

Дерево

ISSN 0011-9008

3/2016

обрабатывающая
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



СЕНТЯБРЬ
SEPTEMBER

5-7

КРАСНОЯРСК
KRASNOYARSK

Ведущий региональный проект
по деревообработке в России!



XIX МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ExpoDrev Russia '17 KRASNOYARSK

INTERNATIONAL SPECIALIZED EXHIBITION

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

ИТОГИ
ВЫСТАВКИ 2016:

Площадь экспозиции: **6850** кв. м.

Количество экспонентов: **111**, из них **28** зарубежных компаний.

География экспонентов: **14** стран и **19** регионов России.

0+

МВДЦ «Сибирь»

г. Красноярск, ул. Авиаторов, 19

тел.: (391) 22-88-561, 22-88-611

expodrev@krasfair.ru

Организаторы:



Deutsche Messe

Официальная поддержка:



Генеральный
информационный партнер:

ЛЕСПРОМ
ИНФОРМ

ДЕРЕВО

ISSN 0011-9008

обработка промышленность

3/2016

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», 2016

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990

Сдано в набор 13.07.2016.
Подписано в печать 15.07.2016.

Формат бумаги 60x88/8
Усл. печ. л. 8
Тираж 580 экз. Заказ № 5799
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>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова</i>	3
--	---

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

<i>Шашин Д.Е.</i> Современная робототехника в лесном хозяйстве: реалии и перспективы	10
---	----

Физико-механические процессы в деревообработке

<i>Ахунова Л.В., Гараева А.Ф.</i> Оптимизация процесса фрезерования на станках с ЧПУ	15
---	----

<i>Филиппова А.П., Шайхутдинова А.Р.</i> Пассивный дом: современное состояние и перспективы развития	17
---	----

<i>Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А.</i> Повышение энергоэффективности и качества сушки лекарственного растительного сырья	23
--	----

<i>Богданов Р.Р., Калимуллин А.А., Белякова Е.А.</i> Цементно-стружечные плиты: преимущества и перспективы	27
---	----

<i>Галяветдинов Н.Р.</i> Анализ физико-механических свойств композитов на основе полилактида и термомодифицированных древесных волокон	31
---	----

Химическая технология древесины

<i>Сафин Р.Р., Салимгараева Р.В.</i> Термическая обработка измельченной древесины в условиях барабанных аппаратов	36
--	----

<i>Талипова Г.А., Волынский В.Ю.</i> Обзор исследований в области получения целлюлозных волокон лиоцелла	42
---	----

<i>Ибрагимова А.И., Байгильдеева Е.И.</i> Древесно-композиционные материалы на основе лигнина	47
--	----

<i>Сафин Р.Р., Кайнов П.А.</i> Влияние режимов предварительной термической обработки сырья на свойства и качество древесного топлива	52
---	----

Образование

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С.М. Кирова

ВУЗ образован в 1803 году как Царскосельский лесной институт, который в 1811 году из Царского села переведен в Санкт-Петербург и объединен с частным Лесным институтом графа Орлова, получив наименование Санкт-Петербургский форст-институт.

В 1813 году Санкт-Петербургский форст-институт реорганизован путем присоединения Козельского Лесного института в Санкт-Петербургский Практический Лесной институт.

В 1834 году Санкт-Петербургский Практический Лесной институт реорганизован путем присоединения к нему учебно-опытного Лисинского лесничества площадью 28 тыс. га.

В 1837 году Санкт-Петербургский Практический Лесной институт реорганизован в Лесной и Межевой институт, который в 1862 году преобразован в Лесную академию.

В 1864 году на базе Лесной академии образован Санкт-Петербургский земледельческий институт, который с 1877 года переименован в Санкт-Петербургский лесной институт.

В 1902 году Санкт-Петербургский лесной институт реорганизован путем присоединения к нему учебно-опытного Охтинского лесничества площадью около 1,1 тыс. га.

С 1914 года Санкт-Петербургский лесной институт стал именоваться Петроградским лесным институтом, который в 1924 году переименован в Ленинградский лесной институт.

Постановлением 2-й сессии Всероссийского Центрального Исполнительного Комитета РСФСР XIV созыва 28 ноября 1929 года Ленинградский лесной институт преобразован в Ленинградскую лесотехническую академию, которой постановлением Президиума Центрального Исполнительного Комитета СССР 27 сентября 1935 года присвоено имя С.М. Кирова.

Указом Президиума Верховного Совета СССР 15 октября 1953 года Ленинградская лесотехническая академия им. С.М. Кирова награждена орденом Ленина и стала именоваться как Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С.М. Кирова, которая в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 10 октября 1964 г. № 843 объединена со Всесоюзным заочным лесотехническим институтом сохранив наименование Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С.М. Кирова.

Постановлением Государственного Комитета РСФСР по делам науки, высшей школы от 11 февраля 1992 г. № 50 Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия имени С.М. Кирова переименована в Санкт-Петербургскую ордена Ленина лесотехническую академию имени С.М. Кирова.

Постановлением Совета Министров-Правительства Российской Федерации от 26 июня 1993 г. № 597 государственные награды бывшего СССР в официальном наименовании высшего учебного заведения не указываются.

2 октября 2002 года Санкт-Петербургская лесотехническая академия имени С.М. Кирова внесена в Единый государственный реестр юридических лиц как Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С.М. Кирова», которое распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 нояб-



ря 2009 г. № 1798-р реорганизовано путем присоединения к нему государственного образовательного учреждения среднего профессионального образования «Санкт-Петербургский колледж автоматизации лесопромышленного производства».

Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «27» мая 2011 г. № 1868 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С.М. Кирова» переименовано в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».



Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «18» марта 2016 г. № 237 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» переименовано в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».

ИНСТИТУТ ЛЕСА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Кафедры института:

- кафедра лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем;
- кафедра общей экологии, физиологии растений и древесиноведения;
- кафедра информационных систем и технологий;
- кафедра почвоведения и гидромелиорации;
- кафедра защиты леса и охотоведения;
- кафедра ботаники и дендрологии;
- кафедра лесных культур;
- кафедра лесоводства;
- кафедра технологии лесозаготовительных производств;
- кафедра геодезии и строительного дела.

ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСПОРТА ЛЕСА

Кафедры института:

- кафедра машин и оборудования лесного комплекса;
- кафедра эксплуатации транспортных и технологических машин;
- кафедра теплотехники и теплосиловых установок;
- кафедра промышленного транспорта;
- кафедра автоматики и автоматизации производственных процессов;
- кафедра механики.

ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ДЕРЕВА И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кафедры института:

- кафедра целлюлозно-бумажного производства и биотехнологии;
- кафедра технологии лесохимических продуктов, химии древесины и физической химии;
- кафедра химии;
- кафедра технологии древесных композиционных материалов и инженерной химии;
- кафедра безопасности жизнедеятельности.

ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ ЛЕСНОГО СЕКТОРА

Кафедры института:

- кафедра лесной политики, экономики и управления;
- кафедра экономики и управления деревоперерабатывающих производств;
- кафедра экономической теории;
- кафедра бухгалтерского учета и аудита;
- кафедра маркетинга и основ менеджмента.

ИНСТИТУТ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Кафедры института:

- кафедра садово-паркового и ландшафтного строительства;
- кафедра технологии деревообрабатывающих производств;
- кафедра технологии лесопиления и сушки древесины.

ОХТИНСКИЙ УЧЕБНО-ОПЫТНЫЙ ЛЕСХОЗ

Охтинская лесная дача была впервые отмежевана в 1748 году при Ингермаландском межевании под названием дачи "Охтинских военных поселений", лесные массивы которой удовлетворяли потребности в древесине Охтинского Порохового завода. Затерянные границы лесной дачи восстановлены в 1833 году.

По крокам границ составлен план (первые л/у работы), площадь дачи была равна 5747 гектаров. В 1868 году из военного ведомства, которым заведовал форстмейстер, полковник корпуса лесничих Диц, часть дачи, площадью 1938 гектаров, была передана Министерству Государственных имуществ с наименованием "Охтинская казенная лесная дача". Принял её заведующий Санкт-Петербургского лесничества, лесной кондуктор Петров. С этого времени леса дачи активно вовлекаются в хозяйственную и научную деятельность развивающейся лесной науки подготовки специалистов лесного профиля. В 1901 году директор Санкт-Петербургского Императорского Института Э.Э.Керн возбудил ходатайство о предоставлении Институту "Охтинской дачи" в качестве "учебного леса", так как имеющаяся в то время для этих целей Лисинская дача была отдалена от Института на 120км.

22 марта 1902 года последовало утверждение об удовлетворении этого ходатайства, а 16 сентября 1902 года "Охтинская лесная дача" была передана в ведение Института для научно-исследовательских лесоводственных опытов, экскурсий студентов и приобретения практических навыков по ведению лесного хозяйства. Таким образом, с 1902 года она стала называться "Охтинской лесной - опытной дачей". Она состояла в полном заведовании Лесным институтом как по личному составу, управлению, так и по направлению хозяйственной деятельности. Все остальные опытные лесничества в т.ч. и "Лисинское" были в подчинении бывшего казенного ведомства. Национализированные леса в 1917 году до 1920 года управлялись Губернским лесным отделом, а эксплуатацию Охтинской лесной дачи проводили Главлестоп и Облтоп. В 1921 году Лесная дача была передана Лесному Институту для учебных целей в числе других дач, преобразованных в Охтинское учебно-опытное лесничество. Однако ассигнования для ведения хозяйства не были спущены. Служащие и лесная стража не получали зарплаты, не исполняли своих обязанностей, хозяйство разваливалось. Охтинскому учебно-опытному лесничеству было дано право хозрасчетного ведения хозяйства. (Охтинское учебно-опытное лесничество было переведено на хозрасчет).

После Октября 1917 года известными декретами СНК от 20.10.22г., Лесным кодексом 1923 г. и декретом СНК от 20.02.26г. уделялось внимание материальной, учебной и экспериментальной базе высших лесных и лесотехнических учебных заведений, устанавливались основные руководящие истоки деятельности учебно-опытных лесных дач, которые своим основным назначением имели: а) выработку



приёмов и улучшение форм организации и ведения лесного хозяйства в соответствии с естественноисторическими и экономическими условиями данного района; б) научную разработку отдельных практических вопросов лесного хозяйства; в) обслуживание учебных лесных заведений и научных учреждений в учебно-производственном отношении.

В апреле 1925г., состоялось совещание по лесному опытному делу. Начальник Управления лесами Наркомзема РСФСР, а позднее ректор Лесотехнической академии проф. А.И.Шульц, в своём докладе "Задачи лесного опытного дела" указывал, что леса, приписанные к лесным учебным заведениям, должны сыграть большую роль в лесном опытном деле. Площадь таких лесов в 1925г. составляла 762 тыс.га, в т.ч. на долю Ленинградского Лесного института приходилось 348524га, что составляло менее 0,17% от площади лесов Европейской части РФ. Распределение по районам указанной площади лесов было таково:

1. Северо-западный р-н, представлен Ленинградской группой лесничеств - Охтинским, Парголовским, Лемболовским и Лисинским - общей площадью 80305га, в т.ч. покрытая лесом 60612га.

2. Северный р-н, представлен Шелеховским лесничеством Архангельской губернии общей площадью 134015га, в т.ч. покрытой лесом 105669га.

3. Центральный р-н представлен 4 подмосковными лесничествами: Погоно-Лосино-Островское, Измайловское, Мытищинское, Порецкое. Общей площадью 23 тыс. га.

4. Западный р-н, представлен Хинельским лесничеством Брянской губернии, общей площадью 5062 га, в т.ч. покрытой лесом 4069 га.

5. Волжский р-н, представлен Бако-Варнавинским уч. лесхозом Нижегородской губернии, состоящей из 5-ти лесничеств, общей площадью 129122 га, в т.ч. покрытой лесом 106642га.

Как видим, учебно-опытные леса, находившиеся в ведении Лесного института, составили огромную площадь. Это было сложное лесохозяйственное производство, включающее в себя лесозаготовительную деятельность, лесосплав, деревопереработку, химическую переработку, велись торговые операции на местных и отдаленных рынках.

Опытно-исследовательская работа в учебно-опытных лесничествах проводилась под общим руководством Совета по научно-исследовательскому и лесному делу во главе с М.М.Орловым.

Весь этот краткий экскурс в историю опытного дела сделан с одной целью: ещё и ещё раз напомнить о большом и сложном пути опытного дела в лесохозяйственной науке, о её историчности, которая служит для правильного ориентира в дне грядущем. Специалисты, "лишённые историчности", делают неверные шаги, а то и просто глупости. Из приведённого выше видно, что сама система лесного хозяйства по своей природе комплексна. Она включает в себя лесозаготовки и др. производства, связанные с древесной и недревесной продукцией, как составную часть лесохозяйственной деятельности. И нигде в мире нет такого положения, чтобы лесное хозяйство являлось составной частью лесозаготовок. Последнее можно уподобить телеге, стоящей впереди лошади. А такое положение возникало у нас неоднократно, и поэтому нам в своём опытном деле необходимо всегда различать, где решения идут от науки, а где от хозяйственной нужды.

К 1922-23 гг. были отрегулированы хозяйственно-лесоводственные механизмы по отпуску и учету древесины, произведена очистка лесных угодий от захламленности мертвой древесиной, порубочных остатков, начаты работы по восстановлению осушительной сети, устройству питомника.

Общая площадь Охтинского учебно-опытного лесничества составляла - 6889,7 гектаров. В нее входило восемь лесных дач: 1.Охтинская – 1207,3 га 5. Ямская – 533,2 га 2. Медвежий стан – 698,2 га 6. Смоленская – 139,8 га 3. Ковалевская – 813,2 га 7. Богословка – 747,0 га 4. Красная горка – 829,2 га 8. Самарка 1921,8 га.

К лесничеству были присоединены леса местного значения площадью 1257,2га. В период двадцатых годов в Ленинградском Лесном Институте было организовано Управление учебно-опытных лесничеств, которое ведало хозяйственной деятельностью в шести учебно-опытных лесничествах: 1.Лемболовском; 2. Парголовском; 3. Лисинском; 4. Охтинском; 5.Шелеховском; 6. Хинельском.

5 декабря 1932 года Постановлением СНК СССР и последующим решением Президиумов Ленобл-исполкома и Ленсовета от 4 апреля 1933 года Охтинское учебно-опытное лесничество в составе всех



лесов, прилегающих к г. Ленинграду, имеющих лесопарковое значение, передается Управлению Лесов особого назначения (УЛОН), деятельность которого должна была обеспечить оздоровление быта и условий работы трудящихся за счет санитарно-гигиенических, культурно-бытовых, эстетических и защитных свойств леса.

В этот период Лесотехнический университет управлял Охтинским учебно-опытным лесничеством на основе особого положения, на правах бессрочной приписки, а с 1938 года Охтинский учебно-опытный лесхоз подчинялся ЛТУ. Первые работы лесоустроительного характера были проведены в 1833 году, т.е. до выхода в 1845 году первой лесоустроительной инструкции. В 1833 году были произведены съемки, описание и разделение дачи на некоторое количество лесосек, площадью до 8 га, которые в последствии вырубались в определенном чередовании. Первое лесоустройство дачи было произведено в 1870 г., по действовавшим в то время Упрощенным Правилам: дача была разделена на 21 квартал, площадью от 26 до 93га. Хозяйство было установлено сплошолесосечное, при ширине лесосек от 50 до 90 сажен, (сажень - 2,1м). Оборот рубки был принят в 80 лет. В 1882г. под руководством проф. А.Ф. Рудзкого была проведена первая ревизия лесоустройства. Дача была разделена на 56 кварталов площадью от 8 до 25га. Форма хозяйства оставлена без изменения, ширина лесосек уменьшена, рекомендовано оставление на лесосеках по 20 семенников на десятине.

Вторая ревизия лесоустройства, проведенная в 1896 г., сохранив прежние основы ведения хозяйства, уменьшила ширину лесосек до 25-35 сажен и признала лишним оставление семенников. В 1903-1904гг. под руководством проф. М.М. Орлова было проведено новое лесоустройство, образовавшее два хозяйства:

1. Сосновое со сплошными рубками при ширине лесосек 25 сажен, сроке примыкания 5 лет и на-



правлением рубки с востока на запад. 2. Еловое, с отнесением к нему смешанных сосново-еловых насаждений с постепенными рубками в 3 приема. Оборот рубки для обоих хозяйств был установлен в 100 лет. Обоснованием для установления оборота рубки послужило сопоставление возрастов количественной, качественной, хозяйственной и финансовой спелости.

В 1920г. ревизией лесоустройства был сохранен принятый при лесоустройстве 1904г. оборот рубки (100 лет), сохранено разделение дачи на кварталы; хозяйств установлено два – сосновое и еловое, с отнесением к еловому хозяйству лиственных насаждений как насаждений временного типа. Силами студентов Лесного института в

1923-24 гг. вновь было проведено лесоустройство, сохранившее имеющееся разделение на кварталы и хозяйства, установленные ревизией 1920г.

Оборот рубки на основании проведенных в том же 1920 году студентом-дипломником Харламовым, исследований хода количественного и качественного приростов, установлен в 100 лет для обоих (соснового и елового) хозяйств, причем отмечено, что удвоенный средний возраст насаждений (так называемый скрытый оборот рубки) оказался в сосновом хозяйстве на 26 лет, а в еловом хозяйстве на 44 года выше принятого. Для установления ежегодного размера главной рубки произведен расчет лесосек: нормальной по возрасту, по состоянию и по потребности, а также определен размер пользования по формуле Флори и Гейера. На основании анализа перечисленных расчетных лесосек отпуск леса был установлен в размере 1250 м³ в сосновом хозяйстве (200 куб. сажен) и 560 м³ (50 куб. сажен) в еловом, что составляло около 67% действительного среднего прироста насаждений. Рубки для сосновых и лиственных насаждений приняты сплошные с расчетом на естественное возобновление от стен леса, в еловых и сосново-еловых насаждениях – тоже сплошное, но с последующими немедленными после рубок лесными культурами. Направление рубок было принято с востока на запад. Ширина лесосек для хвойных-50м, лиственных-100 м. Срок примыкания для хвойных-5 лет, лиственных 1год.

В 1934г. была произведена очередная ревизия лесоустройства дачи, но в связи с невысоким качеством материалов в 1938г. вновь были проведены работы по таксации лесного фонда лесхоза. Для выполнения этих работ был приглашен ученый лесовод Кириллов Н.П. За смертью последнего полевые записи были обработаны инженером-лесоводом Сурнаковым В.А., составившим инвентаризационный отчет. Плана хозяйства составлено не было. Главными породами признаны сосна и ель, отмечена необходи-

мость введения в состав насаждений быстрорастущих и декоративных пород. С учетом целевого назначения дачи рекомендована добровольно-выборочная форма хозяйства с направленностью на сохранение и увеличение древесных запасов. Отпуск леса установлен в объеме 1100 м^3 в год, включая массу, получаемую от проходных рубок.

Сделанное в отчете сопоставление с общим приростом насаждений лесхоза 1469 м^3 показывает, что принятый объем отпуска леса (1100 м^3) ниже общего прироста насаждений. В период Великой Отечественной войны и особенно во время блокады г. Ленинграда, вся территория лесхоза претерпела значительные изменения, что послужило основанием к проведению в 1946-1947 гг. лесоинвентаризационных работ, выполненных Ленинградским авиаотрядом лесной аэрофотосъемки Треста лесной авиации на площади 1119 га. Работы были проведены с применением аэрофотоснимков масштаба 1:5000. Таксация производилась с использованием визиров, прорубленных в среднем через 100 м. Отграничения выделов в натуре из-за недостатка средств произведено не было. План хозяйства в 1947 году не был составлен, что затруднило проведение лесохозяйственных мероприятий в лесхозе. Следует отметить, что при инвентаризации 1946-1947 годов было выделено две хозяйственные части: парковая (кв. 1-19) и лесопарковая (кв. 20-60). Поэтому в 1954 году по данным инвентаризации 1946-1947 годов (с учетом изменений, происшедших за 6 лет), кафедрами Лесотехнического университета был составлен перспективный план организации лесного хозяйства на 1954-1960 гг.

Вся территория лесхоза была отнесена в одну хозяйственную часть - лесопарковую, хотя и отмечалась различная степень посещаемости северной и южной частей лесхоза.

В целях индивидуального подхода к отдельным участкам леса и более дифференцированного назначения хозяйственных рекомендаций такие организационные моменты, как способы рубок, методы лесовозобновления и т.п. устанавливались не для совокупности насаждений, объединяемых в хозяйство



(Хозсекции), а конкретно для каждого отдельного выдела. Следующее лесоустройство было проведено силами 7 Ленинградской аэрофотолесоустроительной экспедиции в 1958 году по I разряду. Площадь лесхоза за ревизионный период сократилась на 7 га и составила 1112 га. Вся территория лесхоза объединена в одну хозчасть - лесопарковую. Однако подчеркивалось особое парковое значение северной части лесхоза (кв. 1-19), где таксация произведена ландшафтным определением элементов по участковому методу, но отграничение таксационных

участков в натуре не было произведено.

В лесхозе проектировались: а) лесовосстановительные рубки, которые намечалось проводить выборочным, группово-выборочным и постепенно-выборочным способами; б) рубки формирования ландшафтов (кв. 1-19); в) рубки ухода (в кв. 20-62), а также лесокультурные, противопожарные мероприятия и комплекс мероприятий по благоустройству.

Лесоустройство 1970 года также проведено 7-й Ленинградской аэрофотолесоустроительной экспедицией по I разряду на площади 1111 га (по сравнению с 1958 годом площадь сократилась на 1 га) по участковому методу с использованием спектрзональных аэроснимков масштаба 1:5000 залета 1970 года. По подготовленным снимкам производилось отграничение выделов в натуре предварительно мелом и окончательно масляной краской. Все-го в лесхозе на площади 1111 га было выделено 1202 таксационных участка. Таксация производилась глазомерно-измерительным методом по элементам леса.

В кварталах 1-19 определялись ландшафтные таксационные показатели: тип ландшафта, эстетическая и санитарно-гигиеническая оценка и т.д. При проведении полевых лесоустроительных работ было заложено: -15 координатных пробных площадей на ход роста; -18 таксационно-дешифровочных пробных площадей с определением участия кроны в пологе насаждения; -6 постоянных пробных площадей на ход роста; -5 опытно-показательных пробных площадей на рубки ухода; -2 пробные площади на лесовосстановительные рубки.

Кроме того, было проведено рекогносцировочное обследование с целью выявления плюсовых деревьев, обследования мелиоративной и дорожной сети. Лесоустройство 1981 и 1992 годов проведено комплексной экспедицией Северо-Западного лесоустроительного предприятия по I-а и I разрядам. Единая нумерация кварталов по лесхозу была сохранена, а на принятой части продолжена последующими номерами. Всего в лесхозе было организовано 90 кварталов, средняя площадь квартала составила 19,4

га. При таксации в каждом выделе определялось двенадцать ландшафтных показателей: тип ландшафта, его эстетическая оценка, устойчивость насаждений, рекреационная дегрессия, проходимость, просматриваемость, длина кроны, проектируемый ландшафт, рекреационная нагрузка, наличие зеленой массы, сомкнутость полога. В составление проектного задания лесхоза и кафедры озеленения в целях регулирования рекреации на территории лесхоза выделен "Буферный парк", в него включены кварталы - 1, 2, 10, 11, 15, 16, 17, 22, 30 Жерновского лесничества. Проведено обследование 74 линейных км мелиоративной сети: глубину канав, ширину по верху и по дну, глубины воды и заиление с описанием дефектов. Обследована дорожная сеть (59,1 км). Проведены дозиметрические замеры, в каждом квартале по 3 замера. Кроме того, по дорогам, тропам, разъездам всего сделано свыше 300 замеров.

