работе [9] разработана и изготовлена установка для непрерывной термической переработки измельченного древесного сырья. Суть технологии – повышение производительности способа непрерывной термической переработки измельченной древесины путем интенсификации тепло- и массообмена за счет возможности увеличения скорости подачи газа – теплоносителя в перерабатываемую древесину, повышения уровня утилизации отходов древесины с получением высокопрокаленного древесного угля и пирогенной смолы (бионефти) с высокой энергетической плотностью [10-21].

Заключение

Проведенный анализ литературы по технологическим особенностям различных конструкций реакторов характеризует, что одними из наиболее эффективных типов, обеспечивающими лучшее качество обработки измельченной древесины, являются тарельчатые реакторы.

Представленная работа выполнялась при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-5596.2016.8).

Литература

1. Torrefaction Reactors; Worason Junsatien, Nitipong Soponpongpiat, Sivapong Phetsong; <http://journal.msu.ac.th/wp-content/uploads/2013/05/12-Torrefaction-Reactors.pdf>
2. Салимгараева Р.В. Технология термического модифицирования древесного наполнителя в производстве композиционных материалов: Дис. канд. техн. наук. – Казань, 2013. – 188 с.
3. Иванов В.Е. Сушка дисперсных материалов в сушилке кипящего слоя непрерывного действия / В.Е. Иванов. Дисс. канд. техн. наук Иваново 2010 г. 122 с.
4. Бейлин М.И. Применение кипящего слоя в народном хозяйстве СССР. – ЦИИНЦМ, 1965. с. 283.
5. Орел А.Д., Гетманец В.Ф. Авт. свид. СССР 139615, Бюлл. изобрет., № 13.- 1961
6. Кузнецов М.Д. Сушка сульфата аммония в аппарате с направленным перемещением кипящего слоя / М.Д. Кузнецов, И.Л. Непомнящий, П.Л. Новицкий, З.Г. Лянная // Кокс и химия. № 8. - 1961. - с. 39-42
7. Патент РФ № 2264589. МПК⁷ F 26 В 7/00, 11/12. Способ и устройство для импульсной тепловой обработки сыпучих материалов / Лахмостов В.С., Танашев Ю.Ю., Соколов Д.Н. и [др.]; заявитель и патентообладатель: Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской Академии наук. - № 2004109970/06, заявл. 01.04.2004, опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32. – 14 с.
8. Пат. 2036403 Российская Федерация, МПК F26B17/10. Секционированный аппарат для термообработки зернистых материалов / Васильев А.С., Калашников В.А., Оболенский В.Л., Староверов В.В.; заявитель и патентообладатель Московское научно-производственное объединение химического машиностроения; Советско-швейцарское совместное предприятие "Амко". - № 92015869/06; заявл. 1992.12.31; опубл. 1995.05.27.
9. Патент РФ № 2370520. МПК⁷ С 10 В 53/02. Способ непрерывной термической переработки измельченной древесины / Пиялкин В.Н., Ширшиков В.И., Прокопьев С.А. и [др.]; заявитель и патентообладатель: Пиялкин В.Н., Ширшиков В.И., Прокопьев С.А., Пильщиков Ю.Н. - № 2008119065/15, заявл. 15.05.2008, опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29. – 7 с.
10. Способ сушки термической обработки древесины // Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладышкина Н.А., Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А., Кузьмин И.А., Мазохин М.А., Шайхутдинова А.Р., Ахтямова Т.Н., Воронин А.Е. // патент на изобретение RUS 2425305 04.03.2010
11. Снижение расхода энергии на проведение процессов сушки древесины посредством вакуумно-конвективной технологии// Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г.Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. С. 22-23.
12. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов// 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.
13. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды// Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г.Лесной вестник. 2005. № 2. С. 168-173.
14. Усовершенствование технологии термомодифицирования древесины bikos-tmt // Сафин Р.Р., Белякова Е.А.Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 13. С. 134-136.
15. Экспериментальное исследование физического эффекта обработки древесных отходов вч-плазмой// Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И.// Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 1. С. 24-25.
16. Способ термической обработки древесины// 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 RUS 2453425 18.01.2011.
17. Математическая модель процесса термомодифицирования древесины труднопропитываемых пород в жидкости// Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р.Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 233-239.
18. Обзор современных технологических решений повышения энергоэффективности в процессах сушки пиломатериалов// Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В.// Вестник Казанского

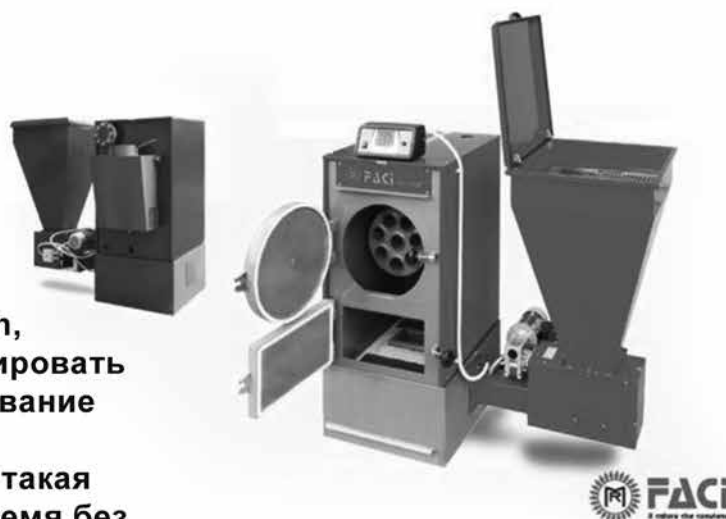
- технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 50-52.
19. Разработка методики классификации термомодифицированной древесины с помощью цветовой гаммы// Белякова Е.А., Сафин Р.Р., Бодылевская Т.А. // Деревообрабатывающая промышленность. 2013. № 1. С. 30-34.
20. Промышленная установка по термомодифицированию пиломатериалов в среде топочных газов// Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю.// Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 19. С. 122-124.
21. Способ термообработки древесины// Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Хайрутдинов С.З., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е., Шайхутдинова А.Р.// патент на изобретение RU 2422266 14.12.2009.

© **Р.Р. Сафин** – д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», cfaby@mail.ru; **А.Л. Тимербаева** – аспирант кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

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**



Навесы



Перила

Кованые решетки



Люкс Металл

- Широкий ассортимент продукции из металла
- Большой выбор готовых решений
- Создание новых проектов
- Услуги дизайнера
- Гарантия качества
- Короткие сроки исполнения
- Многолетний опыт работы

Лестницы



Качели



Ворота



г. Казань, ул. А. Кутуя, д. 163 А

сайт: www.rt-kovka.ru

e-mail: luxmetall@yandex.ru

тел.: (843)240-90-23

8-966-240-90-23

Металлические двери



Заборы



Входные группы



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
международно-
выставочно-деловой центр
имени Карена Мураваня



Официальная поддержка:



СИБИРСКОЕ
СОГЛАШЕНИЕ

Генеральный
информационный партнер:

ЛЕСПРОМ
ИНФОРМ