В табл. 1 приводится динамика распределения общей площади лесхоза по основным категориям земель. Показатели свидетельствуют о стабильности общей площади земель лесного фонда и покрытой лесом площади да 1978 года. В 1978 году в состав лесхоза была передана часть территории Всеволожского парк лесхоза площадью 618,9 га, примыкающая к Охтинскому лесхозу с юга. (Виновником указанного акта стал директор лесхоза, автор статьи Романов В.Е.). Согласно показателям таблицы общая площадь лесхоза составила 1729 га. В связи с необходимостью более грамотной подготовки специалистов ЛТУ, а также увеличением площади лесов было организовано два учебных лесничества: Жерновское, расположенное в северной части лесхоза - площадью 924 га, и Кудровское, обнимающее леса южной части лесхоза - площадью 805 га. До этого деления на лесничества лесхоз не имел.

Казенная Охтинская лесная дача с 1868 года по 1902 года находилась в составе министерства земледелия государственных имуществ. Ученые лесного института использовали леса дачи для научных и практических целей. В Российском государственном историческом архиве в фонде Лесного департамента МЗ и ГИ хранится дело: "Об образовании из Охтинской дачи - учебного лесничества для Лесного института (1901-1902 года)". В деле имеется отношении министра земледелия и государственных имуществ А. Ермолова в Комитет министров от 13 февраля 1902 года "о передаче казенной Охтинской дачи в заведование С-Петербургскому лесному институту". Заслушав в заседании Комитета министров от 12 и 20 марта 1902 года записку министра земледелия и гос. имуществ, Комитет министров "предложил предоставить в ближайшее заведование С-Петербургского Лесного института на все время его существования Охтинскую казенную дачу С-Петербургской губ. и уезда в количестве 988,5 дес. лесных угодий вместе с имуществом в этой даче казенными постройками". "Положение" Комитета Министров было "высочайшее" утверждено 22 марта 1902 года. В сентябре месяце 2002 года Охтинскому учебно-опытному лесхозу исполняется 100 лет ближайшего заведования ЛТА. Общее служение науки и практики составляет в 2003 году – 135 лет.

Лесоинженерное дело

УДК 621.736

РОБОТОТЕХНИКА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Шашин Д.Е

В статье рассмотрена реальная ситуация на рынке, а также наиболее значимые достижения развития робототехнических систем в лесном хозяйстве.

Ключевые слова: робототехника, лесное хозяйство, автоматизация.

The article deals with the real situation on the market, as well as the most significant achievements of development of robotic systems in forestry.

Keywords: robotics, forestry, automation.

Введение

Робототехника это наука, которая изучает и создает автоматические машины, способные облегчить и автоматизировать как бытовую, так и производственную сферу жизни. В основе робототехники лежит взаимодействие электронных, электрических, компьютерных и механических компонентов. В современном, быстро развивающемся мире, робототехнике уделяется огромное внимание в связи с высокими требованиями, предъявляемыми к автоматизации и роботизации труда человека. В лесном хозяйстве, учитывая взаимодействие робота с растительными объектами, существует необходимость переработки конструкции существующих робототехнических систем и изменения алгоритма их работы [1-3].

Проблема создания надежного и многофункционального робототехнического комплекса требует объединения усилий специалистов различного профиля. Мировой опыт создания таких комплексов нацелен на проработку всего проекта одной организацией, начиная от создания конструкторской документации и заканчивая конечным продуктом.

Основная часть

Робототехника выходит на принципиально новый уровень развития. Основными факторами, способствующими прогрессу робототехники в ближайшие годы, станут снижение стоимости комплектующих компонентов и совершенствование применяемых технологий, таких как навигация и распознавание человеческой речи. Они позволят конструировать роботов дешевле и делать их более функциональными [4-5]. Робототехника сегодня вошла в нашу жизнь в различных областях. Роботы летают в космос, исследуют планеты; используются в оборонных целях – разминируют взрывные устройства и ведут разведку с воздуха. В производстве многие области уже не обходятся без роботов: они собирают машины, участвуют в поиске полезных ископаемых [6-7]. В общем же, следует заметить, что процесс использования роботов в лесном хозяйстве продолжает динамично развиваться, оказывая все более заметное влияние на эту область человеческой деятельности. Рассмотрим последние достижения робототехники в лесном хозяйстве за последние 5 лет.

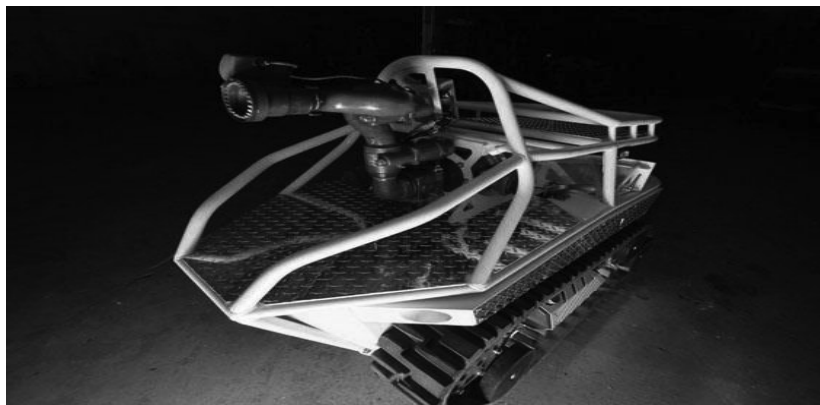


Рис. 1. Робот «Термит»

Американский разработчик Howeand Howe Technologies представил новый робототехнический комплекс под названием Термит (Thermite) рис.1. Он сам пробирается по сложным местам, где велика угроза для жизни человека. Перевозиться такой комплекс будет на специальном автомобиле [8-9]. Стоимость комплекса и авто-

мобиля вместе составляет 400 000 долларов. Отдельно робота – 100 000 долларов. Робот значительно облегчает задачу людям, он обладает высокой проходимостью и может транспортировать и использовать для тушения две тысячи двести литров воды.



Рис. 2. Робот OLE

Группа инженеров из немецкого Института промышленного дизайна (Institut für Industrie design) при Высшей школе Магдебурга-Штендаля (Hochschule Magdeburg-Stendal) предложили конструировать роботов, которые будут подражать обитателям леса, ради их собственного спасения. Причём копировать эти роботы будут отнюдь не самых популярных персонажей – мокриц. Название этих роботов OLE – Offroad-Lösch-Einheit, что переводится как «Внедорожный тушительный агрегат». OLE – это робототехнический комплекс, который перемещается не на двух ногах и даже не на колесоногах. Ведь лес – это пересеченная местность, которая требует возможности сложного движения. Потому и было принято решение снабдить робота сразу шестью лапами, идентичными лапам насекомого. А чтобы он преодолевал препятствия, к нему крепится два датчика зондирования поверхности [10-11].

Многочисленные конечности необходимы, для того, чтобы OLE мог легко передвигаться по лесу и патрулировать местность. Определить место возгорания он может с помощью сенсоров, улавливающих сильные источники теплового излучения. Конечно, если замечен слабо разгоревшийся огонь, то затушить его не очень трудно. Для этого OLE использует вмонтированное в него пожаротушительное устройство,

выбрасывающее гаситель в прерывистом режиме – это помогает уменьшить объём перевозимой с собой жидкости. Над данным роботом Институт промышленного дизайна работает в сотрудничестве с Институтом промышленности и автоматизации имени Фраунгофера (Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und automatisierung – IFF) еще с зимы 2006 года. Начать заниматься OLE заставила большая проблема лесных пожаров, которые ежегодно в Европе уничтожают по 4000 квадратных километров леса, принося убытки до двух миллионов евро, не говоря уже о других последствиях экологического характера [12-13].

В связи с этим, ученые пришли к выводу, что лучше предупредить возгорание, чем устранять его печальные результаты. Однако, это не такая простая задача. Регулярные обследования с помощью воздушных средств, слишком дороги и малоэффективны. Можно установить датчики, которые быстро оповестят, но не устранят пожар. Вот так и родилось решение – объединить в одном аппарате и детектор, и пожарный механизм. OLE может определить места возгораний на удалении от пятидесяти до тысячи метров – в зависимости от густоты леса и влажности воздуха. Однако, как бы ни был хорош робот, но он сам может, не справившись с очагом, оказаться посреди пожара. Если вдруг с

OLE такое произойдет, то это не фатально: при достижении температуры, опасной для электроники, он быстро сворачивается в клубок, и втягивает в себя ноги. Робота в этой экстремальной ситуации спасает жаропрочный каркас, изготовленный из керамики и выдерживающий температуру до 1300° по Цельсию. После того, как огонь стихнет, OLE может развернуться и продолжить патрулирование.

Пока Offroad – Lösch-Einheit выполнен только в виде концепта. Данные из упомянутых

институтов о том, в какой стадии находится его воплощение, весьма скудные.

На Международной конференции IEEE по вопросам автоматизации и робототехники (IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS), группа инженеров из компании Deepfield Robotics, которая является дочерней компанией Bosch, представили свою разработку – робототехнический комплекс под названием BoniRob рис 4.



Рис. 4. Робот BoniRob

Это сельскохозяйственный робот может обнаруживать сорные растения и уничтожать их, загоняя обратно в почву ударами железного «кулака» и затрачивая на один сорняк около 0,1 секунды. Учитывая масштабы лесных насаждений, единственным эффективным способом борьбы с сорными растениями и вредителями является обработка специальными химикатами. Эти химические вещества оказывают фатальное воздействие не только на сорняки, они затрагивают также сельскохозяйственные культуры, химикаты попадают в почву [14-15]. Поэтому самым экологически чистым методом является пропальвание, подразумевающее физическое уничтожение сорных растений руками работников. Однако уничтожить сорняк можно, не только извлекая его из земли, его можно втоптать или забить назад в землю, и с такой задачей могут справиться не только люди, но и роботы. Ударный инструмент робота BoniRob имеет диаметр два сантиметра, и он загнать сорняк назад в почву на глубину в три сантиметра [16-17]. Основной задачей робота является уничтожение молодых побегов сорняковых растений, хотя робот может справиться и с взрослыми растениями, буквально искромсав их при по-

мощи ударов, которые следуют с частотой один раз в 100 миллисекунд. Робот сконструирован в виде модуля, монтируемого на универсальную платформу «adaptable multi-purpose robotic platform», на платформу устанавливаются различные виды роботизированного оборудования. Эта универсальная платформа способна поднимать груз до 150 килограмм, а также может обеспечивать робота энергией в течение суток на одной заправке горючего. Идея инженеров компании Deepfield Robotics заключается в том, что заказчик может приобрести только платформу и несколько необходимых ему робототехнических модулей, а другие модули, он сможет брать в аренду у производителя. На сегодня компания Deepfield Robotics проводит испытания своих разработок в условиях реальных лесных насаждений и сельскохозяйственных угодий [18-21]. Вместе с этим планируется разработка меньшего варианта платформы и набора различных модулей к ней. Такие маленькие платформы способны работать в группах, не уступая в функциональности своим крупным аналогам. Бёрн Арстарнд из университета Хальмстада (Швеция) представил свое изобретение- устройство для электронного контроля

над сорными растениями на основе визуального анализа. В университете Хальмстада работают над этим проектом с 2004 года, цель проекта – сконструировать робототехнический комплекс, который способен идентифицировать и удалять сорняки. Первым концептом стал четырехколесный Лукас. Польза от подобного робота становится ясна, если принимать во внимание, что робот может сократить расходы по прополке на 50 %. А также, использование Лукаса поможет снизить применение химических веществ. Изо-

бретатель Дэвид Доерхут представил общественности робота Prospero. Роботы Prospero являются прототипом большого робототехнического организма. В настоящее время у Дэвида Доерхута имеется целая группа паукообразных роботов, способных передавать и принимать информацию и с эффективностью выполнять задачи, используя технологию «роя» и программное обеспечение, основанное на алгоритмах теории игр.

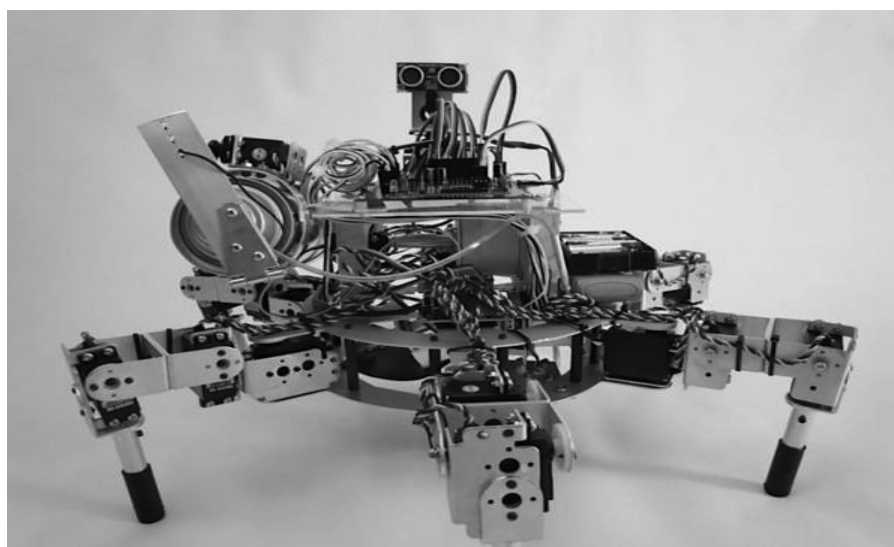


Рис. 5 Робот Prospero

Роботы общаются между собой, используя беспроводную инфракрасную связь, и отмечают места посадки семян или саженцев различными маркерами. Поэтому робот справляется с посадкой быстро и эффективно, учитывая при посадке особенности местности, включая химический состав почвы.

Не смотря на развитие современных технологий, лесное и сельское хозяйства до сих пор держатся на человеке. Дальнейшая модернизация заключается не в увеличении эффективности человеческого труда, человеческий труд и так достаточно глубоко оснащен различными технологиями, а в большей эффективности используемых угодий. Роботы Prospero - это только начало чего-то большего. В будущем планируется создание роботов, способных полностью посадить растения, следить за их состоянием, выполняя все нужные процедуры, и собрать урожай. При этом, действия будут выполнены с достаточной эффективностью. Роботы могут работать круглосуточно, они способны содержать лесные угодья в идеальном состоянии, бо-

рясь с сорняками и вредителями без использования химических веществ.

Вывод

Проведя краткий обзор роботов, применяемых в сельском и лесном хозяйствах можно выделить следующее:

1) в мире активно ведется разработка сельскохозяйственных роботов. Россия, обладающая огромными площадями не должна отставать в этом вопросе от ведущих мировых держав;

2) в основном все лесотехнические роботы имеют устройство передвижения (платформу), на которой устанавливается рабочий манипулятор;

3) обширное применение данные разработки пока не находят. Это обусловлено тем, что себестоимость роботов велика, они далеки от совершенства и не способны полностью заменить человека.

В связи с изложенным выше, существует необходимость проведения исследований в области конструирования роботов: разработать методы проектирования гидравлических и ки-

нематических схем, разработать математические алгоритмы для моделирования динамики роботов, выделять проектирование конструкции манипуляторов с учетом особенностей эксплуатации. При создании приводных устройств особое внимание необходимо уделить повышению их динамических и энергодинамических характеристик, производству прецизионных, высокомоментных, низкоскоростных и малогабаритных приводов.

Литература

1. Накано Э. «Введение в робототехнику», М.: Мир, 1988.- 334с.
2. Вильямс Д. «Программируемые роботы», НТ Пресс, 2006.- 240с.
3. Шаныгин С.В. О необходимости создания в России сельскохозяйственных роботов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 1. С. 9-11.
4. П. Андре, Ж-М. Кофман, Ф. Лот, Ж-П. Тайар «Конструирование роботов», пер. с франц.
5. Сайт: <http://www.agritechnica.com/932.html>
6. Сайт: <http://agroobzor.ru/news/a12085.html>
7. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Белякова Е.А. Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 3. С. 95-98.
8. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.
9. 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.
10. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.
11. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.
12. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-106.
13. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.
14. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.
15. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Д.А. Дизайн и производство мебели. 2008. № 2. С. 36-39.
16. 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. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Воронин А.Е., Зиятдинов А.Р., Сабиров А.Т. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 5. С. 82-87.
18. 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 RUS 2422266 14.12.2009
19. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009
20. Сафин Р.Р., Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 50-52.
21. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. С. 22-23.

Физико-механические процессы в деревообработке

УДК 694.6

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Ахунова Л.В., Гараева А.Ф.

В последнее десятилетие возрос интерес к изделиям, выполненным из натуральных природных материалов. Особым спросом пользуется дизайнерская деревянная мебель, богато украшенная фрагментами рельефа. В данной работе предлагаются возможности оптимизации процесса фрезерования древесных пород посредством трех способов.

Ключевые слова: ЧПУ станок, фрезерование, оптимизация процесса.

In the last decade, a growing interest in products made of natural materials. Special demand design with wooden furniture and richly decorated with fragments of relief. In this paper we offer the possibility to optimize the milling process of tree species by the three methods.

Keywords: CNC lathe, milling, process optimization.

Введение

В последнее десятилетие возрос интерес к изделиям, выполненным из натуральных природных материалов. Особым спросом пользуется дизайнерская деревянная мебель, богато украшенная фрагментами рельефа [1-2].

Для производства такой мебели очень ценится и ценится ручной труд, но на сегодняшний день он постепенно вытесняется новыми технологиями. С появлением компьютеров, трехмерного моделирования и станков с числовым программным управлением. Если сравнивать технологии, применяемые раньше и технологии, применяемые в наше время, то в производстве мебели можно увидеть колоссальное изменение [3-5]. Если нужно выполнить фрагмент мебели, на котором будет выполнена богатая резьба, а данный фрагмент будет изготавливаться в серийном производстве, то, соответственно, для производства такого рода заказов используется 3D-моделирование.

Следует отметить, что трудоемкость чистой обработки художественных изделий (к которым предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности) в несколько десятков раз больше черновой из-за малых значений шага поперечной подачи фрезы (до 0,1 мм) и обычно требует нескольких часов машинного времени работы станка с ЧПУ (рис.1). Сокращение машинного времени и повышение производительности изготовления изделий определя-

ет рост технико-экономических показателей производства в разных отраслях промышленности, в том числе, и изготовления художественных изделий из древесины [6-8].



Рис. 1. Фрезерный станок с ЧПУ

Известно, что машинное время фрезерования можно сократить за счет интенсификации режимов резания – увеличение скорости подачи режущего инструмента, глубины резания при черновой обработке, ширины резания при черновом и чистовом проходах [9-11].

Однако возрастание скорости подачи ведет к увеличению на поверхности изделия ворса и мшистости, вплоть до образования отдельных задигов и сколов. Возрастает время последующей неизбежной в производстве художественных изделий ручной доработки. Аналогичным образом и величине глубины резания за проход

при черновой обработке приводит к росту нагрузки на фрезу, повышенному ее износу и, как следствие, появлению этих же задиrow на изделия [12-14]. Увеличение ширины резания при чистовой обработке (до 0,5 мм и выше) формирует волнистости на поверхности изделия в виде закономерно чередующихся возвышений и впадин дугообразного профиля, в связи с этим, как и в двух предыдущих случаях, возрастает трудоемкость последующей ручной доработки изделия [15-17].

Результаты и обсуждения

В данной работе представлены возможности оптимизации процесса фрезерования древесных пород посредством трех способов:

- 1) подбора наиболее оптимальной, для фрезерования барельефов, породы и типа древесины;
- 2) направления фрезерования (встречное, попутное, в направлении волокон, поперек волокон, по диагонали: против направления волокон, в направлении волокон);
- 3) правильного подбора диаметра фрез при минимальном машинном времени станка ЧПУ на обработку заготовки.



Рис. 2. Рельефная мебель, выполненная на станке с ЧПУ

Цель данных исследований состоит в получении качественных деревянных изделий (рис.2), в том числе деревянных фрагментов с рельефом и резьбой, выполненных на станках ЧПУ. Для достижения данной цели необходимо выполнить некоторые исследования и решить следующие задачи:

- 1) выявить наиболее благоприятные породы древесины для машинной резьбы, так чтобы задиrow и неровностей от фрезы было минимальное количество;
- 2) выявить оптимальное направление фрезерования древесины, относительно каждой по-

роды, чтоб чистота поверхности обработки была выполнена с максимальным качеством;

- 3) оптимизировать чистоту обработки поверхности посредством подбора диаметра фрез [18-19].

Исследования проводятся на трехкоординатном фрезерном станке с ЧПУ «Beaver 0906at». Обрабатывались образцы из трех основных пород древесины, применяющихся для изготовления художественных изделий – сосны, дуба и бука радиального, поперечного распила, комнатной сухой влажности (30%).

Вывод

Таким образом, с приходом современных компьютерных технологий в мебельное производство, производители мебели намного усовершенствовали процесс создания своей продукции, сохранив ее традиционный изысканный вид. Но качество продукции, как и ее эстетические показатели, имеет огромное значение для современного потребителя, а так же для производителей данной продукции. Поэтому оптимизация процесса машинной обработки на ЧПУ необходима.

Литература

1. Ефимова Т.В. // Результаты микроскопического исследования поверхности фрезерования древесноволокнистых плит средней плотности (МДФ) Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-1 (7-1). С. 217-220.
2. Малыгин В.И., Лобанов Н.В., Кремлева Л.В., Черепанов С.А., Мюллер О.Д. // Сборная цилиндрическая фреза патент на изобретение RUS 2567517 03.06.2014.
3. Сафин Р.Р., Салимгараева Р.В., Бикмуллина К.В. Усовершенствование технологии производства ДПК Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 5. С. 191-193.
4. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Голубев Л.Г. // Производство деревянных дверных блоков с применением художественной резьбы.
5. Галяветдинов Н.Р., Назипова Ф.В., Хасаншина Р.Т. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика (Воронеж, Россия, 10-12 декабря, 2014), 2, 5-4, 84-87.
6. Сафин Р.Р., Петров В.И., Герасимов М.К., Разумов Е.Ю., Галяветдинов Н.Р. // Вестн. Моск. госуд. университета леса – Лесной Вестник, 2, 139-142 (2009).

7. Ахунова Л.В., Шаяхметова А.Х., Сафина А.В. // Деревообрабатывающая промышленность, 2, 35-40 (2015).
8. Сафин Р.Р., Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А. // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке, 936-941 (2016).
9. Safin, R.R., Khasanhin, R.R., Timerbaeva, A.L., Safina, A.V., // Study of the physical and energy properties of fuel granules based on a thermomodified wood raw material, Journal of engineering physics and thermophysics, New York, vol. 88(4), pp. 958-961, 2015.
10. Safin, R.R., Khasanhin, R.R., Shaikhutdinova, A.R., Ziatdinov, R.R., The technology for creating of decorative plywood with low formaldehyde emission, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, volume 93, 2015. DOI: 10.1088/1757-899X/93/1/012077.
11. Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Е.А. Белякова // Дизайн. Материалы. Технология, 3, 95-98 (2010).
12. 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
13. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю. // Деревообрабатывающая промышленность. 2012. № 1. С. 015-018
14. 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.
15. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю. Деревообрабатывающая промышленность. 2012. № 1. С. 015-018.
16. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Белякова Е.А. Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 3. С. 95-98.
17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.
18. 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.
19. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.

© **Л.В. Ахунова** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины, ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», lilia3234_ard@mail.ru; **Гараева А.Ф.** – ассистент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», chebesh@bk.ru.

УДК 69.001.5

ПАССИВНЫЙ ДОМ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Филиппова А.П., Шайхутдинова А.Р.

В статье рассматривается производство пассивных домов, особенности их реализации, конструкционные решения, средства и методы теплоизоляции, а так же понятия зонирования и компактности.

Ключевые слова: энергосбережение, проектирование пассивных домов, зонирование, теплоизоляция.

The article discusses the production of passive houses, especially their implementation, design solutions, tools, and methods of thermal insulation, as well as the concept of zoning, compactness.

Keywords: energy saving, passive house design, zoning, insulation.

Введение

Пассивный дом – это стандарт, к которому сейчас стремится прогрессивное европейское сообщество. Считается, что концепция пассивного дома предлагает застройщику рациональ-

ное соотношение цены и получаемого качества в проектировании и строительстве. В зависимости от желания и финансовых возможностей заказчика, пассивный дом может потребовать увеличения затрат при строительстве от 3% до

30% по сравнению со стоимостью возведения обычного дома. Но при этом на эксплуатационных расходах в таком доме экономия составит от 70% до 99%. В связи с чем подобное строительство набирает серьезные обороты в европейских странах.

Первое, что нужно понимать, когда речь заходит о пассивном доме: чтобы строить энергоэффективно, нужно затратить больше средств, чем для обычного строительства. Однако пассивный дом так называется потому, что он уже за счет своей архитектуры – то есть не активно (с помощью инженерного оборудования), а пассивно (с помощью планировочного решения) – поглощает, аккумулирует и сохраняет для своих жильцов максимальное количество энергии из окружающей среды. Это достигается именно с помощью архитектурно-планировочного решения, которое основывается на обеспечении попадания внутрь здания максимального количества энергии от низкого зимнего солнца и максимально долгого ее сохранения с помощью качественной теплоизоляции, соответствующего пространственно-планировочного решения, а также почти полного отсутствия теплопотерь через вентиляцию.

Основные принципы проектирования пассивных домов

Суть пассивного дома заключается в экономии уже 80% энергии на эксплуатационных расходах только с помощью соответственного архитектурного проектирования, а также использования системы контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией. Основные принципы проектирования пассивного дома можно разбить на следующие подразделы: ландшафтно-планировочные, объемно-планировочные, зонирование, фасадные, аккумулирующие, изоляционные, инженерные.

Ландшафтно-планировочные

Правильная ориентация здания по сторонам света, основные принципы описаны ниже:

- ветрозащита северной глухой стороны здания, закрытость этой стороны (зеленые насаждения, лес, другое здание и т.п.);
- открытость объема здания с юга, отсутствие затенения южного фасада.

На рисунке 1 видно как применены эти принципы на примере пассивного дома под Черниговом (арх. Т. Эрнст). План дома компактный. С южной стороны выполнено полное остекление. Северный фасад глухой, без окон, с

его стороны внутри дома расположены буферные зоны. С севера дом защищен деревьями, с юга – полностью открыт.

Объемно-планировочные

Максимальная компактность здания. Компактность – это соотношение площади ограждающих конструкций (оболочки здания) и всего объема здания (его полезной площади). Чем меньше площадь ограждающих конструкций по отношению к полезной площади здания, тем компактнее здание.

По возможности полное отсутствие эркеров, внутренних углов, балконов и т.п. Идеальной считается максимальная приближенность формы здания к самой компактной – полушару, стоящему срезом на земле.

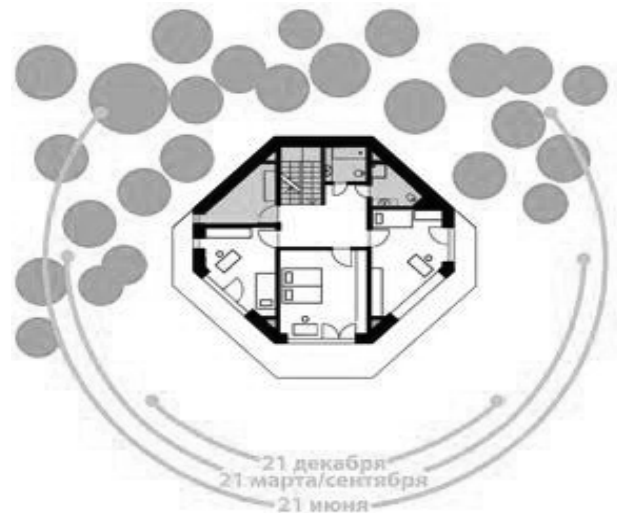


Рис. 1. Пример применения основных ландшафтно-планировочных и некоторых объемно-планировочных принципов

Зонирование:

- разделение на буферные и жилые зоны;
- расположение вспомогательных помещений с севера в качестве буферных зон;
- расположение жилой зоны на юго-востоке;
- расположение зимних садов с южной стороны;
- наличие наружной летней солнцезащиты в виде выступающих архитектурных элементов: эркеров, карнизов, балконов, террас, затеняющих светопрозрачные конструкции и не дающие попадать лучам высокого летнего солнца в здание.

Последний пункт не должен вступать в противоречие с требованием к компактности плана (то есть, компактности именно «теплого»

объема здания). Защита от солнца – это архитектурные элементы, а не «вычурность» плана дома. Солнцезащитные элементы имеют, как правило, свою собственную несущую конструкцию и отдельный фундамент, так как являются «холодными» (не утепленными) и находятся снаружи от утепленной оболочки здания.

На рисунке 2 показано, как применены объемно-планировочные принципы, на примере типового пассивного дома (арх. Т. Эрнст). Видно, как проникают в дом лучи низкого зимнего солнца, при этом выполнена защита от летнего перегрева с помощью свеса кровли, а также навеса террасы. Также видно, что буферные помещения дома расположены с северной стороны [1].

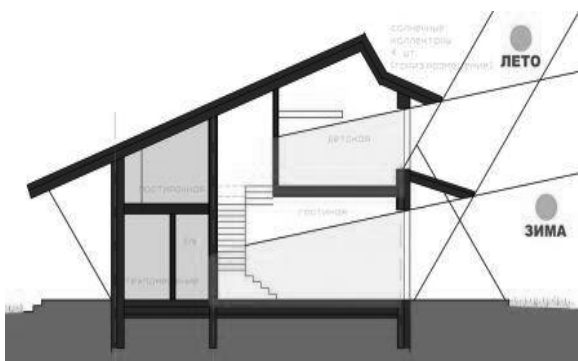


Рис. 2. Разрез-схема попадания солнечных лучей в дом

Фасадные:

- отсутствие светопрозрачных частей, через которые тепло может покинуть здание на его северной стороне;
- расположение с юга максимального количества светопрозрачных конструкций, которые пропускали бы глубоко в здание лучи низкого зимнего солнца;
- окна и другие светопрозрачные конструкции должны располагаться на фасаде в таком соотношении: 70-80% всех окон с южной стороны, 20-30% с восточной, 0-10% с западной и полное их отсутствие с северной.

Аккумулялирующие:

- наличие массивных аккумулялирующих элементов внутри помещений для обеспечения приема, сохранения и отдачи ими энергии в местах, куда попадают прямые солнечные лучи от низкого зимнего солнца. Массивными аккумулялирующими элементами в этом случае могут служить стены из полнотелого кирпича или бетона, желательны отделанные изнутри глиняной штукатуркой. Если стены изнутри отделаны

гипсокартоном, то массива уже нет. Если стены выполнены из пустотелого кирпича, пено- или газоблока, или дерева, то массива тоже нет;

- использование тромб-стен. Тромб-стены предназначены для улавливания и аккумулялирования солнечного излучения, используемого для нагревания воздуха внутри отапливаемого здания. Циркуляция воздуха в пространстве между остеклением и лучепоглощающей поверхностью – естественная, при этом воздух из каждого помещения выходит через отверстие в нижней части стены, проходит между стеной и остеклением наверх, и уже нагретый воздух возвращается в помещение через отверстия в верхней части теплоаккумулялирующей стены.

- планирование неглубоких помещений, в которых низкое зимнее солнце попадало бы на заднюю массивную (желательно темную) стену, прогревая ее;

- массивные элементы внутри здания (простенки, внутренние части утепленных наружных стен) также способствуют пассивному накоплению в здании ночного холода в летний зной;

- улавливание аккумулялирующими элементами энергии «внутренних источников тепла» (бытовых приборов, тела человека, лампочек, компьютеров и т.п.).

Изоляционные:

- качественная наружная теплоизоляция внешней оболочки здания, полное утепление всех сторон здания (фундамент, стены, крыша и т.д.). Под «качественной теплоизоляцией» подразумевается, что теплопроводность плотных ограждающих конструкций (фундамента, стен, крыши) в пассивном доме не должна превышать $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Теплопроводность окон и других светопрозрачных конструкций не должна превышать $1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

- качество теплоизоляционного материала, то есть коэффициент теплопроводности, уровень паронепроницаемости и теплоотражающих свойств, необходимая толщина слоя утеплителя;

- качество нанесения теплоизоляции, то есть отсутствие щелей между ее частями, деталями, стыками, швами, отсутствие мостиков тепла (проверяется термографированием, при помощи тепловизора);

- максимально возможная герметичность (воздухонепроницаемость) внешней оболочки здания (проверяется тестом Blower Door).

Инженерные:

- система контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией;
- использование подземных каналов (грунтовых теплообменников) для пассивного предварительного подогрева (или охлаждения) воздуха или воды [2].

Реализация пассивных домов

Первый пассивный дом в истории Германии был построен в 1991 г. при поддержке федеральной земли Гессен в г. Дармштадт, р-н Кранихштайн. Авторами архитектурной части проекта являются архитекторы Ботт-Риддер и Вестермауер, разработкой и реализацией проекта руководил доктор Вольфганг Файтс, который работал в то время еще в Институте жилья и окружающей среды. Здание было полностью построено в 1991 г. и с октября 1991 г. в нем проживают четыре семьи. Это здание нуждается в столь малом количестве тепла, что можно было бы действительно отказаться от отдельной системы отопления: расход на отопление составляет меньше 1 л жидкого топлива в год на 1 м² жилой площади.

С 1996 г. под надзором «Рабочей группы малозатратных пассивных домов» было построено уже 600 квартир в пассивных домах второго поколения. К вышесказанному относятся:

- первый поселок, состоящий из пассивных домов, в г. Висбадене с 22 таунхаусами, которые были полностью построены в 1997 г. заказчиком Rasch & Partner. Под таунхаусами понимают дома одинакового конструктивного исполнения и типа, которые построены в один ряд и имеют общие боковые стены с соседними домами [3];
- здания, построенные с использованием опалубочных элементов заказчиком Früh и другими;
- отдельные и двухквартирные коттеджи, которые возводили с 1998г. как пассивные дома архитектор Манфред Браузер;
- административное здание фирмы Wagner&Co, которое эксплуатируется с 1998г. без традиционного отопления и без кондиционеров;
- дома архитектора Рудольфа, в особенности поселок в Фирнгейме и поселок из пассивных домов в Штутгарте.

Тепловые потери в пассивном доме уменьшены до такой степени, что проникающая через

окна солнечная энергия и внутренние источники тепла вместе с предварительным обогревом приточного воздуха достаточны, чтобы возместить эти потери тепла (рис.3).

В столбцах «Потери» указаны одновременно и перекрытие и крыша. Это сочетание возможно для мансардного здания.

Неиспользуемое свободное тепло – это неиспользуемые солнечные теплопоступления. Их никогда не используют на 100%, особенно в очень ясные дни, поэтому определенная их часть расположена в столбцах «Потери». Стандарт пассивного дома стал образцом для последующего строительства.

Можно достичь низкой потребности в тепле за счет большого расхода электрической энергии в здании и этим увеличить внутренние источники тепла. Это легко достигается, если в доме использовать малоэффективные старые бытовые электроприборы, лампы накаливания и устаревшую технику [4].

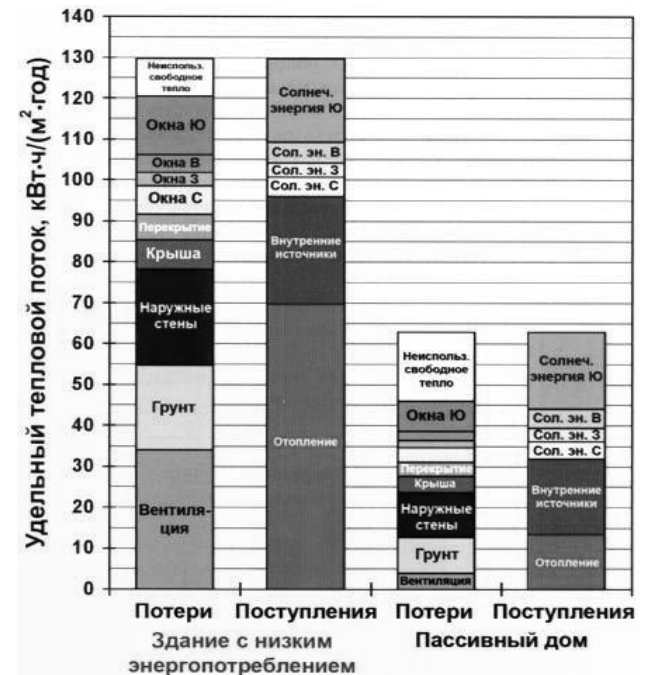


Рис. 3. Баланс потерь тепла (слева) и поступлений тепла (справа) в стандартном здании с низким энергопотреблением и в пассивном доме

Однако такой подход не соответствует поставленной цели – оказывать минимальное отрицательное воздействие на окружающую среду, а так же не соответствует созданию комфортного микроклимата в летнее время. Напротив, необходимо, чтобы общее потребление первичной энергии, т.е. сумма всех затрат на не возобновляемые энергоносители (отопление, нагрев горячей воды и электрическую энергию для бытовых нужд) было довольно мало.

Шведские нормы 1991 г. примерно соответствовали предписаниям для зданий с низким энергопотреблением EnEV 2002.

В то время как существующие на сегодняшний момент здания (построенные до 1980 г.) все еще потребляют на отопление помещений около $220 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$. Эта величина для новых зданий, построенных после 1995 г. в соответствии с измененными постановлениями по тепловой защите снизилась почти вдвое (рис. 4) [5].

Дополнительно около $28 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ необходимо для нагрева горячей воды и $32 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ электроэнергии для бытового потребления (без отопления и нагрева горячей воды). В зданиях с низким энергопотреблением, которые в большом объеме строились в Германии с 80-х годов и на которые в обязательном порядке распространяется строительный стандарт, понижается потребление энергии на отопление на 25-30% ($30\text{-}70 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$).

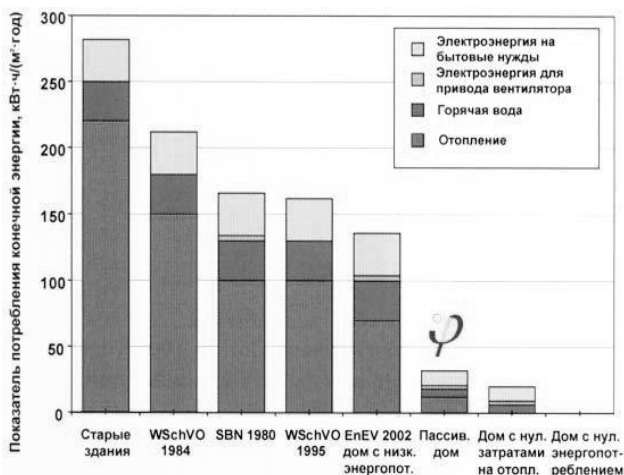


Рис. 4. Сравнение показателей потребления конечной энергии (WSchVO – Постановление по тепловой защите (ФРГ); SBN 1980 – Шведские строительные нормы 1980г.; EnEV 2002 – Постановление по энергосбережению 2002г.)

Для пассивного дома годовое энергопотребление на отопление сокращено до величины менее чем $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ – это на 7% меньше по сравнению с существующими старыми зданиями [6-7]. Помимо этого в пассивном доме уменьшено также потребление энергии для нагрева горячей воды и энергии для бытовых нужд. Пассивный дом позволяет минимизировать «необходимое потребление тепловой энергии на отопление». Решающим является то, что нагрузка должна быть такой незначительной, чтобы отдельная система отопления стала фактически ненужной, в таком случае пассив-

ный дом можно «отапливать» в очень холодный период благодаря подогреву приточного воздуха или с помощью небольшого количества дополнительных ламп накаливания.



Рис. 5. Пассивный дом в Германии. 1991г. Дармштад

Чтобы обеспечить столь жесткую требуемую величину удельного расхода тепловой энергии на отопление, равную $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ [8-9], для пассивных домов в климате Средней Европы со временем был установлен ряд обязательных требований:

- коэффициенты теплопередачи U для наружных стен, кровли и полов первого этажа должны составлять менее $0,15 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ (или $R_0 \geq 6,7 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$, где $R_0 = 1/U$);
- для остекления $U_{\text{ост}} \leq 0,7 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ (или $R_0 \geq 1,4 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$);
- для оконного профиля $U_{\text{проф}} \leq 0,8 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ (или $R_0 \geq 1,25 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$);
- приведен-

ный коэффициент теплопередачи окна с учетом монтажа в стену $U_{\text{окн}} \leq 0,85 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ (или $R_0 \geq 1,2 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$);

– максимально возможное снижение негативного эффекта от тепловых мостов. Это влияние можно не учитывать, если линейный коэффициент теплопередачи $\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$;

– КПД рекуператора должно быть более 75%, чтобы обеспечивался эффективный возврат тепла (рекомендуется более 80%), должна обеспечиваться герметичность наружной оболочки здания [10-11]. Кратность воздухообмена при разности давлений 50 Па наружного и внутреннего воздуха должна составлять $n_{50} \leq 0,6 \text{ ч}^{-1}$.

Заключение

Пассивный дом представляет собой архитектурное решение, направленное на минимальное потребление энергии. Данный объект позволяет экономить средства при потреблении энергии на обогрев помещения, воды, приготовления пищи и т.д. На сегодняшний день в России пассивных домов построено не значительное количество, соответственно реализация проектов является актуальной темой и требует дальнейших разработок.

Пассивные дома по своей стоимости выходят немного дороже, чем обычные, однако, эти расходы полностью компенсируются уже за первые годы эксплуатации.

В результате пассивный дом на эксплуатацию (отопление и охлаждение) требует не более 20% от обычного дома. Причем это не стоит почти никаких дополнительных инвестиций при строительстве. Все что нужно сделать – это создать правильный архитектурный проект будущего здания и качественно воплотить его в жизнь. Дополнительные расходы на увеличение толщины утеплителя, как правило, нивелируются компактностью здания. А система приточно-вытяжной вентиляции является, по большому счету, обязательной абсолютно для любого типа здания, а не только для энерговыгодных домов. Ведь контролируемая вентиляция – это единственный метод, который обеспечивает 100% качества воздуха постоянно.

Дополнительную энергию на обслуживание дома можно экономить с помощью соответствующего инженерного оборудования (тепловые насосы, солнечные коллекторы, солнечные батареи, ветряки и т.п.), работающего от альтернативных источников энергии (тепла земли и солнца, силы ветров и т.п.). Подобная инженерия в пассивном доме является не обязательной, а только опциональной. Она может значительно (на 10-30%) повысить сметную стоимость здания, но с ее помощью можно свести затраты по эксплуатации дома и его вредное воздействие на окружающую среду практически к нулю, получив, так называемый дом «нулевой энергии», а при дополнительных вложениях дом «энергии плюс».

Литература

1. СНиП 23-01-99* Строительная климатология.
2. ISO 13370 Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods, 2007.
3. Материалы 9-й конференции «Технологии проектирования и строительства энергоэффективных зданий, Passive House». Институт пассивного дома, 2013.
4. Файст В. // Основные положения по проектированию пассивных домов. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 144 с., ил.
5. ISO 13790 Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.
6. СП 23-101–2004 Проектирование тепловой защиты зданий.
7. Файст В. // Пакет проектирования пассивного дома (PHPP). – Дармштадт.: PassivhausInstitut, 2007.
8. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.
9. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинова А.Р. // Вестн. Казан. технол. унив., 20, 64-65, (2012).
10. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестн. Казан. технол. унив., 13, 134-136, (2012).
11. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Белякова Е.А., Галяветдинов Н.Р., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А. // Патент на изобретение RUS 2453426 30.12.2010
12. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Белякова Е.А. // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 3. С. 95-98.
13. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.
14. 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.
15. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.
16. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.
17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-106.
18. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.
19. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. // Вестник Казанского тех-

нологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.

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

© Филиппова А.П. – магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Шайхутдинова А.Р. – к.т.н., доц. кафедры «Архитектуры и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», aigulsha@mail.ru.

УДК 66.047-912

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА СУШКИ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А.

В статье представлены сушильный аппарат тарельчатого типа и результаты проведенных в нем исследований по сушке лекарственных растений. Особенностью данной сушильной установки является наличие многоступенчатых перфорированных тарелок, диаметр перфорации которых изменяется по высоте аппарата: уменьшаясь от 15 мм – на верхней тарелке до 2 мм – на нижней. Таким образом, крупные частицы подвергаются более продолжительной тепловой обработке, проходя все ступени аппарата. Более мелкие частицы минуют верхние тарелки с крупной перфорацией и проходят длину пути пропорциональную своим размерам. Данный подход позволяет равномерно высушить различные фракции сырья и более рационально использовать тепловую энергию по сравнению с традиционными способами сушки.

Ключевые слова: сушка, тепловой насос, лекарственное сырье, энергоэффективность.

The article presents the dryer plate type and the results of it for medicinal plants drying studies. A feature of this drying installation is the existence of multi-perforated plates, perforation diameter of which varies in height apparatus: decreases from 15 mm - on the top plate of 2 mm - at the bottom. Thus, large particles are more continuous heat treatment apparatus through all steps. Smaller particles pass by the upper plates with large perforations and tested path length is proportional to its size. This approach allows different raw materials uniformly dry fraction and more efficient use of thermal energy in comparison with conventional drying methods.

Keywords: drying, heat pump, medicinal raw materials, energy efficiency.

Введение

В настоящее время для получения медицинских препаратов используется достаточно большое количество лекарственных растений. Целебные свойства лекарственных растений обусловлены содержанием в них активно действующих веществ: гликозидов, полисахаридов, эфирных масел, органических кислот, витаминов и т.д. Именно они наиболее ценны. Однако кроме них в растениях содержатся сопутствующие и балластные вещества. Количество действующих веществ, содержащихся в растениях, исчисляются чаще десятками и сотнями долями процента [1-5]. Поэтому поиск принципов, методов и средств в процессах производства, переработки и хранения лекарственных растений для получения из них медицинских препаратов является по актуальности важнейшей проблемой [6-10].

В процессе переработки большинство лекарственных растений следует сушить и, по возможности, очень быстро, иначе в их тканях могут происходить различные биохимические процессы, резко снижающие качество продукта. Традиционно для сушки лекарственных растений применяют естественные источники энергии. Широкое распространение получил солнечно-воздушный метод сушки растений. При хороших погодных условиях можно получить медицинские препараты с неплохим качеством. Однако невозможность четкого регулирования сроков сушки затрудняет использование подобных технологий в промышленных масштабах, поэтому в последние годы в процессах переработки лекарственных растений стали широко применяться искусственные источники энергии.

Причем для сушки лекарственных растений зачастую предлагается использовать техноло-

гию и технику, работающую на принципе сжигания твердого, жидкого или газообразного топлива [11]. Однако в этом случае в процессе работы агрегата растительное сырье зачастую перемешивается с продуктами сгорания, в результате чего существует возможность попадания вредных веществ в готовый продукт, что категорически недопустимо.

Одним из возможных решений проблемы сохранения качества при одновременном повышении энергоэффективности является использование сушильной техники, основанной на теплонасосной технологии.

Авторами Milio Alves-Filho & Inwald Stranmen [12-14] было исследовано применение теплового насоса в процессах сушки биоматериалов. Было установлено, что использование предложенной технологии сушки позволяет проводить тепловую обработку биоматериалов и контролировать относительную влажность среды и температуру в диапазоне от -20 до +100 °С.

В работе [15-16] был предложен метод сушки лекарственного растительного сырья с циркуляцией сушильного агента. Предлагаемая технология сушки позволяет получить продукт с более высоким содержанием биологически активных веществ. Кроме того, были определены оптимальные параметры процесса сушки лекарственных растений.

Эффективные с позиции качества процессы сублимационной сушки лекарственного сырья были исследованы научной группой под руководством Tambunan A.H. [17-19]. Установлено, что предлагаемый способ сушки позволяет сохранить все полезные свойства материала. Однако данный способ сушки не получил широкого распространения благодаря очень высокой энергоемкости процесса.

Методы и материалы

С целью повышения энергоэффективности и качества сушки лекарственного растительного сырья был создан сушильный аппарат тарельчатого типа с использованием теплового насоса (рис. 1). Тепловой насос используется для обеспечения рекуперации тепловой энергии [20-22].

Сушильная установка включает камеру сушки цилиндрической формы, внутри которой расположены перфорированные тарелки, тепловой насос, необходимый для рекуперации тепловой энергии, вентилятор, предназначенный для циркуляции сушильного агента, мешалку для перемещения и перемешивания высушиваемого сырья. Мешалка приводится в движение посредством электродвигателя. Перфорация тарелок в зависимости от высоты расположения тарелки имеет различные диаметры: от 2 мм до 15 мм. Причем диаметр перфораций постепенно уменьшается по высоте аппарата.

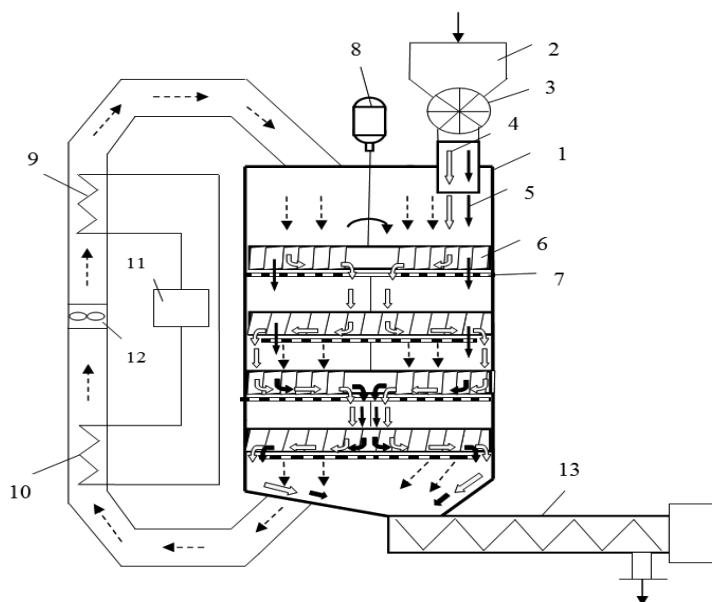


Рис. 1. Схема сушильной установки для сушки лекарственного растительного сырья: 1 – сушильная камера; 2 – загрузочный бункер; 3 – лопастной питатель; 4 – крупные частицы; 5 – мелкие частицы; 6 – мешалка с лопатками; 7 – тарелка с перфорацией; 8 – электродвигатель; 9 – конденсатор; 10 – испаритель; 11 – компрессор теплового насоса; 12 – вентилятор; 13 – шнековый транспортер

Работа установки заключается в следующем: влажное лекарственное сырье из загрузоч-

ного бункера 2 посредством лопастного питателя 3 подается в верхнюю перфорированную та-

релку 7 сушильной камеры 1. Далее в зависимости от размера различные фракции сырья проходят различную дистанцию внутри сушильного аппарата. Более мелкие частицы 5 проходят через крупные перфорации верхних тарелок в нижние секции аппарата. Более крупные частицы перемещаются с помощью мешалок по тарелкам аппарата, пересыпаясь с одной тарелки на другую через пересыпные отверстия. Причем на нечетных тарелках пересыпное отверстие находится в центре, а на четных – на периметре тарелки. Таким образом, регулируется время пребывания различных фракций сырья в аппарате с целью обеспечения равномерной конечной влажности. Далее высушенный материал, пройдя все секции сушильной камеры 1, удаляется из сушилки посредством разгрузочного шнекового транспортера 13, регулирующего

выдачу высушенного материала с заданной производительностью.

В качестве сушильного агента используется атмосферный воздух. Пройдя через все тарелки, насыщенный влагой сушильный агент осушается с помощью теплового насоса и снова направляется в сушильную камеру.

При проведении экспериментов в качестве опытного материала использовался барбарис (*berberis*). Сушка проводилась до конечной влажности 5-15 %. Температура сушки варьировалась в диапазоне от 40 до 70 °С.

Результаты и их обсуждение

В ходе проведения экспериментов были определены зависимости влагосодержания листьев барбариса от количества пройденных тарелок (рис. 2).

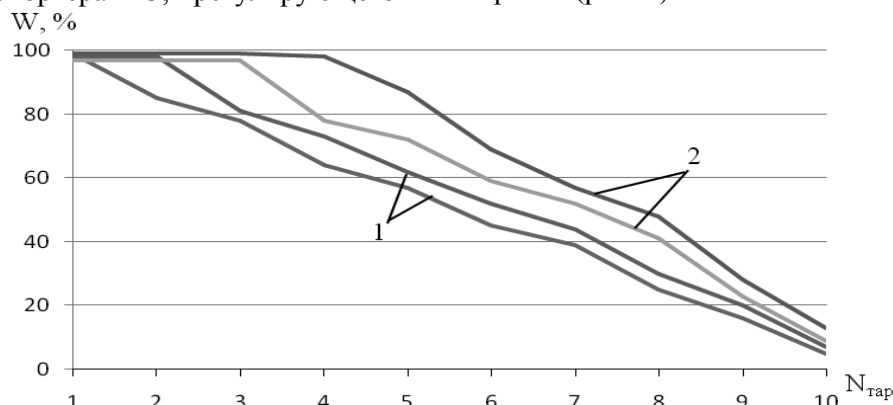


Рис. 2. Зависимость влагосодержания лекарственного сырья от количества пройденных тарелок: 1 – крупные частицы, 2 – мелкие частицы

Из графика видно, что крупные частицы сырья проходят через каждую секцию, тогда как мелкие минуют некоторые секции сушильной установки. Таким образом, предлагаемая конструкция сушильной установки позволяет равномерно высушить различные фракции сырья и

более рационально использовать тепловую энергию.

Также, в процессе проведения исследований было определено содержание алкалоидов в зависимости от температуры тепловой обработки (рис. 3).

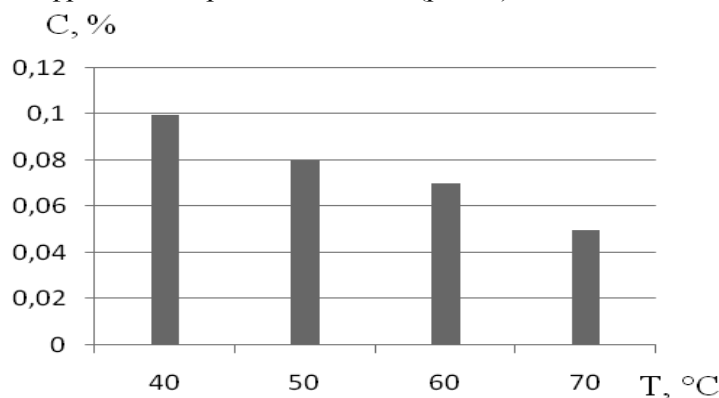


Рис. 3. Зависимость содержания алкалоидов от температуры тепловой обработки барбариса

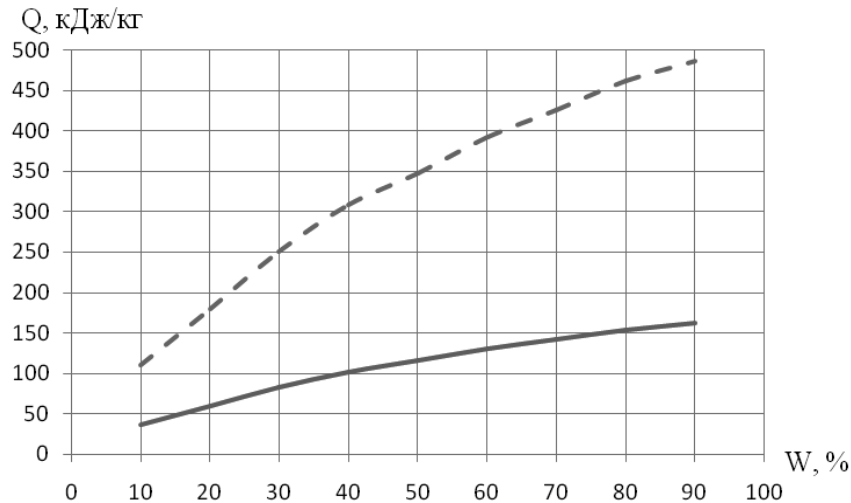


Рис. 4. Показатели потребления тепловой энергии в зависимости от начальной влажности лекарственного сырья:
 ---- - конвективная сушилка «кипящего слоя»,
 — - сушильная установка тарельчатого типа с тепловым насосом

Из приведенных на рисунке 3 результатов видно, что увеличение температуры сушильного агента приводит к уменьшению содержания такого полезного вещества в барбарисе, как алкалоид, который является основным компонентом в препаратах болеутоляющего характера.

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

Из графика видно, что сушка в установке тарельчатого типа проводится с меньшим потреблением тепловой энергии по сравнению с традиционным конвективным способом сушки. Такая экономия достигается особенностью конструкции сушильной установки, а также ис-

пользованием в процессах сушки теплового насоса.

Заключение

В работе приведены результаты по повышению эффективности и качества сушки лекарственного растительного сырья путем использования аппарата тарельчатого типа с тепловым насосом.

Проведена серия экспериментальных исследований, направленных на выявление энергоэффективности предложенной технологии сушки. Установлено, что наличие в сушильной установке перфорированных тарелок позволяет повысить эффективность и равномерность сушки измельченного сырья.

Литература

1. Liapis A.I., Pikal M.J., Bruttini R., Research and Development Needs and Opportunities in Freeze Drying, *Drying Technology*, USA, vol. 14/issue 6, pp. 1265–1300, 1996.
2. Mujumdar A.S., Research and development in drying: recent trends and future prospects, *Drying Technology*, USA, vol. 22, pp. 1–26, 2004.
3. Ozcan M., Arslan D., Unver A., Effect of drying methods on the mineral content of basil (*Ocimum basilicum* L.), *Journal of Food Engineering*, Great Britain, vol. 69, pp. 375–379, 2005.
4. Omidbaigi R.R., Sefidkon F., Kazemi F., Influence of drying methods on the essential oil content and composition of Roman chamomile, *Flavour and Fragrance Journal*, Great Britain, vol. 19, pp. 196–198, 1996.
5. Diaz-Maroto M.C., Perez-Coello M.S., Cabezudo M.D., Effect of different drying methods on the volatile components of parsley (*Petroselinum crispum* L.), *European Food Research and Technology*, Germany, vol. 15, pp. 227–230, 2002.
6. Raghavan G.V.S.; Rennie T.J.; Sunjka P.S.; Orsat V.; Phaphuangwittayakul W.; Terdtoon P., Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Brazil, vol. 22/issue 2, pp. 195–201, 2005.
7. Wisniewski G., Drying of medicinal plants with solar energy utilisation, *Drying Technology*, USA, vol. 15/issue 6-8, pp. 2015–2024, 2007.
8. Martynenko A. & Kudra T., Non-Isothermal Drying of Medicinal Plants, *Drying Technology*, USA, vol. 33/issue 13, pp. 1550–1559, 2015.

9. Abdel-Rehim Z.S. & Fahmy F.H., Photovoltaic dryer with dual packed beds for drying medical herb, *Drying Technology*, USA, vol. 16/issue 3-5, pp. 799-811, 2007.
10. Oliveira W.P., Bott R.F. & Souza C.R.F., Manufacture of standardized dried extracts from medicinal brazilian plants, *Drying Technology*, USA, vol. 24/issue 4, pp. 523-533, 2007.
11. Safin R.R., Voronin A.E., Shaikhutdinova A.S., Nazipova F.V., Kaynov P.A., Method of rational use of waste of timber industries, *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, Bulgaria, SGEM 15th, pp. 699-706, 2015.
12. Alves-Filho M., Stranmen I., The application of heat pump in drying of biomaterials, *Drying Technology*, USA, vol. 14/issue 9, pp. 2061-2090, 1996.
13. Krempski-Smejda M., Stawczyk J., Śmigielski K. & Prusinowska R., Drying of Herbal Product in Closed System, *Drying Technology*, USA, vol. 33/issue 13, pp. 1671-1677, 2015.
14. Tambunan A.H., Yudistira, Kisdiyani & Hernani, Freeze drying characteristics of medicinal herbs, *Drying Technology*, USA, vol. 19/issue 2, pp. 325-331, 2001.
15. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Данилова Р.В., Кайнов П.А., Оладьшикина Н.А., Белякова Е.А. патент на изобретение RUS 2453425 18.01.2011
16. Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2005. № 2. С. 168-173.
17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 23. С. 76-78.
18. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладьшикина 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
19. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2009. № 1. С. 24-25.
20. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 13. С. 134-136.
21. Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р. Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 233-239.
22. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2008. № 5. С. 22-25

© **И. Ф. Хакимзянов** – асс. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ilshat_170@mail.ru; **П. А. Кайнов** – к.т.н., доц. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», kpa-nv@rambler.ru.

УДК 674.816

ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫЕ ПЛИТЫ: ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ

Р.Р. Богданов, А.А. Калимуллин, Белякова Е.А.

В статье приведены результаты анализа литературы по проблеме повышения эксплуатационных характеристик цементно-стружечных плит, а также совершенствования технологии их производства и модификации, как используемой древесины, так и цементных композиций. По результатам исследований установлено, что модификация древесины направлена на борьбу с веществами, задерживающими твердение цемента, а путем введения химических добавок в цементную составляющую ЦСП достигаются высокие эксплуатационные характеристики. При этом наибольшее влияние на увеличение водонепроницаемости и морозостойкости оказывают гидрофобизирующие добавки на основе кремнийорганических соединений, а путем введения пластифицирующих добавок удается увеличить прочность без увеличения расхода цемента.

Ключевые слова: цементно-стружечные плиты, композиционный материал, модификация, цементные композиции

The results of the analysis of the literature on the problem of increasing maintenance ha-tics of cement-bonded boards, as well as improving their production technology and modifications as the use of wood and cement compositions. According to the research it found that the modification of wood aimed at combating substance, delaying solid alloy-denie cement, and by the introduction of chemical additives to the cement component CBB reached you-sokie performance. The greatest influence on the increase of waterproof and frost-Most have repellent additives based on silicones, and by the introduction of plasticizers is possible to increase strength without increasing the consumption of cement.

Keywords: cement particle boards, composite material modification cement compositions

Введение

Впервые технология производства цементно-стружечных плит (ЦСП) была разработана в тридцатые годы двадцатого века в Соединенных Штатах Америки. Компания «Дуризол» в Швейцарии и компания «Бизон-Верке» в Германии реализовали проект на практике. На сегодняшний день производство плит ЦСП получило распространение по всему миру. Данный материал был запущен в производство в конце восьмидесятых годов и в Советском союзе. Лодейнопольский комбинат оснастили оборудованием «Bizon» немецкого производства. На то время данный комбинат организовал выпуск продукции самого высокого качества по сравнению с аналогичными предприятиями. На данный момент в Российской Федерации успешно налажена работа пяти предприятий по выпуску материала ЦСП. Важно отметить, что качество продукции, выпускаемой этими предприятиями на порядок выше, чем у зарубежных аналогов [1-2].

Применение плит в строительстве, а также при внешней и внутренней отделке, получило широкое распространение. Изготовление предполагает различный тип дизайнерского решения в обработке. К примеру, в Японии более 90 % потребителей приобретают плиты ЦСП с тиснением, а также с покрытием поверхности (как правило, используют для обшивки фасада).

Во многих странах Европы ЦСП широко применяется при сборном домостроении, при этом плиты ЦСП функционируют как конструкционный материал, что выгодно отличает его от гипсокартона и других аналогов. Применение ЦСП создаёт высочайшую эффективность в строительстве, при их использовании отсутствуют пыль, отходы, исключён шум на стройплощадке [3-4].

Цементно-стружечные плиты являются одним из современных материалов, позволяющих снизить расход деловой древесины. По сравнению с другими древесными материалами (древесно-стружечные, древесно-волокнистые плиты, фанера), ЦСП имеет ряд преимуществ: не-

горючесть, нетоксичность, био- и атмосферостойкость.

В состав ЦСП входит мелкая древесная стружка, портландцемент, вода и специальные добавки, которые препятствуют негативному воздействию дерева на цемент. Данный материал изготавливается в заводских условиях при соблюдении достаточно серьезных требований, чтобы конечный продукт соответствовал ГОСТ 26816-86.

Цементно-стружечные плиты изготавливают по ГОСТ 26816-86 путем прессования древесных частиц с цементным вяжущим и химическими добавками. За основу используемого сырья принимают портландцемент, тонкомерную древесину, кусковые отходы (горбыли, рейки), различные химические добавки. Древесина должна быть без гнили, коры и выдержана при благоприятной температуре на складе хранения в течение 90 дней. Эксперименты показали, что влияние породы на прочность цементно-стружечных плит при различных способах механических испытаний непостоянно. Прочность плит из ели выше, чем из древесины березы или осины. При срезании и скалывании прочность цементно-стружечных плит, изготовленных из березовой стружки, выше, чем у плит, изготовленных с применением сосновой или еловой древесины. При этом порода древесины не влияет на ударную вязкость [5-7].

В качестве вяжущего сырья применяют портландцемент СЕМ 42.5. Марка цемента играет немаловажную роль при проведении испытаний ЦСП на сжатие, ударную вязкость и срез. Прочность при растяжении, изгибе и скалывании практически во всех видах - постоянная величина. Вид цемента влияет на прочностные характеристики лишь в начальное время твердения материала. При эксплуатации изделия из цементно-стружечных плит важны показатели при разных видах увлажнения материала. Под воздействием влаги увеличивается масса и толщина, это нужно учитывать при создании конструкций из цементно-стружечных плит [8-9].

Древесный наполнитель, как и многие другие органические целлюлозные наполнители, наряду с присущими им ценными свойствами, такими как малая средняя плотность, хорошая смачиваемость, легкость обработки, также имеют и отрицательные качества, из-за которых затруднительно получить материал высокой прочности из высокопрочных компонентов, то есть цементного камня и древесины. К особенностям органического целлюлозного наполнителя, которые отрицательно влияют на процессы структурообразования, прочности и стойкости арболита к влагопеременным воздействиям, относятся следующие свойства: химическая агрессивность; значительные объемные влажностные деформации и повышение давления набухания; резкая анизотропия; высокая проницаемость; низкая адгезия по отношению к цементному камню; значительная упругость при уплотнении смеси [10-11].

Химический состав древесины также изменяется под влиянием сильной щелочной среды, которая создается минеральными вяжущими веществами. В таких условиях деструктируются легкогидролизуемые углеводы, которые отрицательно влияют на твердение цемента. Так как древесина лиственных пород содержит большее количество легкогидролизуемых гемицеллюлоз, нежели хвойная древесина, то она менее пригодна для получения качественного материала [12-13].

Результаты и обсуждение

Существует несколько методов борьбы с «цементными ядами» (веществами, задерживающими твердение цемента): обработка древесных частиц растворами хлорида кальция, жидкого стекла, сернокислого алюминия [14].

На кафедре «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВПО «КНИТУ» проводились эксперименты [15], цель которых заключалась в том, чтобы определить влияние различных химических добавок на деструктурирование легкогидролизуемых гемицеллюлоз. При этом выбрана следующая рецептура ЦСП, составы приведены в таблице 1.

Также удаление «цементных ядов» из древесного сырья возможно путем его ультразвуковой обработки в воде. Данная технология значительно интенсифицирует и увеличивает экстракцию водорастворимых сахаров и, тем самым, вызывает увеличение прочностных характеристик ЦСП [16].

Помимо модификации свойств древесного наполнителя, не менее важной задачей при повышении эффективности ЦСП является модификация цементных композиций. Одним из основных и экономичных направлений повышения качества цементных композиций, является применение различного рода химических добавок. На данный момент в мире насчитывается около 300 различных добавок [17].

В настоящее время, пластифицирующие добавки стали наиболее широко применяемыми в производстве цемента. Объясняется это тем, что данный вид добавок обладает высокой эффективностью, доступностью и приемлемой ценой [18].

Главное назначение у данного вида добавок – это снижение жесткости смеси и увеличение подвижности, её разжижение. Данный эффект (разжижение), применяется для увеличения плотности и прочности цементных композиций, путем снижения водопотребности смеси или для уменьшения расхода цемента при равной прочности.

Таблица 1 – Рецептура изготовления ЦСП в расчете на 1м³

Компоненты	Содержание компонентов, кг/м ³	Компоненты	Содержание компонентов, кг/м ³
	1		1
Стружка ольхи	300	Стружка ольхи	300
Цемент СЕМ42.5	750	Цемент СЕМ42.5	750
Хлорид кальция	3% от масс.цем	Хлорид кальция	3% от масс.цем
Жидкое стекло	–	Жидкое стекло	–
Сернокислый алюминий	–	Сернокислый алюминий	–
Вода	400	Вода	400
Лигносульфонат	–	Лигносульфонат	–

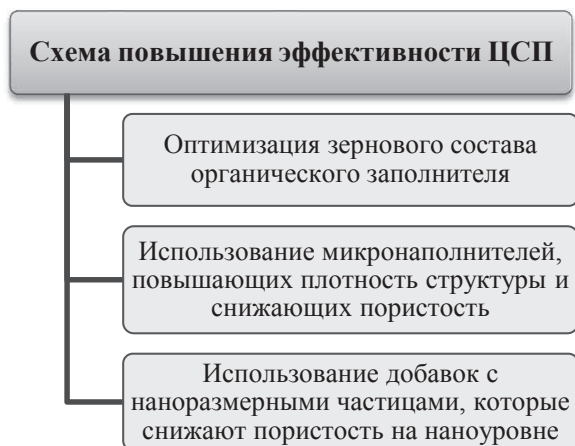


Рис. 1 Схема повышения эффективности ЦСП

Пластифицирующие добавки в соответствии с классификацией [19-20] подразделяются на:

- суперпластифицирующие;
- пластифицирующие.

Так же, широкое распространение получили гидрофобизирующие добавки, придающие стенкам пор и капилляров в бетоне водоотталкивающие свойства, которые позволяют повысить физико-механические свойства. Гидрофобизирующие добавки придают бетонам и растворам специальные свойства: снижение водопоглощения и замедление скорости твердения [11-12]. К гидрофобизирующим добавкам относятся все кремнийорганические жидкости: ФЭС-50, Типром С, ГКЖ-9, ГКЖ-11, ГКЖ-94, ГФ 113-63, ГФ 136-41, мылонафт, различные соли и др.

Выводы

Таким образом, по результатам анализа литературы установлено, что уменьшение вредного воздействия древесных частиц на гидратацию цемента возможно за счет их обработки растворами хлорида кальция, жидкого стекла, сернокислого алюминия. Также удаление «цементных ядов» из древесного сырья возможно путем его ультразвуковой обработки в воде.

Увеличение эксплуатационных характеристик ЦСП достигается не только путем обработки древесных частиц, но за счет модификации структуры цементных композиций путем введения химических добавок.

Литература

1. Бухаркин В.И. // Об основных свойствах цементно-стружечных плит / В.И. Бухаркин, Л.В. Гольцева // Научные труды МЛТИ. – М. : МЛТИ, 1982. – Вып. 143. – С. 109-112.

2. . Полищук А. И, Рубинская А. В. // Химическая агрессивность заполнителя растительного происхождения по отношению к цементу. (ЛфСибГТУ, г. Лесосибирск, РФ).

3. Изотов В.С., Соколова Ю.А. // Химические добавки для модификации бетона. – М.: Казанский Государственный архитектурно-строительный университет: Издательство «Палеотип», 2006. – с. 244.

4. Вавржин В.Ф. // Влияние химических добавок на процессы гидратации и твердения цемента международный конгресс по химии цемента. М., Стройиздат, 1976, т.2, кн. 2, С. 6-9.

5. Невиль А.М. Свойства бетона. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – с. 344.

6. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. // Добавки в бетон. М., Стройиздат, 1989, с. 188.

7. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2010. – с. 25.

8. Сафин Р. Р., Назипова Ф. В., Воронин А. Е., Зиатдинов Р. Р. // Ультразвуковая экстракция водорастворимых сахаров из древесины в производстве композиционных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т 18, №16. С. 188-190.

9. Ибрагимов Р.А., Богданов Р.Р., Мустафин А.А. // Влияние кремнийорганических соединений на физико-механические свойства мелкозернистого бетона // Вестник Казанского технологического университета, 22, с.97-99 (2015)

10. Назипова Ф.В., Мухаметзянов Ш.Р. // Деревообрабатывающая промышленность, 3, 49-51 (2014).

11. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. // Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. С. 22-23.

12. Сафин Р.Р., Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. // Вестник Казанского технологического университета, 21, с. 50-52 (2014)

13. Сафин Р.Р., Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 50-52.

14. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладьшкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009

15. 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. патент на изобретение RUS 2422266 14.12.2009
16. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Воронин А.Е., Зиатдинов А.Р., Сабиров А.Т. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 5. С. 82-87.
17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 19. С. 122-124.
18. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Белякова Е.А., Галяветдинов Н.Р., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А. патент на изобретение RUS 2453426 30.12.2010
19. Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Р., Садртдинов А.Р., Сафин Р.Г., Кузьмин И.А., Разумов Е.Ю., Миндубаев Р.Р. патент на изобретение RUS 2400671 09.04.2009
20. Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Воронин Е.К., Кайнов П.А., Зиатдинова Д.Ф., Тимербаев Н.Ф. патент на изобретение RUS 2404238 09.04.2009

© **Р.Р. Богданов** – асс. кафедры «Технология строительного производства» ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», bogdanov.r.g@yandex.ru; **А.А. Калимуллин** – магистрант, fluwow@yandex.ru; **Е.А. Белякова** – к.т.н., доц. кафедры «Архитектура и дизайна изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», elena.aleksandr@mail.ru.

УДК 54-116

АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВОЛОКОН

Галяветдинов Н.Р.

В данной статье исследованы физико-механические свойства древесно-полимерного композита на основе полилактида и наполнителя в виде термомодифицированных древесных волокон. В ходе исследований образцы полученных композитов были подвергнуты испытаниям погружением в воду на заданные промежутки времени, по истечении которых образцы подвергались испытаниям. В результате проведенных работ были получены прочностные характеристики композитов при изгибе, а также изменение их линейных размеров.

Ключевые слова: механические свойства, полилактид, термомодифицированная древесина, древесно-полимерный композит index.

In this article the physico-mechanical properties of wood-polymer composite based on polylactide and heat treating the filler in the form of wood fibers. During the research samples of the composites were tested by immersion in water for a specified period of time, after which the samples were tested. As a result of the strength characteristics of the composites work during bending and change their linear dimensions were obtained.

Keywords: mechanical properties of polylactide, thermomodified wood, wood-plastic composite index.

Введение

В статье исследованы физико-механические свойства древесно-полимерного композита на основе полилактида и наполнителя в виде термомодифицированных древесных волокон. В ходе исследований образцы полученных композитов были подвергнуты испытаниям погружением в воду на заданные промежутки времени, по истечении которых образцы подвергались испытаниям. В результате проведенных работ были получены прочностные ха-

рактеристики композитов при изгибе, а также изменение их линейных размеров.

Производство и утилизация традиционных пластиков на основе нефти ставят перед человечеством ряд проблем. Во-первых, утилизация таких пластиков является крайне актуальной проблемой в виду образования больших количеств твердых бытовых отходов с большими сроками разложения. Масштабы общемирового производства пластиков велики (около 245 млн. т. ежегодно) [1], отходы образуются в пропор-

циональном объеме и представляют серьезную угрозу для окружающей среды. Во-вторых, запасы полезных ископаемых, из которых производятся пластики, не безграничны. Помимо пластиков, они расходуются на производство множества других продуктов, в основном, горюче-смазочных материалов. Одним из способов решения этих проблем является вторичная переработка традиционных пластиков на основе нефти. Однако она распространена недостаточно широко, и популярным методом утилизации пластиковых отходов во многих странах является их сжигание, что, в свою очередь, приводит к выбросу большого количества токсичных веществ, образующихся при горении пластиков, в атмосферу. Существует другой способ снизить влияние пластиков на окружающую среду – замена традиционных пластиков биополимерами. Среди термопластичных биополимеров можно назвать биополиэстеры, а именно полигидроксикапроноаты (ПГА), полилактиды, поликапролактон, полигликолевую кислоту и др. Биополимеры в настоящий момент имеют сравнительно высокую стоимость, потому большинство из них неконкурентоспособны по отношению к традиционным пластикам на основе нефти, и лишь некоторые из них получили распространение. В их числе – полилактид, биоразлагаемый пластик, производимый из возобновляемого растительного сырья. Биоразлагаемые пластики доступны для обитающих в почве и воде микроорганизмов, а их производство из ежегодно возобновляемого сырья, такого как кукуруза, злаки, свекла и т.п. позволяет снизить потребление невозобновляемых природных ресурсов.

Традиционно для снижения стоимости пластика в матрицу полимера вводят наполнитель. В качестве наполнителя в биоразлагаемых композитах, как и для композитов из других полимеров, могут использоваться древесные либо другие растительные волокна: мочало кенафа, конопля, льняные волокна, джутовые волокна, волокна хенекена, банановые волокна, сизаль, волокна семян иплодов (касторовый жмых, оливковый жмых, рисовая шелуха; шелк и отходы хлопка), бамбуковые порошок и мука [2-12]. Массовое производство композитов на основе полилактида требует проведения дополнительных исследований, так как данному материалу свойственна хрупкость, которая обусловлена слабым взаимодействием между гидрофобной полимерной матрицей и гидрофильным древес-

ным наполнителем, а также свойствами самого полилактида. Более того, при повышении влажности древесного наполнителя происходит частичное разрушение полилактида, что приводит к ухудшению механических свойств материала [13].

Для улучшения механических свойств композитов на основе полилактида проводились исследования, в которых в композит вводились различные добавки, повышающие пластичность материала. Так, Тао Цян и др. в своем исследовании использовали для этих целей линейный полиэтилен низкой плотности, что привело к существенному снижению стоимости материала и улучшению ударной вязкости и межфазной адгезии, не оказав значительного влияния на термостабильность. [14-16]. В другом исследовании авторов в качестве упрочняющего агента для композита на основе ПМК был использован стирол-бутадиен-стирол, высокоэластичный синтетический каучук. Это позволило повысить ударную вязкость и относительное удлинение при разрыве, в то время как предел прочности на разрыв был снижен. Термостабильность также не изменилась [17]. Помимо этого для упрочнения хрупких композитов из полилактида без ущерба для его биоразлагаемых свойств были предприняты попытки использовать полиэфируретановый эластомер, в результате чего была повышена скорость кристаллизации, снижена степень кристалличности, уменьшены прочность на разрыв и модуль упругости; однако значительно увеличены относительное удлинение при разрыве ударная вязкость [18]. В то же время известно, что предварительная термическая обработка древесного наполнителя изменяет его химические и физические свойства за счет разложения гемицеллюлоз: уменьшаются изменения линейных размеров из-за влажности, повышается биологическая стойкость, улетучиваются экстрактивные вещества, наполнитель становится легче по весу, уменьшается уровень pH, теплоизоляционные свойства улучшаются [19]. В частности, исследования, проведенные Бутылиной С. и др. использовали связующие агенты – малеинизированный полипропилен, а также наполнитель из термомодифицированной древесины, что позволило снизить влагосодержание наполнителя и его отрицательное влияние на свойства композита [20]. Известны исследования, направленные на повышение водостойкости фанеры путем предварительной термической обработки листов шпо-

на, что также позволяет снизить эмиссию формальдегида, тем самым повысив экологичность материала. [21-23].

Методы и материалы

Для проведения исследования свойств композиционного материала использовался полилактид в гранулах производства NatureWorks (США), древесная мука из лиственных пород древесины (100% береза, Лигнум-Ресурс, г. Казань), термомодифицированная при разных температурных режимах [таблица 1] в лабораторной установке барабанного типа.

Таблица 1 – Режимы термомодифицирования древесного наполнителя

Температура, °С	Время выдержки, мин
180	45
210	45
240	45

Обработанный древесный наполнитель смешивался с расплавленным полилактидом методом вальцевания для обеспечения лучшего качества смешения в соотношении 60% древесной муки и 40% полилактида. Из полученной смеси методом экструзии были изготовлены образцы прямоугольного сечения размерами 4*10*80 мм. Было изготовлено три серии образцов с наполнителем из древесины, модифицированной при разных температурных режимах, по 15 образцов в каждой серии. Линейные размеры образцов измерены перед опытом, затем они были помещены в воду, где выдерживались на протяжении 28 суток. Периодически сутки образцы извлекались из воды и фиксировались их линейные размеры, а также проводилось взвешивание.

Изменение линейных размеров при разбухании было вычислено по формуле:

$$\Delta l = (l_b - l_c) / l_c \cdot 100\%, \quad (1)$$

где l_b – размер влажного образца, l_c – размер сухого образца.

Водопоглощение рассчитывалось по формуле:

$$W = (m_b - m_c) / m_c \cdot 100\%, \quad (2)$$

где m_b – масса влажного образца, m_c – масса сухого образца.

Помимо этого, был исследован предел прочности при изгибе образцов согласно ГОСТ 4648-71.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, проведено сравнение водопоглощения и набухания образцов, изготовленных с использованием древесины, термомодифицированной при различных температурах.

Было установлено, что в зависимости от режима термомодифицирования наполнителя, изменяется водопоглощение и степень разбухания композита, а именно при повышении температуры обработки снижаются водопоглощение и разбухание (рис. 1, 2).

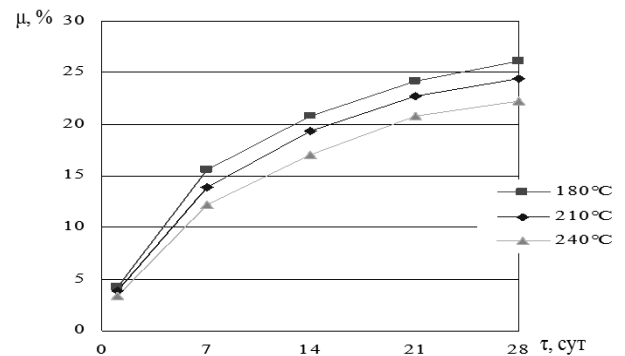


Рис. 1. Зависимость водопоглощения от времени выдержки в воде для трех типов композитов

Это объясняется более высокой степенью модификации древесины.

Соответственно, предел прочности при изгибе изменялся с увеличением времени выдержки образцов в воде и оставался более высоким для образцов с наполнителем, прошедшим термомодифицирование при более высокой температуре (рис. 3).

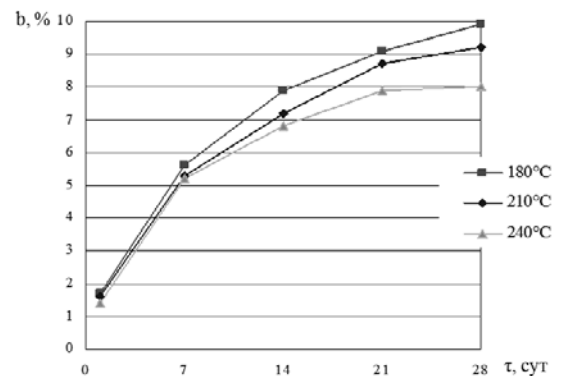


Рис. 2. Зависимость набухания от времени выдержки в воде для трех типов композитов

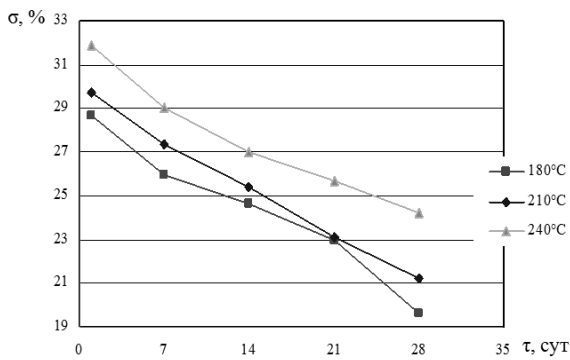


Рис. 3. Зависимость предела прочности при изгибе от времени в выдержке в воде для трех типов композитов

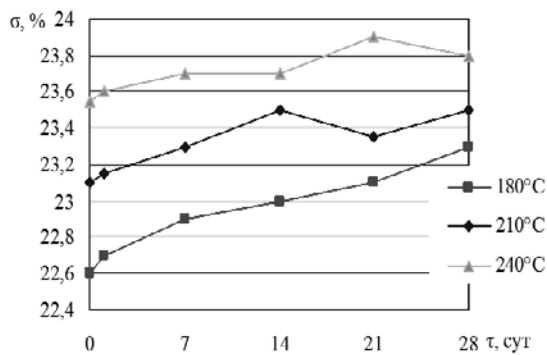


Рис. 4. Зависимость ударной прочности по Шарпи от времени выдержки образцов в воде

Аналогичные показатели по ударной прочности по Шарпи, из которых видно, что при высокотемпературной обработке показатели прочности повышаются прямо пропорционально температуре обработки (рис 4).

Заключение

В данном исследовании были рассмотрены свойства композита на основе полилактида и древесной муки, термомодифицированной при разных температурах. Было установлено, что термомодифицирование позволяет снизить отрицательное воздействие влажности древесного наполнителя на механические свойства материала. Снижение водопоглощения ДПК на основе полилактида актуально для производства изделий из него, так как водопоглощение определяет атмосферную стойкость материала. К тому же, поглощенная древесным наполнителем вода приводит к частичному разложению полилактида, что снижает срок его службы. Более низкое водопоглощение важно для использования ДПК, так как сказывается на линейных размерах и прочности при изгибе.

Литература

1. Plastics Europe (2009). The compelling facts about plastics 2009. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008. Дата обращения 07.02.16 http://www.plasticseurope.org/Content/Default.asp?PageName_openfile&DocRef_20090930-001
2. Di Landro, L.; Lorenzi, W. Static and dynamic properties of thermoplastic matrix=natural fiber composites. *J. Biobased Mater. Bioener.* 2009, 3, 238.
3. Huq, T.; Khan, A.; Noor, N.; Saha, M.; Khan, R.A.; Khan, M.A.; Rahman, M.M.; Tahman, K.M. Fabrication and characterization of jute fiber-reinforced PET composite: effect of LLDPE incorporation. *Polym. Plast. Technol. Eng.* 2010, 49, 407.
4. Herrera-Franco, P.J.; Valadez-Gonzalez, A. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Compos.Pt. B.* 2005, 36, 597.
5. Galyavetdinov, N.R. The usage of wood wastes in the manufacture of composite materials./ N.R. Galyavetdinov, R.R. Khasanshin, R.R. Safin, R.G. Safin, E.Y. Razumov. – International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. – 2015. С. 779-786.
6. Idicula, M. Natural fiberhybrid composite—Acomparison between compression moldingand resin transfer molding/ M. Indicula, P.A. Sreekumar, K Joseph, S. Thomas. – *Polym. Compos.* 2009, 30, 1417.
7. Stork, R.R.; Rocha, M.C.G. Composites of low-density polyethylene and castor presscake. *Polym. Plast. Technol. Eng.* 2010, 49, 1352.
8. Srebrekoska, V. G.Utilization of recycled polypropylene for production of ecocomposites./ V. Srebrekoska, G.B. Gaceva, M. Avella, M.E. Ericco/ – *Gentile Polym. Plast. Technol. Eng.* 2009, 48, 1113.
9. Kocěak, D. Mechanical, thermal, and microstructure analysis of silk- and cotton-wastefiber-reinforced high-density polyethylene composites/ D. Kocěak, M. Tasėdemir, I. Usta, N. Merdan, M. Akalin. – *Polym. Plast.Technol. Eng.* 2008, 47, 502.
10. Chen, Q.H. Preparation of polypropylene-graftcardanol by reactive extrusion and its composite material with bamboo powder./ Q.H. Chen, H.Y. Xue, J.H. Lin. – *J. Appl. Polym. Sci.* 2010, 115, 1160.

11. Kim, J.Y. Effect of a novel polymeric coupling agent on the water uptake property and warp stability of poly(vinyl chloride)- bamboo flour composite./ J.Y. Kim, J.H. Peck, S.H. Hwang, W. Huh, S.W. Lee, S.C. Hong. – Compos. Interf. 2009, 16, 837.
12. Wang, H. Impact response of bamboo-plastic composites with the properties of bamboo and polyvinylchloride(PVC)./ H. Wang, R. Chang, K.C. Sheng, M. Adl, X.Q. Qian. – J. Bion. Eng. 2008, 5, 28.
13. Butylina, S. Comparison of water absorption and mechanical properties of wood-plastic composites made from polypropylene and polylactic acid/ S. Butylina, O. Martikka, T. Kärki – Wood Material Science & Engineering, 2010. 5:3-4, С. 220-228
14. Qiang, T. Polylactide-Based Wood Plastic Composites Modified with Linear Low Density Polyethylene/ T. Qiang, D. Yu, Y. Wang, H Gao. – Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2013. 52:2, 149-156
15. Qiang, Tao. Polylactide-Based Wood Plastic Composites Toughened with SBS/ T. Qiang, D. Yu, H. Gao, Y. Wang. – Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2012. 51:2, 193-198
16. Li, Y.J. Toughening of polylactide by melt blending with a biodegradable poly(ether)urethane elastomer./ Y.J. Li, H. Shimizu, Macromol. Biosci. 2007, 7, 921.
17. Safin R.R., Khasanshin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Study of the Physical and Energy Properties of Fuel Granules Based on a Thermomodified Wood Raw Material. Journal of Engineering Physics and Thermophysics: Volume 88, Issue 4 (2015), P. 958-961. DOI 10.1007/s10891-015-1270-y.
18. Safin R.R., Khasanshin R.R., Shaikhutdinova A.R., Ziatdinov R.R. The technology for creating of decorative plywood with low formaldehyde emission. IOPConf. Series: Materials Science and Engineering 93 (2015) 012077 DOI: 10.1088/1757-899X/93/1/012077
19. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю. Деревообрабатывающая промышленность. 2012. № 1. С. 015-018.
20. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Белякова Е.А. Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 3. С. 95-98.
21. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.
22. 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.
23. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.

© **Галяветдинов Н.Р.** – к.т.н., доц. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», poig777@mail.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.).

Химическая технология древесины

УДК 66.040.22/25

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В УСЛОВИЯХ БАРАБАННЫХ АППАРАТОВ

Сафин Р.Р., Салимгараева Р.В.

Производство композиционных материалов на основе древесины является динамично развивающейся отраслью глубокой переработки древесины. Возникла эта отрасль в связи с необходимостью расширения областей использования возобновляемых ресурсов – древесины, а также стремлением максимально использовать отходы деревообработки. При этом сравнительно новым направлением развития рынка древесно-наполненных композиционных материалов является производство древесно-полимерных композитов (ДПК), которые находят всё большее распространение в США, Канаде, Сингапуре, Китае и активно завоевывают популярность в Европе. Спектр их применения самый разнообразный.

Ключевые слова: барабанный аппарат, термическая обработка, измельченная древесина.

Production of composite materials based on wood is a dynamic field of deep processing of wood. There was this industry due to the need to expand the use of renewable resources - wood, as well as the desire to maximize the use of wood waste. In this relatively new area of the market development of wood-filled composite materials is the production of wood-plastic composites (WPC), which are becoming more common in the United States, Canada, Singapore, China, and is actively gaining popularity in Europe. The spectrum of the most diverse applications.

Keywords: drum machine, heat treatment, chopped wood.

Введение

В настоящее время разработкой композиционных составов в основном занимаются специалисты-химики, которые улучшают свойства ДПК с позиции изменения характеристик полимера и его адгезии с древесиной, где были достигнуты серьезные результаты. Однако учитывая, что древесина занимает не менее 30% от общей массы композиционного материала, пренебрегать ее свойствами нельзя. Недостатками древесины, используемой в производстве композиционных материалов, является то, что со временем она синее, плесневеет, при попадании влаги разбухает, что приводит к снижению механических свойств композиционного материала. К тому же, при формировании композита древесно-полимерная смесь нагревается до 160-180°C, что вызывает начало разложения наименее термостойких компонентов древесины и, соответственно, газовыделению, в результате чего в материале образуются микропоры, которые также снижают эксплуатационные свойства ДПК. Поэтому актуальной является задача модифицирования древесного наполнителя с позиций улучшения свойств древесно-полимерного композита.

В то же время в области переработки массивной древесины известна технология термомодифицирования – высокотемпературной обработки пиломатериалов без доступа кислорода воздуха, в процессе которой происходит разложение гемицеллюлозы на реактивные молекулы меньшего размера, что позволяет существенно снизить гигроскопичность, повысить биостойкость, долговечность, добиться отсутствия усушки и разбухания и, соответственно, снизить величины коробления в условиях переменной влажности [1-3]. Кроме того, уже имеются исследования по использованию термомодифицированной измельченной древесины в композиционных материалах на основе минеральных вяжущих [4-6], которые подтверждают целесообразность использования данного вида обработки древесного наполнителя в производстве арболита с целью повышения его эксплуатационных характеристик. Однако описанная в данных работах технология производства арболита основана на использовании отходов переработки массивной термодревесины, поскольку исследования в области термомодифицирования непосредственно измельченной древесины отсутствуют. В то же время в литературе широко исследованы, наиболее близкие к рассматриваемым процессам, технологии сушки измель-

ченной древесины: указывается эффективность использования для этих целей конвективных способов, в частности, в условиях барабанных аппаратов. Процессы тепло- и массообмена в камерах барабанного типа протекают достаточно интенсивно и экономично благодаря хорошему контакту между обрабатываемым сыпучим материалом и газообразным агентом, а также благодаря возможности использования высоких температур газов при параллельном движении их с материалом. В связи с этим была поставлена задача исследования процесса термомодифицирования измельченной древесины в среде топочных газов в условиях барабанных аппаратов [7-8].

Методы и материалы

Физическую картину способа термомодифицирования измельченной древесины в среде топочных газов можно представить следующим образом (рис. 1). Процесс является непрерывным. Измельченную древесину 1 загружают в камеру барабанного типа 2. Циркуляция тепло-

носителя осуществляется в многократном режиме в попутном направлении. Повышение температуры теплоносителя происходит путем смешения в камере 5 с топочными газами высокой температуры, поступающими из топки 4.

Попадая в аппарат, измельченная древесина нагревается, подвергается термическому разложению легкоразлагаемого компонента древесины – гемицеллюлозы, с выделением в среду продуктов разложения. Температура, до которой осуществляется нагрев древесных частиц, зависит от требуемой степени термомодифицирования [9-10].

При этом измельченная древесина в аппарате находится как в полете, так и в завале. Основным способом теплопередачи к измельченной древесине в полете является конвекция, подвод тепла к материалу в завале характеризуется контактным методом. Выгрузка измельченной древесины из барабана осуществляется в шнек 6, где происходит стадия охлаждения обработанного сырья путем передачи тепла хладагенту, циркулирующему в рубашке шнека.

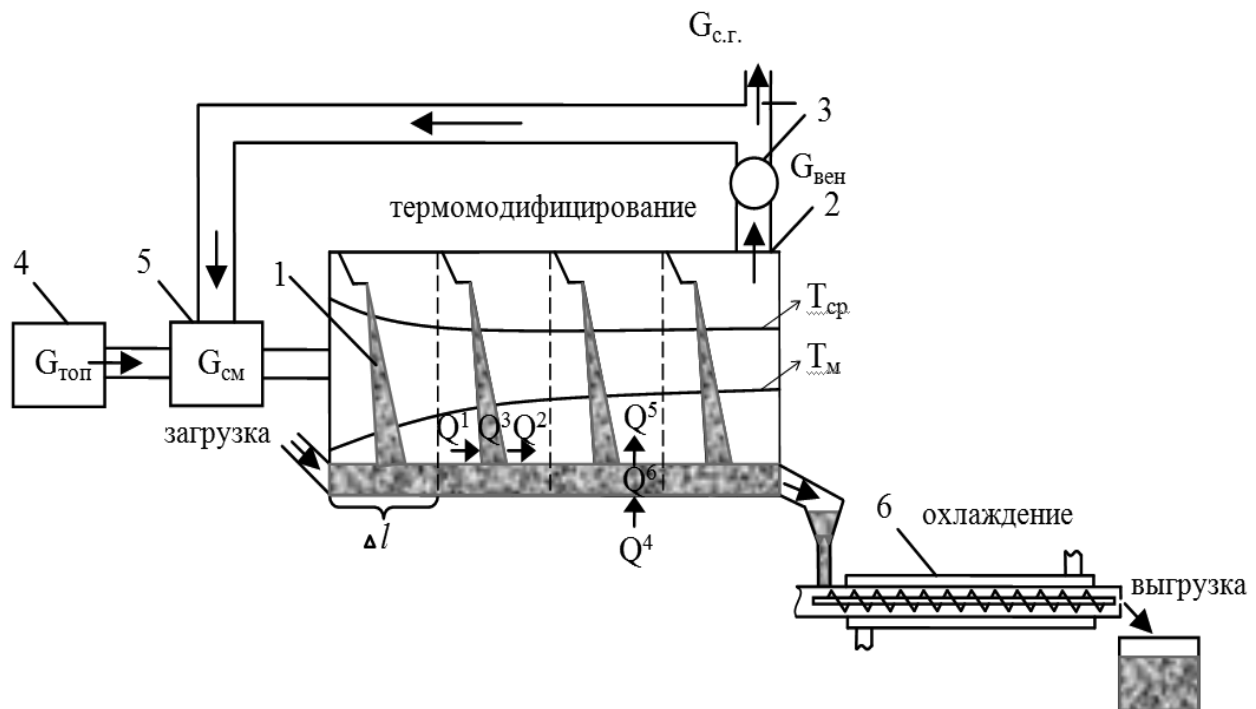


Рис. 1. Схема ведения процесса термомодифицирования измельченной древесины в среде топочных газов в условиях барабанных аппаратов:

- 1 – древесный наполнитель; 2 – камера термомодифицирования; 3 – дымосос;
4 – топка; 5 – камера смешения; 6 – шнек с водяной рубашкой

Для исследования процесса термомодифицирования измельченной древесины были проведены на пилотной барабанной установке, где в

качестве агента обработки использовались топочные газы. Внешний вид установки представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид пилотной барабанной установки

Рациональным режимом термомодифицирования измельченной древесины можно считать режим, обеспечивающий наименьшую продолжительность процесса и его экономичность, при этом должна обеспечиваться одинаковая степень обработки всей партии материала.

ла. В результате проведенных исследований выявлено, что конечная плотность древесных частиц с увеличением температуры обработки в барабане снижается, результаты исследования представлены на рис. 3. Однако коридор отклонения плотностей различных частиц от среднего значения с увеличением температуры обработки значительно возрастает, что может вызвать различное поведение древесных частиц внутри композиционного материала, поэтому для дальнейших исследований был принят температурный диапазон обработки 160-220 °С. Кроме того, принятый температурный интервал позволяет снизить пожароопасность данной технологической операции, поскольку не достигнута температура 250 °С, характеризующая возможное начало протекания экзотермической реакции разложения древесины. При этом нижняя граница диапазона в 160 °С характеризуется минимальной температурой, вызывающей начало процесса эндотермического разложения компонентов древесины [11-12].

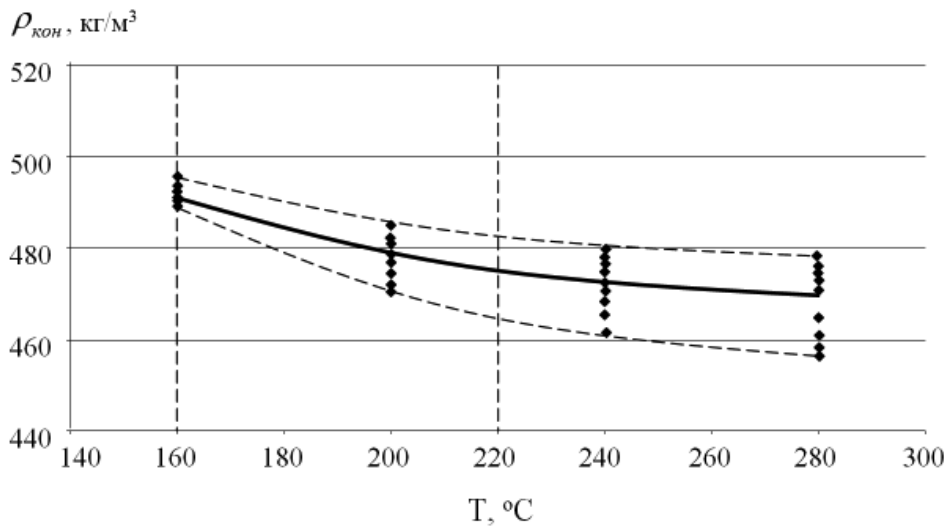


Рис. 3. Конечная плотность древесных частиц

Для определения рациональных параметров барабанного аппарата целесообразно использование математических методов, для чего была разработана математическая модель [13], в которой температурное поле среды внутри барабана задается экспериментальной функцией, а изменение температуры материала рассматривается как среднее значение между температурой частиц древесины, находящихся в полете и в завале.

$$\frac{\partial \bar{T}_m}{\partial l_{бар}} = \frac{m_{м.л.}}{m_m} \left(\frac{\partial T_{м.л.}}{\partial l_{бар}} \right) + \frac{m_{м.з.}}{m_m} \left(\frac{\partial T_{м.з.}}{\partial l_{бар}} \right), \quad (1)$$

При этом изменения температур частиц материала, находящихся в полете и в завале, определяются по уравнениям

$$c_m \cdot \rho_m \cdot W_{мл} \frac{\partial T_{мл}}{\partial l_{бар}} = \alpha (T_{ср} - T_m) F^* - k \cdot \rho_m \cdot q \quad (2)$$

$$c_{нас.м} \cdot \rho_{нас.м} \cdot W_m \frac{\partial T_{мз}}{\partial l_{бар}} = K \cdot \Delta t_{бар} \cdot \frac{F_{конт.бар}}{V_m} - k \cdot \rho_m \cdot q \quad (3)$$

Тогда, изменение средней плотности частиц по длине барабана может быть определено из выражения

$$W_m \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial l_{бар}} = k \cdot \bar{\rho}_m \quad (4)$$

Для нахождения количества частиц, находящихся в полете, предварительно была определена средняя высота их падения

$$\bar{h} = \frac{S \cdot \alpha'}{b} = \frac{R}{2} \left[\frac{\pi \cdot \arcsin(-\cos \alpha')}{2(1 - \cos \alpha')} - \frac{\cos \alpha'}{\sqrt{1 - \cos \alpha'}} \right], \quad (5)$$

тогда время падения частиц может быть найдено из выражения

$$\tau_{пад} = \sqrt{\frac{2\bar{h}}{g}}, \quad (6)$$

Время нахождения частиц в ковше и в завале определяется угловой скоростью вращения барабана

$$\tau_{зав} = \frac{2\alpha'}{\omega} \quad (7)$$

Отсюда, соотношение частиц, находящихся в полете и в завале, определяется как отношение времени их падения или покоя ко времени одного их полного оборота

$$\frac{m_{м.л.}}{m_m} = \frac{\tau_{пад}}{\tau_{пад} + \tau_{зав}}, \quad (10)$$

$$\frac{m_{м.з.}}{m_m} = \frac{\tau_{зав}}{\tau_{пад} + \tau_{зав}} \quad (11)$$

Средняя скорость частиц по направлению основного движения может быть определена из уравнения

$$\bar{W} = \frac{\tau_{пад}^2}{\tau_{пад} + \tau_{зав}} \cdot \frac{a_l}{2}, \quad (12)$$

где ускорение частиц по направлению основного движения имеет вид

$$a_l = a_{рез} \cdot \cos \gamma = \left[\frac{\mu \cdot \rho_{сп} \cdot f' \cdot W_{сп}^2}{m_q} + g \right] \times \left[\frac{\mu \cdot \rho_{сп} \cdot f' \cdot W_{сп}^2}{\mu \cdot \rho_{сп} \cdot f' \cdot W_{сп}^2 + m_q \cdot g} \right] \quad (13)$$

Для проверки адекватности разработанной модели реальному процессу проведено сопоставление экспериментальных исследований, полученных на представленной выше установке и теоретических результатов математического моделирования по определению времени термомодифицирования и относительной плотности древесных частиц в зависимости от температуры обработки (рис. 4). Из графиков видно, что математическая модель адекватно отражает основные закономерности процесса: с повышением температуры обработки уменьшается продолжительность; также наблюдается влияние размера частиц измельченной древесины на продолжительность процесса – древесные частицы с большим приведенным размером требуют более продолжительной обработки.

Таким образом, было установлено, что представленная система уравнений позволяет описать процесс термомодифицирования древесного наполнителя в барабанной установке и поэтому может быть использована для выявления рациональных режимных параметров исследуемого процесса и характеристик оборудования [14-17].

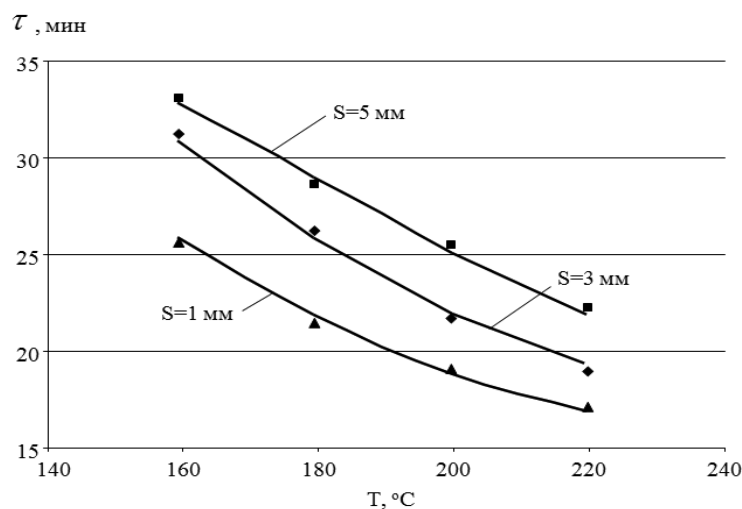


Рис. 4. Время обработки в зависимости от температуры среды

Результаты и обсуждения

Результаты математического моделирования по изменению относительной плотности измельченной древесины в зависимости от параметров оборудования позволили установить взаимосвязь между основными конструктивными характеристиками оборудования: с увеличением диаметра барабана в 3 раза, его длина уменьшается почти в 7 раз, что объясняется увеличением относительного времени нахождения частиц в полете, тем самым, обеспечивая наилучшее взаимодействие частиц с движущимся газообразным теплоносителем [18-21]. Анализ взаимосвязи между скоростью вращения и длиной барабана показывает, что с увеличением скорости вращения в 2 раза, длина уменьшается почти в 3 раза. Однако при этом наблюдается не только существенное измельче-

ние древесного сырья, но и увеличение энергетических затрат на вращение барабана. Анализ различных форм лопаток, прикрепленных к стенкам вращающегося барабана, характеризует, что лопатки, выполненные в форме «Г» хорошо подходят для проведения термического модифицирования древесного наполнителя, поскольку просты в изготовлении и обеспечивают большую площадь осыпания частиц по сечению барабана.

На рис. 5 и 6 показаны результаты математического моделирования, характеризующие взаимосвязь между средней скоростью древесных частиц по длине аппарата, скоростью теплоносителя и длиной барабана. Из полученных зависимостей установлена рациональная скорость движения теплоносителя 0,75-2,6 м/с, обеспечивающая длину барабана не более 8-10 м.

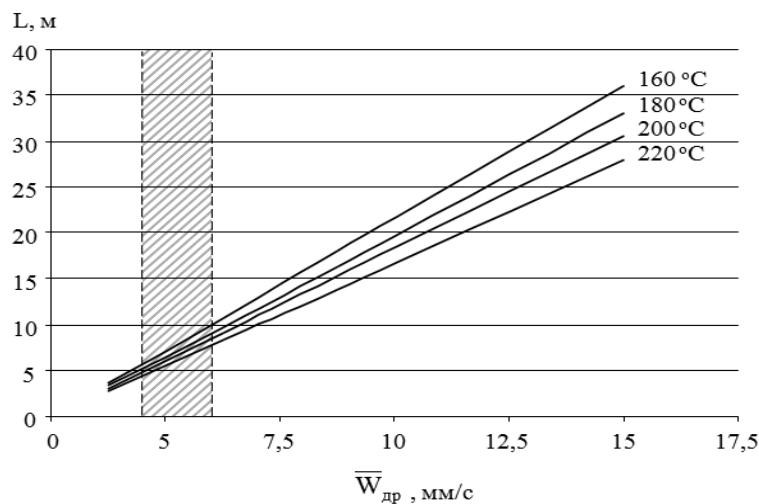


Рис. 5. Требуемая длина барабана в зависимости от средней скорости движения древесных частиц по длине барабана

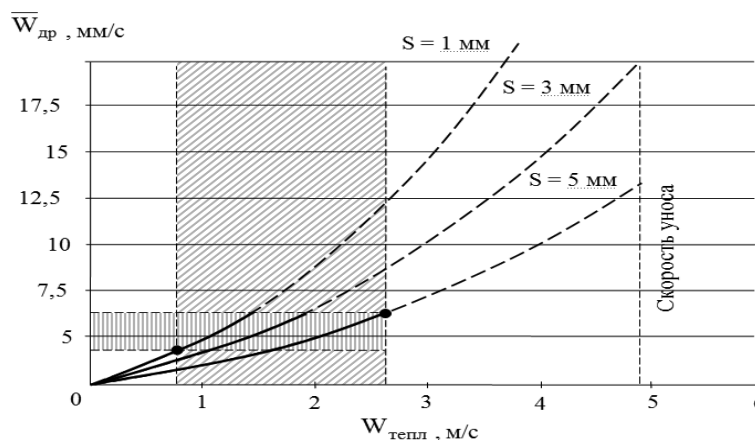


Рис. 6. Зависимость средней скорости древесных частиц от скорости теплоносителя

Заключение

Таким образом, на основе разработанного математического описания и проведенных экспериментальных исследований установлена возможность проведения процесса термомодифицирования измельченной древесины в условиях барабанных аппаратов, определены взаимосвязи между основными конструкционными параметрами промышленного оборудования и предложены рациональные режимные параметры технологического процесса.

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

Литература

1. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Оладышкина Н.А. // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2010. № 4. С. 95-98.
2. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Герасимов М.К., Ахметова Д.А. // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 3. С. 9.
3. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Шайхутдинова А.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 6. С. 93-99.
4. Хасаншин Р.Р., Лашков В.А., Сафин Р.Р., Валиев Ф.Г. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 20. С. 150-154.
5. Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Р., Валиев Ф.Г., Данилова Р.В. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 7. С. 64-66.
6. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Данилова Р.В., Хазиева Д.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 24. С. 56-58.
7. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009
8. Белякова Е.А., Сафин Р.Р., Бодылевская Т.А. // Деревообрабатывающая промышленность. 2013. № 1. С. 30-34.
9. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.
10. 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.
11. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.
12. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.
13. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-106.
14. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.
15. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.
16. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.
17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-106.
18. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.
19. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.
20. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Д.А. Дизайн и производство мебели. 2008. № 2. С. 36-39.
21. 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

УДК 661.728

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН ЛИОЦЕЛЛА

Талипова Г.А., Волынский В.Ю.

В статье рассмотрена технология получения искусственного волокна лиоцелл путем растворения древесной целлюлозы в растворителе N-метилморфолин-N-оксиде. Приведены сравнительные физико-механические свойства волокон.

Ключевые слова: лиоцелл, N-метилморфолин-N-оксид.

The article describes technology for producing Lyocell rayon fiber, wood pulp by dissolution in the solvent N-methylmorpholine-N-oxide. Comparative physical and mechanical properties of the fibers.

Keywords: lyocell, N-methylmorpholine-N-oxide.

Введение

Целлюлоза является одним из важнейших природных полимеров, имеющих практически неограниченную сырьевую базу. Основным промышленным процессом переработки древесной целлюлозы в волокна является вискозное производство – экологически грязная технология, основанная на применении сероуглерода. Вследствие чего проблема защиты окружающей среды встает достаточно остро.

Ужесточившиеся с начала 1970-х годов санитарно-гигиенические требования к целлюлозным производствам инициировали исследования по поиску экологически чистого растворителя целлюлозы [1]. Найти решение проблемы удалось в 90-х годах прошлого века. Альтернативой вискозному производству стал технологический процесс прямого растворения древесной целлюлозы в сильнополярном органическом растворителе донорного типа N-метилморфолин-N-оксиде.

Анализ существующих методов получения волокон лиоцелл

Экологическая чистота процесса обусловлена тем, что этот растворитель практически полностью регенерируется и не образует никаких продуктов распада. По решению BISFA (Международный комитет синтетических волокон) эти волокна получили общее название «лиоцелл» (Lyocell) [2]. Процесс их производства экономичен, так как включает гораздо меньше стадий, чем вискозный процесс. Общими для выработки волокон лиоцелла и вискозы остались только исходное сырье и химический состав получаемых волокон. Новый технологический процесс растворения целлюлозы получил несколько наименований: ММО-процесс, альтернативный процесс, процесс растворного формирования, лиоцельный процесс [3].

Растворение целлюлозы в N-метилморфолин-N-оксиде осуществляется в результате только сольватационных процессов физической природы. Остальные стадии процесса – формование, коагуляция и сушка – также имеют физическую природу.

Для физико-химического описания ММО-процесса широко используется представленная на рис. 1 фазовая диаграмма трехкомпонентной системы целлюлоза – ММО-Н₂O, позволяющая проследить изменение фазового состава этой системы в процессе растворения целлюлозы [4].



Рис.1. Фазовая диаграмма системы целлюлоза-N-метилморфрин-N-оксид-Н₂O

Первая стадия процесса – набухание целлюлозы в водном растворе ММО протекает в два этапа. На первом этапе (С) осуществляется обработка целлюлозы водным раствором ММО до образования однородной пульпы, содержащей, например 35% Н₂O, 9% целлюлозы и 56% ММО.

Второй этап (В) – это удаление избытка воды из системы и образование однородной суспензии состава 20% Н₂O, 13% целлюлозы и 67% ММО. При дальнейшем удалении избытка воды из суспензии до концентрационной области (А) система переходит в раствор, например, сле-

дующего состава: 14% целлюлозы, 10% H₂O и 76% ММО [5].

В результате исследований, проводимых во ВНИИПВ с начала 1980-х годов [6-7], найдено новое решение проблемы прямого растворения целлюлозы в ММО, полностью исключающее из процесса стадию энергоемкой и весьма сложной для промышленной реализации жидкостной гомогенизации системы целлюлоза-ММО с последующим строго контролируемым удалением избытка воды. В основе этой технологии лежит принципиально новый для процессов переработки целлюлозы принцип твердофазного взаимодействия целлюлозы с кристаллическим растворителем - N-метилморфолин-N-оксидом, который реализуется при одновременном воздействии на систему сдвиговых напряжений и давления [8]. В условиях всестороннего сжатия, сдвига и вынужденного пластического течения происходит механофизическая активация целлюлозы кристаллическим ММО и образуются твердые высококонцентрированные растворы, которые затем перерабатываются непрерывным экструзионным способом и формируются так же, как и во всех процессах-аналогах, сухо-мокрым способом в водную осадительную ванну.

Схематическое изображение пути протекания традиционного и твердофазного ММО-процессов представлено на рис. 2.

Независимо от типа ММО-процесса получаемое целлюлозное волокно лиоцелл характеризуется высокими значениями прочности и модуля упругости, превышающими прочностные показатели всех известных целлюлозных волокон, в том числе хлопка и даже полиэфирных волокон (табл. 1, рис. 3). Подобно хлопку оно сохраняет высокие значения физико-механических характеристик и во влажном состоянии.

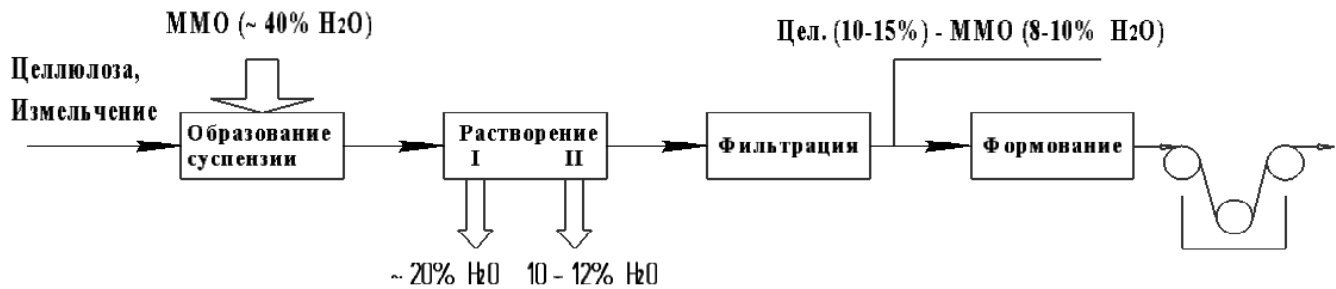
Отличительной особенностью ММО-процесса является то, что в нем может использоваться целлюлоза различной природы. При растворении целлюлозы в N-метилморфолин-N-оксиде меняется характер молекулярно-массового распределения (ММР) [9]. В отличие от вискозного процесса, приводящего к большому расширению ММР исходной целлюлозы, растворение целлюлозы в N-метилморфолин-N-оксиде дает обратный эффект - значительное

сужение кривой ММР. В растворе возрастает доля макромолекул целлюлозы с одной длиной цепей. При этом снижение степени полимеризации целлюлозы в результате деструкции, как правило, не превышает 10-15%.

Твердофазный ММО-процесс позволяет получать сверхвысококонцентрированные растворы, содержащие до 50% целлюлозы с большой степенью гомогенности. Его особенностью является то, что после измельчения целлюлозы образуется не суспензия, а «твердый» раствор, который в дальнейшем подвергается плавлению и формованию. Это дало возможность Н.В. Блейшмидт, В.Е. Древалю и др. впервые провести комплексное исследование вязких, упругих и релаксационных характеристик целлюлозных растворов в ММО в широком интервале содержания целлюлозы (от 3 до 27% масс.), температур, напряжений сдвига и частот деформирования [10]. Комплекс полученных данных свидетельствует о том, что вязкостное поведение растворов целлюлозы в ММО при концентрациях ниже 18% подобно вязкостному поведению растворов гибкоцепных полимеров. Вместе с тем, по мере увеличения концентрации целлюлозы в растворе резко увеличиваются энергия активации вязкого течения, время релаксации, расширяется спектр времен релаксации, возрастают вязкоупругие и высокоэластические свойства растворов, что свидетельствует об изменении структурного состояния высококонцентрированных растворов.

Процесс сухо-мокрого формования включает две основные стадии: вытяжку в направлении оси волокна в воздушном зазоре и массообменные процессы в осадительной ванне, ведущие к десольватации и кристаллизации целлюлозы. В технологических операциях формования волокон эти две стадии не всегда осуществляются в указанной последовательности. Так, по рассмотренному варианту формования – первоначальная ориентация, а затем коагуляция - реализуются процессы получения аридных волокон и волокон лиоцелл. По варианту первоначальной десольватации и последующей ориентации осуществляется мокрое формование при получении полиакрилонитрильных волокон и др. В случае вискозной технологии сочетаются одновременно и коагуляционные, и ориентационные процессы.

ММО-процесс



Твердофазный ММО-процесс

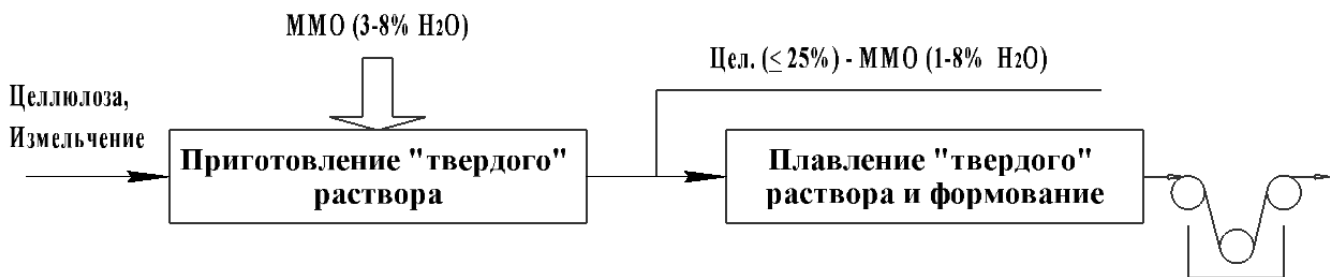


Рис. 2. Схематическое изображение традиционного и твердофазного ММО-процессов

Таблица 1 – Сравнительные физико-механические свойства волокон типа лиоцелл и хлопка

Свойства	Тенцел	Лиоцелл	Ньюцелл	Орцел	Альцеру	Хлопок
Линейная плотность филамента, дтекс	1,5	1,63	1,1-2,2	1,8-3,1	1,5	1,0-2,2
Прочность волокна, сН/текс В кондиционном состоянии Во влажном состоянии	33-42	33-42	34-40	35-45	40-45	22-25,9
	30-38	34-38	22-27	33-42	35-38	31,6
Удлинение волокна, % В кондиционном состоянии Во влажном состоянии	14-16	14-16	6-12	12-14	11	7-9
	16-18	16-18	8-14	14-18	12-15	12-14
Модуль упругости в мокром состоянии, сН/текс	260	270		240-440	289	50
Влагопоглощение	65		60-70	60-70	90	
Усадка, %			1-2	1-2	2	

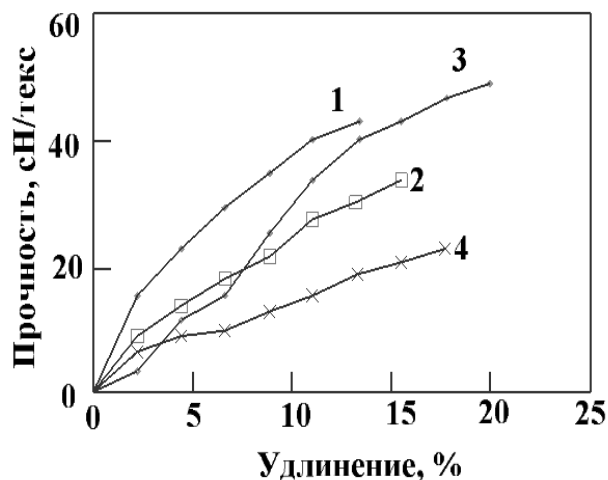


Рис. 3. Сравнительные физико-механические свойства волокон: 1 – лиоцелл, 2 – модалное волокно, 3 – полиэфирное волокно, 4 – вискоза

Таким образом, при выходе из канала фильеры формирующееся волокно испытывает воздействие продольных напряжений (вытяжки) и температурного градиента в воздушном зазоре. Быстрое понижение температуры в воздушном зазоре увеличивает время релаксации формирующейся нити, вследствие чего происходит как бы фиксация ее ориентации. Результатом этого, согласно данным метода двойного лучепреломления и рентгеноструктурного анализа, является реализация в нити высокого уровня ориентации уже при очень небольшом натяжении (кратность вытяжки < 2).

Свойства волокна лиоцелл

По внешнему виду лиоцелл очень похож на шелк, а его гигиенические свойства близки к натуральному хлопку и даже превосходят его по эластичности и гигроскопичности. В отличие от вискозных волокон, лиоцелл имеет круглое однородное сечение [12-17].

Это гипоаллергенная, мягкая и экологически чистая ткань с «дышащими» свойствами, которая имеет естественный антистатический эффект и не притягивает пыль.

Прочность и упругость волокон лиоцелла как в сухом, так и в мокром состоянии выше, чем вискозных, а усадка при стирке меньше. Такие разительные отличия в свойствах во многом обусловлены тем, что технология производства лиоцелла не приводит к значительному уменьшению длины макромолекул целлюлозы. При растворении целлюлозы в NMMO степень полимеризации (число элементарных звеньев в макромолекуле) снижается всего на 10-15%, тогда как вискозу подвергают специальной обработке, чтобы снизить степень полимеризации

с 1000-1200 единиц в исходном сырье до 350-550 в готовом продукте. Волокно лиоцелл отличается более высоким содержанием кристаллических зон. Степень кристалличности лиоцелла составляет 50-60% против 40% у вискозы, кристаллиты имеют вытянутую форму и четкую ориентацию вдоль оси волокна, а сами волокна однородны в поперечном срезе [18-21].

Недостаток многих химических и искусственных волокон, включая лиоцелл, – повышенная склонность к фибриллизации, то есть к появлению на поверхности волокна многочисленных ворсинок, подобных заусеницам. Из-за фибриллизации на поверхности изделий из химических волокон в процессе носки образуются многочисленные закатанные шарики (пиллинг-эффект).

Поэтому чистая пряжа из этого материала встречается редко, а наиболее распространенный состав лиоцелловой ткани – это смесь эвкалиптового волокна с эластаном, а также модалом и натуральными волокнами.

Области применения волокна лиоцелл

Из ткани лиоцелл шьют самые различные изделия: повседневную взрослую и детскую одежду, постельные принадлежности, нижнее белье. Кроме этого, она находит применение в медицине, при производстве лент конвейеров, а также и в других сферах нашей жизни.

Из-за дороговизны производства лиоцелливые волокна в чистом виде не встречаются. Они обычно входят в состав вещей из натуральных (хлопка, льна, шелка), искусственных (вискозы) и синтетических (полиэстера) материалов.

В России распространены две главных торговых марки текстильного волокна лиоцелл: тенсель, который производится в США компанией Lenzing, и орцел – российского производства ВНИИПВ в г. Мытищи.

Заключение

Были проведены исследования в области получения целлюлозных волокон лиоцелл, изучены существующие методы их получения. Также приведены основные физико-механические свойства волокон и рассмотрены области их применения.

Литература

1. Голова Л.К. // Новое целлюлозное волокно лиоцелл, Российский химический журнал, 2002. №1. - с. 49-57.

2. Author collective. 92nd meeting of the BISFA subcommittee «Terminology», appendix 2, annex 2. Paris, 1989.
3. Голова Л.К., Бородина О.Е., Кузнецова Л.К., и др. // Химические волокна, 2000, № 4, с. 14-20.
4. Куличихин В.Г., Белоусов Ю.Я. и др. // Тез. докл. Всес. семинара «Структура и реакционная способность целлюлозы и ее производных», Минск, 1982, с. 27.29.
5. Голова Л.К., Куличихин В.Г., Папков С.П. // Высокомол. соед. Сер. А, 1986, т. 27, № 9, с. 1795.1809.
6. Иовлева М.М., Гойхман А.Ш. и др. // Высокомол. соед. Сер. Б, 1983, т. 25, № 11, с. 803.
7. Физико-химические основы получения гидратцеллюлозных волокон нетрадиционными способами. Под ред. С.П. Папкина, И.П. Бакшеева. Мытищи, 1989, с. 166.
8. Голова Л.К. // Химические волокна, 1996, № 1, с. 13-23.
9. Блейшмидт Н.В., Древаль В.Е., Бородина О.Е., Голова Л.К., Куличихин В.Г. // Высокомолекулярные соединения, 1997, т. 39А, № 9, с. 1511-1518.
10. Weigel P., Gensrich J., Fink H. Structure formation of cellulose fibres from amine oxide solvents., Akzo-Nobel Viscose Chemistry Seminar, Stockholm, 1994, May 30-June 3.
11. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Ахметова Д.А. // Дизайн и производство мебели. 2008. № 2. С. 36-39.
12. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Данилова Р.В., Кайнов П.А., Оладьшкина Н.А., Белякова Е.А. // патент на изобретение RUS 2453425 18.01.2011
13. Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2005. № 2. С. 168-173.
14. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 23. С. 76-78.
15. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладьшкина 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
16. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 1. С. 24-25.
17. Сафин Р.Р., Валеев И.А., Сафин Р.Г. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2005. № 2. С. 168-173.
18. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 23. С. 76-78.
19. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладьшкина 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
20. Белякова Е.А., Сафин Р.Р., Бодылевская Т.А. Деревообрабатывающая промышленность. 2013. № 1. С. 30-34.
21. Разумов Е.Ю., Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Аминов Л.И. Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 1. С. 24-25.

УДК 547.992.3

ДРЕВЕСНО-КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЛИГНИНА

Ибрагимова А.И., Байгильдеева Е.И.

В статье рассматриваются общие понятия о древесно-композиционных материалах, описываются их основные виды и способы производства, а также представлена краткая характеристика свойств лигнина, и приведены основные способы его применения при производстве древесно-композиционных материалов.

Ключевые слова: древесно-композиционные материалы, лигнин, синтетическое связующее.

In article general concepts about wood and composite materials are considered, their main types and methods of production are described, and also the short characteristic of properties of a lignin is submitted, and the main ways of its application by production of wood composites are given.

Keywords: Wood composites, lignin, synthetic binding.

Введение

Композиционными называют материалы, состоящие из двух или более взаимно нерастворимых компонентов, имеющих между собой заметную границу раздела и адгезионное взаимодействие. Одну из фаз принято называть матрицей, а другую – армирующим элементом, или наполнителем.

Древесные композиционные материалы состоят из древесины или ее частиц и одного или нескольких компонентов (полимеров, минералов и др.), между которыми имеется граница раздела и адгезионное взаимодействие.

Согласно этому определению к древесным композиционным материалам относят матрицы, наполненные древесиной в различных ее видах. В этом случае связующее выполняет роль матрицы, в которую заключен механический каркас из древесного материала. Такое наполнение придает древесному композиционному материалу особые механические свойства. Представителями древесных композиционных материалов являются модифицированная полимерами древесина и изделия из древесно-клеевых композиций. Матрицей в них служит синтетическое связующее, наполнителем – древесина в виде массива или отдельных (дискретных) ее частиц.

Анализ современного состояния в области производства древесных композиционных материалов

Древесностружечные плиты, ДСтП – это листовый материал, получаемый горячим прессованием древесной стружки, смешанной с синтетической смолой [1-3]. Его широкому применению, прежде всего в производстве мебели и

строительстве, способствуют следующие преимущества:

- сравнительно невысокая стоимость;
- хорошая формостабильность;
- возможность регулировать некоторые физико-механические показатели ДСтП;
- однородность свойств в различных направлениях по плоскости плиты;
- богатая сырьевая база, в том числе в виде вторичного сырья лесной и деревообрабатывающей промышленности;
- возможность полной автоматизации производства ДСтП.

По способу изготовления ДСтП различают плиты плоского прессования и экструзионные плиты (рис. 1). При плоском прессовании получают ДСтП, частицы в которых ориентированы параллельно пласти изготавливаемого материала. В экструзионных прессах усилие прессования направлено перпендикулярно плоскости выпускаемой плиты, и основная масса древесных частиц внутри плиты располагается перпендикулярно к этой плоскости.

OSB плиты изготавливаются из крупноразмерной узкой и длинной стружки – своего рода прядей, которые при формировании ковра располагаются в одном направлении. Ориентация частиц в одном направлении придает плитам достоинство натуральной древесины – её высокую прочность при изгибе в направлении вдоль волокон. Плотность OSB плит составляет, как правило, 610–670 кг/м³. В строительстве используют нешлифованные плиты. Шлифование необходимо только в тех случаях, когда требуется соблюдать жесткий допуск на размер по толщине.

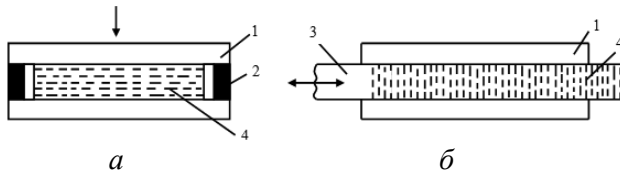


Рис. 1. Схемы получения ДСтП: а – методом плоского прессования, б – методом экструзии (1 – плиты пресса, 2 – ограничитель толщины, 3 – пуансон, 4 – стружечная плита)

Цементно-стружечные плиты (ЦСП) – наиболее распространённый вид плит на минеральном связующем – изготавливаются из цемента и древесной стружки, в смесь которых вводится небольшое количество химической добавки для минерализации древесной стружки. Минерализованная древесная стружка – это, по сути, органический материал, трансформированный в состояние, при котором он приобретает устойчивость к биологическим воздействиям, эрозии и гниению. Этим и объясняются эксплуатационные достоинства ЦСП: их хорошая сопротивляемость влаге и гнили, грызунам, насекомым и грибкам, огню и химикатам и т.п.

Основное преимущество ЦСП – высокая водо- и атмосферостойкость, огнестойкость и экологическая безвредность. Детали из ЦСП ни в коем случае не должны подвергаться изгибу, зато они могут выдерживать большие нагрузки на сжатие перпендикулярно пласти плиты.

Древесноволокнистые плиты, ДВП – листовый материал, изготавливаемый методом горячего прессования или сушки массы из древесного волокна, сформированной в виде ковра.

Исходя из особенностей производства различают:

- плиты прессованные, получаемые путём сдавливания волокнистого ковра в горячем прессе, и плиты непрессованные, когда волокнистый ковёр преобразуется в плиту только за счёт нагрева, без приложения давления;
- плиты, изготовленные мокрым способом, при котором для транспортировки волокна и формирования ковра используют воду, и плиты, изготовленные сухим способом, при котором для тех же целей используют воздух.

При прессовании мокрым способом получают плиты односторонней гладкости – у которых поверхность, выходящая из-под пресса, будет гладкая, а обратная сторона будет иметь следы сетки, на которой происходит прессование [4-7].

При прессовании сухим способом получают плиты двухсторонней гладкости, поскольку

они формируются между двумя металлическими листами.

Древесноволокнистые плиты средней плотности, MDF – твердые древесные материалы, получаемые сухим способом. Плотность у них 700-800 кг/м³, а прочность при изгибе 30-35 МПа, то есть примерно вдвое больше, чем у традиционно используемых в мебельной промышленности древесностружечных плит. Структура MDF более плотная и отличается равномерностью по всей толщине плиты. Наибольшим спросом пользуются плиты толщиной 10–30 мм – как конструкционный материал для мебели.

Древесно-полимерные композиционные материалы – полимерные многокомпонентные материалы, состоящие из древесных наполнителей, соединенных полимерной матрицей, включающие, при необходимости, другие химические добавки. В качестве термопластичных добавок используются полиэтилен, полипропилен, сополимеры этилена с пропиленом или с винилацетатом и прочие полимеры. Древесным наполнителем могут служить древесная мука, опилки, молотая кора, растительные сельскохозяйственные отходы, стружка хвойных и лиственных пород.

Получаемый термопластичный материал обладает следующими особенностями: он хорошо поддается механической обработке; имеется возможность эксплуатации изделий на открытом воздухе при любых погодных условиях, не трескается и не коробится на морозе; является экологически чистым материалом. Изделия из ДПК обладают свойствами сравнимыми, а порой превосходящими прочностные характеристики дерева [8-9].

Поиск путей получения экологически чистых композиционных материалов из измельченной древесины без использования синтетических связующих давно привлекает исследователей во многих странах мира. Использование в качестве наполнителей композитных материалов отходов химической переработки древесины являлось одним из решений данной проблемы. Среди них особый интерес вызывают лигнинсодержащие соединения. Они называются техническими лигнинами и составляют основную массу отходов [10-12].

Лигнин как связующее для древесной композиции

Лигнин представляет собой природный полимер, содержащийся в клеточных стенках и

межклеточном пространстве растений. Он заполняет пространство между волокнами целлюлозы, гемицеллюлозы и пектина, выполняя функцию клея и придавая растениям структурную целостность.

Вместе с гемицеллюлозой он определяет механическую прочность стволов и стеблей. Кроме того, лигнин обладает мембранными свойствами, снижает проницаемость клеточных стенок для воды и питательных веществ. На сегодняшний день, лигнин является самым распространенным веществом в природе, состоящим из ароматических фрагментов. По своей распространенности на земном шаре он занимает второе место среди органических веществ после целлюлозы.

Рассматривая химическую структуру лигнина, стоит отметить, что лигнин имеет чрезвычайно сложную структуру (что затрудняет расшифровку его строения), а также неоднородность по мономерному составу и типам межмономерных связей. В целом, принято считать, что полимер лигнина состоит из фенилпропановых структурных единиц – мономерных составляющих звеньев [13-15].

Содержание лигнина в древесных породах может изменяться в зависимости от их типа. В древесине хвойных пород массовая доля лигнина составляет в среднем 24-33 %, а в древесине лиственных пород – 18-28%. Содержание лигнина определяется не только породой, но также и климатической зоной произрастания, характером почвы, возрастом дерева.

Лигнин расположен в клеточных стенках и межклеточном пространстве растений. Вместе с гемицеллюлозами он определяет механическую прочность стволов и стеблей. Кроме того, лигнин снижает проницаемость клеточных стенок для воды и питательных веществ.

Различают природный лигнин (протолигнин), содержащийся внутри растения в его естественной форме, и технические его формы, полученные извлечением из растительной ткани при помощи различных физико-химических методов. Природный лигнин в древесине неоднороден. Основная его масса имеет трехмерную сетчатую структуру и вследствие этого не растворяется в растворителях.

Щелочные лигнины, получаемые при сульфатной и натронной варках, можно выделить из отработанных варочных растворов, обрабатывая их углекислотой или другими более сильными кислотами. Однако основная масса щелочных

лигнинов на производстве не выделяется, а идет на сжигание при регенерации химикатов.

К техническим щелочным лигнинам следует также отнести талловый лигнин и шлам - лигнин. Талловый лигнин образуется как отход производства таллового масла из сульфатного мыла. Шлам - лигнин выделяется при очистке сточных вод сульфатцеллюлозного производства.

Гидролизный лигнин получают в качестве остатка от гидролиза растительного сырья. Поэтому он неоднороден по размеру частиц и химическому составу.

Лигнин как составная часть древесины представляет наиболее трудно утилизируемые отходы, которые образуются при его химической переработке на целлюлозно-бумажных и гидролизных предприятиях. Лигнин обеспечивает повышенную твердость и жесткость древесины. Он является коллоидным веществом и при определенных условиях приобретает функции связующего вещества. Основное направление применения технических лигнинов – использование их для производства широкого спектра продуктов, таких как ванилин и другие ароматические альдегиды, фенолы и спирты, активированные угли, композитные полимеры и др.

Большой интерес представляет модификация фенолформальдегидных смол лигнинсодержащими веществами, что позволило бы заменить фенол, ценное химическое сырье, и уменьшить загрязнение окружающей среды [16-18]. Также стоит отметить, что был разработан способ синтеза низкотоксичной феноллигнинформальдегидной смолы, который дает возможность заменить 30–40 % фенола на талловый лигнин. Полученные смолы по физико-химическим показателям не уступают, а по некоторым превосходят фенолформальдегидные смолы, используемые в производстве древесных пластиков.

Лигнин может быть использован в производстве различных композиционных материалов. Показана возможность получения композиционного материала из отходов гидролизного лигнина и полиэтилена в качестве термопластичного связующего. Для получения лигнопластика с высокой прочностью и низким водопоглощением необходимо применять мелкодисперсный лигнин при содержании полиэтилена в исходной смеси 20-40 %. Полученные материалы могут использоваться в производст-

ве строительных изделий, облицовочных и теплоизоляционных материалов [19].

Установлено, что уксусно-кислотный лигнин может служить в качестве связующего компонента для производства древесных плитных прессованных материалов. Оптимальное количество лигнина в древесной пресс-композиции должно составлять около 40-50 % мас., температура прессования 160-165°C, давление прессования 10-13 МПа [20].

Показано, что модифицирование уксусно-кислотных лигнинов и древесного наполнителя водным раствором серной кислоты с последующим горячим прессованием приводит к повышению водостойкости древесных композитов в 2,5-3 раза.

Композиты на основе лигнина

Эти материалы изготавливаются из древесных опилок или другого растительного сырья без ввода специальных синтетических связующих за счет разложения компонентов древесины.

Технологический процесс производства лигноуглеводных древесных пластиков (ЛУДП) состоит из следующих операций: подготовки, сушки и дозирования древесных частиц; формирования ковра, холодной его подпрессовки, горячего прессования и охлаждения без снятия давления. При подготовке пресс-массы древесные частицы сортируют, затем фракция крупностью более 0,5 мм дополнительно измельчается, кондиционные опилки поступают в сушилку, а затем в расстилочную машину. Ковер формируется на поддонах, покрытых слоем талька или антиадгезионной жидкости. Сначала готовый ковер подается в пресс для холодной подпрессовки, которая длится в течение 1,5 мин при давлении 1-1,5 МПа, после чего направляется на горячее прессование при давлении 1,5-5 МПа и температуре 160-180°C. Прессование плит толщиной 10 мм продолжается 40 мин.

Под воздействием температуры происходит частичный гидролиз полисахаридов древесины и образование органических кислот, которые являются катализаторами, способствующими деструкции лигноуглеводного комплекса. Наибольшие изменения претерпевают легкогидролизуемые углеводы и низкомолекулярные фракции лигнина, которые выполняют роль связующего вещества, в то время как целлюлоза является армирующим, упрочняющим материал наполнителем, а роль пластификаторов выполняют низкомолекулярные компонен-

ты древесины. В результате образуется более плотный и прочный материал, чем древесина.

Основным преимуществом лигноуглеводных пластиков по сравнению с древесностружечными плитами является то, что для их изготовления имеется неограниченное количество сырья. Это древесные частицы любых наиболее распространенных как хвойных (сосна, лиственница, ель, кедр, пихта), так и лиственных пород (береза, осина и др.), а также их смеси.

Производство ЛУДП может быть налажено в любом районе нашей страны, где функционируют лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия.

Кроме того, эти пластики не подвержены старению из-за деструкции органического вяжущего и их прочностные показатели не снижаются со временем; при эксплуатации нет токсичных выделений в окружающую среду.

Существенными недостатками производства лигноуглеводных пластиков являются необходимость мощного прессового оборудования и длительность цикла прессования.

Отмечено что под влиянием давления и температуры измельченное растительное сырье приобретает способность образовывать прочный и твердый материал темного цвета, который можно формовать. Этот материал получил название пьезотермопластик.

При средней плотности 700-1100 кг/м³ пьезотермические пластики, изготовленные из березовых опилок, имеют предел прочности при статическом изгибе 8-11 МПа.

Исходным сырьем, наряду с опилками, могут служить измельченная древесина хвойных и лиственных пород, льняная костра, камыш, гидролизный лигнин, одубина.

Высокие физико-механические свойства пьезотермопластиков позволяют применять их для изготовления полов, дверей, а также в качестве отделочного материала.

Разработан метод производства фанеры, где в качестве связующего вещества выступает фенолформальдегидная смола с частичным содержанием крафт-лигнина.

Крафт-лигнин считается экологически чистой альтернативой фенолу, он осаждается из черного щелока, извлеченного из крафт-варки целлюлозы из древесины хвойных пород. Фенолформальдегидную смолу с содержанием крафт-лигнина получают в одну стадию приготовления с различными добавками лигнин. Замена 50% фенола крафт-лигнином осуществля-

лась в соответствии с условиями, считавшимися оптимальными по отношению к вязкости смолы, стабильности при хранении, а также к способности связывания.

Смола состоит из объединенных частей крафт-лигнина и фенола. Для данной смолы время горячего прессования в производстве фанеры было увеличено приблизительно на 30% при 150°C по сравнению с условиями, которые обычно используются для обычных фенолформальдегидных смол,

В результате механические свойства испытуемых образцов, изготовленных из фенолформальдегидных смол с содержанием крафт-лигнина были такими же или даже лучше, чем у образцов, изготовленных только из фенолформальдегидной смолы.

Заключение

В ходе работы были проведены исследования в области производства древесно-композиционных материалов, изучены их основные виды и способы получения. Кроме того были рассмотрены структура и основные свойства природного полимера – лигнина, и возможности его применения в качестве составляющего компонента при производстве древесных композитов.

Лигнин является ценным сырьем для химической и биотехнологической промышленности. В последнее время ведутся активные исследования по созданию новых материалов на основе лигнина. Производство новых композиционных материалов на основе лигнинсодержащих веществ является одним из приоритетных направлений в деревообрабатывающей промышленности. Примерами получения таких материалов могут служить лигнелуглеводные и пьезтермопластики, а также производство фанеры на основе связующего с содержанием крафт лигнина. Такие материалы можно считать экологически чистыми продуктами.

Литература

1. Тришин С.П. Технология древесных плит. Учебное пособие. – 3-е изд. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 188 с., илл.
2. Волынский В.Н. Технология стружечных и волокнистых древесных плит. Учебное пособие для вузов. – Таллин: Дезидирата, 2004. 192 с., илл.
3. Мусин И.Н., Файзуллин И.З., С.И. Вольфсон. // Вестник Казанского технологического университета, 2012. – №24(15).
4. Лунин В.В., Карманов А.П., Косяков Д.С., Горбова Н.С., Скребец Т.Э., Попова Н.Р. // Учебное пособие. – Москва: Издательство Академкнига, 2010. - 492 с.
5. Плотникова Г.П., Плотников Н.П., Кузьминых Е.А. // 2013. - № 4 (20). - с. 133-138.
6. Сазанов Ю.Н. Лигнин-полимерные композиции, ИВУЗ. «Лесной журнал». 2014, №5. – 153-172
7. В.В. Симонова, Т.Г. Шендрик, Б.Н. Кузнецов. // Журнал Сибирского Федерального университета. Химия 4 (2010 3) 340-354.
8. Кондращенко В.И., Тарарушкин Е.В., Горшина Е.С., Кесарийский А.Г. Биопластики– Древесные композиционные материалы, получаемые методами биотехнологии, 2012. - №1(93). – 17-24.
9. Низамов Р.К., Галимов Э.Р., Нагуманова Э.И. // 2006. – Известия КГАСУ, №1(5). – 20-22.
10. Danielson B, Simonson R. Kraft lignin in phenol formaldehyde resin. Part 1. Partial replacement of phenol by kraft lignin in phenol formaldehyde adhesives for plywood. Journal of Adhesion Science and Technology, Vol.12, No 9, pp. 923-939 (1998).
11. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 13. С. 134-136.
12. Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 233-239.
13. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. // Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. С. 22-23.
14. Сафин Р.Р., Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 50-52.
15. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. // патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009
16. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 13. С. 134-136.
17. Разумов Е.Ю., Белякова Е.А., Сафин Р.Р. Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 233-239.
18. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Гильмиев Р.Р., Валиев Ф.Г. Деревообрабатывающая промышленность. 2008. № 5. С. 22-23.
19. Сафин Р.Р., Хакимянов И.Ф., Кайнов П.А., Николаев А.Н., Сафина А.В. Вестник Казан-

ского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 50-52.
20. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г.,

Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009

© **Ибрагимов А.И.** – магистрант ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»; **Байгильдеева Е.И.** – к.т.н., доц. кафедры «Переработка древесных материалов», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», bai48@rambler.ru.

УДК 674.04

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Сафин Р.Р., Кайнов П.А.

В статье представлена конструкция барабанной установки периодического действия для термической обработки древесных частиц и результаты проведенных экспериментальных исследований. Выявлен рациональный температурный диапазон, способствующий наиболее эффективному воздействию на теплотворные характеристики древесного сырья. Представлены кривые, характеризующие изменение физико-химических свойств древесных частиц в зависимости от режимных параметров термической обработки. Предложены меры по увеличению производительности процесса путем сокращения времени обработки без существенного снижения качества конечного продукта.

Ключевые слова: древесное топливо, термическая обработка сырья, барабанный аппарат.

The paper presents the design of a drum batch operation for the thermal treatment of wood particles and the results of experimental studies. Identified rational temperature range, contributing the most effective impact on the calorific characteristics of wood raw material. It shows curves characterizing the change in the physicochemical properties of wood particles, depending on the operating parameters of the heat treatment. Measures to increase the process efficiency by reducing the processing time without significantly reducing the quality of the final product.

Keywords: wood fuel, heat treatment of raw materials, drum machine.

Введение

Биомасса, будучи экологически чистым видом топлива с нейтральным уровнем эмиссии углерода, является одним из наиболее приоритетных видов возобновляемых источников энергии, способным заменить углеводороды. Однако, из-за высокой степени дисперсности, низкой энергоёмкости, низкой объёмной плотности и высокого содержания влаги использование и транспортировка биомассы весьма затруднительны и затратны, поэтому многие исследователи уделяют большое внимание повышению эффективности её использования методами предварительной обработки, наиболее перспективным среди которых в настоящее время признается торрефикация - высокотемпературная обработка без доступа кислорода воз-

духа. Она позволяет повысить теплотворную способность твердого топлива при одновременном снижении массы. Однако до сих пор данная технология не получила широкого использования ввиду сложности оборудования и отсутствия четких рациональных режимных параметров.

Согласно Федеральному закону Российской Федерации об электроэнергетике к возобновляемым источникам энергии относятся: энергия солнца, энергия ветра, энергия воды, в том числе энергия сточных вод (за исключением случаев использования такой энергии на гидроаккумулирующих электроэнергетических станциях), энергия приливов, энергия волн водных объектов, в том числе водоемов, рек, морей, океанов; геотермальная энергия с использованием природных подземных теплоносителей, низкопо-

тенциальная тепловая энергия земли, воздуха, воды с использованием специальных теплоносителей; биомасса, включающая в себя специально выращенные для получения энергии растения, в том числе деревья, а также отходы производства и потребления, за исключением отходов, полученных в процессе использования углеводородного сырья и топлива; биогаз, газ, выделяемый отходами производства и потребления; газ, образующийся на угольных разработках.

Согласно планов правительства Российской Федерации к 2020 году должна получать с помощью возобновляемых источников 4,5% от всей требующейся энергии. Однако по сценарию Энергетической революции Гринпис к 2020 году в России мощность электростанций на основе возобновляемых источников теоретически может возрасти до 40 ГВт (сегодня вся установленная электрическая мощность российской электроэнергетики составляет 200 ГВт), из них ветростанции – 20 ГВт, теплоэлектростанции (ТЭС) на основе биомассы – 13 ГВт, остальное – солнечные, геотермальные и малые гидроэлектростанции. Предполагается, что к 2020 году электростанции на основе возобновляемых источников будут производить 13% электроэнергии. Осуществить сценарий Гринпис вполне реально. К примеру, Китай к 2020 году планирует повысить долю возобновляемых источников энергии до 15%, Египет – до 20%, Евросоюз – до 30%.

Таким образом, биомасса, будучи экологически чистым видом топлива с нейтральным уровнем эмиссии углерода, является одним из наиболее приоритетных видов возобновляемых источников энергии, способным заменить углеводороды. Однако, из-за степени дисперсности, низкой энергоёмкости, низкой объёмной плотности и высокого содержания влаги в биомассе, её обработка и транспортировка весьма затратны. Ввиду данных факторов, крупномасштабное использование биомассы для получения энергии является неэффективным и экономически нерациональным. Следовательно, стоит задача улучшить характеристики запасов биомассы при помощи предварительной обработки.

В настоящий момент предварительная обработка биомассы может включать в себя процессы измельчения [1], сушки [2-7], гранулирования [8, 9], пиролиза [10-13] и торрефикации [14-16]. Несмотря на то, что сушка является классической и относительно разработанной технологией, содержание влаги в биомассе по-

сле сушки может достигать 10 %. Сухая биомасса впитывает в себя влагу и начинает разлагаться. Более того, сушка не сильно увеличивает энергоёмкость, объёмную плотность, содержание кислорода и измельчаемость. Являясь процессом пиролиза при средних температурах и нормальном атмосферном давлении, торрефикация способна решить эти проблемы. Sadaka S. and Negi S. показали влияние торрефикации на физические и термохимические характеристики сельскохозяйственной биомассы [17]. Они установили, что термическая обработка при 260 °С в течение 1 часа позволяет снизить равновесную влажность на 70,5%, 49,4% и 48,6% для пшеничной соломы, рисовой соломы и хлопкоочистительных отходов, соответственно; а также увеличить теплотворную способность соответственно на 15,3%, 16,9% и 6,3%. Наибольшее значение теплотворной способности (22,75 МДж/кг) наблюдалось для пшеничной соломы с температурой обработки 315 °С в течении 3-х часов. Кроме того, установлено значительное снижение плотности: в частности, при данных условиях пшеничные соломы показали наибольшую потерю веса (на 54%), что является актуальным при транспортировке твердого топлива. Авторы [18] отмечают улучшение измельчаемости торрефицированной биомассы, что имеет важное значение при дальнейшей обработке.

Благодаря более высокой эффективности процесса по сравнению с гранулированием и пиролизом, торрефикация является потенциальным лидером в плане улучшения рентабельности всего процесса разработки биотоплива [19]. Так, Uslu A и др. установили, что торрефицированные гранулы могут быть доставлены в Европу из Латинской Америки за 74 €/тонна (в пересчете на тепловую энергию это составит 3,3 €/ГДж) и, соответственно, себестоимость произведенного на существующем заводе электричества может составлять не более 4,4 € центов/kW [20].

Большинство исследований процесса торрефикации посвящены влиянию температуры обработки на конечные теплотехнические характеристики продукта и определению возможности дальнейшего использования торрефицированных пеллет в процессах газификации [14, 15, 21]. Однако до сих пор в качестве рациональных режимных параметров указывается достаточно широкий интервал температур 220-300 °С. Кроме того, отсутствуют четкие рекомендации в области продолжительности про-

цесса, что, в конечном счете, усложняет проектирование производства торрефицированных пеллет. Кроме того, имеющиеся в настоящее время установки для торрефикации измельченной древесины обеспечивают проведение процесса в неподвижном или малоподвижном плотном слое сырья, что зачастую приводит к различной степени термической обработки не только различных по размеру древесных частиц, но и слоев сырья расположенных в удалении от греющих частей аппарата. При этом не было найдено результатов исследований применения барабанных аппаратов для термической обработки древесных частиц, в то время как они широко распространены для сушки и других тепломассообменных процессов.

В этой связи, полученные в данной работе результаты исследований по технологическим режимам термической обработки в условиях барабанных аппаратов носят актуальный характер.

Методы и материалы

В экспериментальных исследованиях, представленных в данной работе, сырьем для торрефикации и газификации служила измельченная древесина сосны обыкновенной с приведенными размерами частиц 5 мм, 3 мм и 1 мм.

Для проведения предварительной термической обработки древесных частиц в производстве торрефицированного топлива была разработана и создана лабораторная установка термомодифицирования измельченной древесины барабанного типа.

Схема и внешний вид экспериментальной установки термомодифицирования древесных частиц представлены на рис. 1. Установка включает герметичную камеру барабанного типа 1 с крышкой 2, оснащенную двигателем 3, при помощи которого барабан камеры вращается. Подвод тепловой энергии к обрабатываемому древесным частицам осуществляется непосредственно от стенок камеры, нагреваемых при помощи термоэлектрического нагревателя 4. Температура нагрева регистрируется с помощью термопары 5, установленной внутри барабана камеры, и управляется электронным терморегулятором 6 через щиток управления 7.

Перед началом эксперимента производят предварительную подготовку обрабатываемого материала: для проведения термической обработки измельченной древесины последние должны быть предварительно высушены до комнатно-сухого состояния.

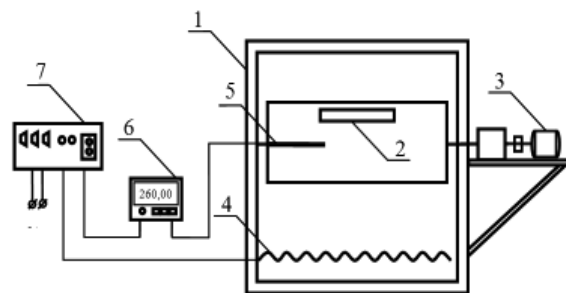


Рис. 1. Экспериментальная установка для термомодифицирования измельченной древесины

После подготовки измельченной древесины к эксперименту ее взвешивают и через крышку 2 помещают в камеру 1. Далее включением двигателя 3 камера 1 приводится во вращение. Одновременно в работу включается термоэлектрический нагреватель 4. В результате нагрева стенок камеры от термоэлектрического нагревателя 4 повышается температура среды внутри барабана и начинается термическая обработки измельченной древесины конвективно-кондуктивным способом: вследствие контакта с горячей поверхностью барабана и теплообмена с внутренней средой. В зависимости от плана эксперимента температура обработки может задаваться в интервале до 280 °С. При этом темп повышения температуры барабана может задаваться с помощью терморегулятора 6.

Результаты

В результате проведенных экспериментальных исследований процесса термической обработки измельченной древесины в барабанном аппарате периодического действия получены кинетические кривые изменения потока летучих продуктов разложения древесины, представленные на рис. 1. Анализ кривых свидетельствует об интенсификации процесса с ростом температуры обработки. Кроме того, из экспериментальных данных видно, что максимальный поток летучих наблюдается в интервале от 10 до 20 минут. Целесообразно предположить, что к 20 минуте завершается основная часть химических преобразований и древесные частицы приобретают необходимые характеристики. Для подтверждения данного положения было проведено сравнительное исследование высшей теплоты сгорания древесных пеллет в зависимости от температуры и продолжительности термообработки. Для этого пеллеты были изготовлены из сырья, подвергнувшегося термообработке 20 и 40 мин, поскольку поток лету-

чих после 40 мин обработки был незначительным. Установлено, что с ростом температуры торрефикации наблюдается заметное увеличение теплоты сгорания древесных пеллет (рис. 2). При этом двукратное увеличение продолжительности обработки не вызывает столь же существенного увеличения теплотворной способности топлива, особенно при относительно невысоких температурах обработки (до 240 °С). Таким образом, при необходимости увеличения

производительности и экономической эффективности процесса торрефикации древесного сырья, в первом приближении это может быть сделано путем завершения процесса обработки в момент существенного снижения потока газообразных продуктов разложения (в нашем случае - 20 мин) без существенной потери энергетического качества топлива.

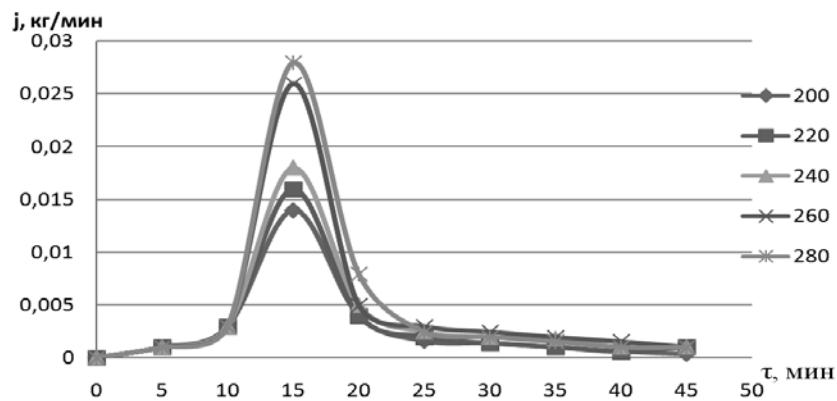


Рис. 2. Изменение потока летучих при торрефикации сосновых стружек

С целью определения физических параметров торрефицированного топлива были проведены исследования плотности, пористости и влагосодержания термически обработанного древесного сырья. Пористость термодревесины определяли по выражению

$$П = 1 - \frac{\rho}{\rho_{др.в-ва}},$$

где $\rho_{др.в-ва}$ – плотность древесинного вещества, определяемая отношением массы древесины к разнице объема образца и объема жидкости, заполнившей пустоты в этом образ-

це. Изменение плотности древесных частиц и древесинного вещества в зависимости от температуры торрефикации, полученные экспериментальным способом, представлены на рис. 3. Как видно из гистограммы, с повышением температуры торрефикации наблюдается не только изменение общей плотности древесных частиц, но и некоторое снижение плотности древесинного вещества. Заметное изменение плотности древесинного вещества приходится на температуру торрефикации в интервале 260-280 °С, что объясняется более глубокими процессами разложения древесины при данных температурах.

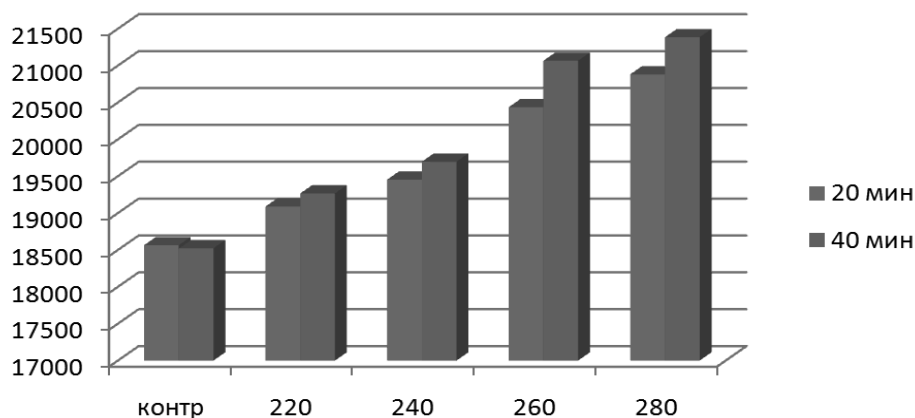


Рис. 2. Высшая теплота сгорания пеллет в зависимости от температуры и продолжительности торрефикации

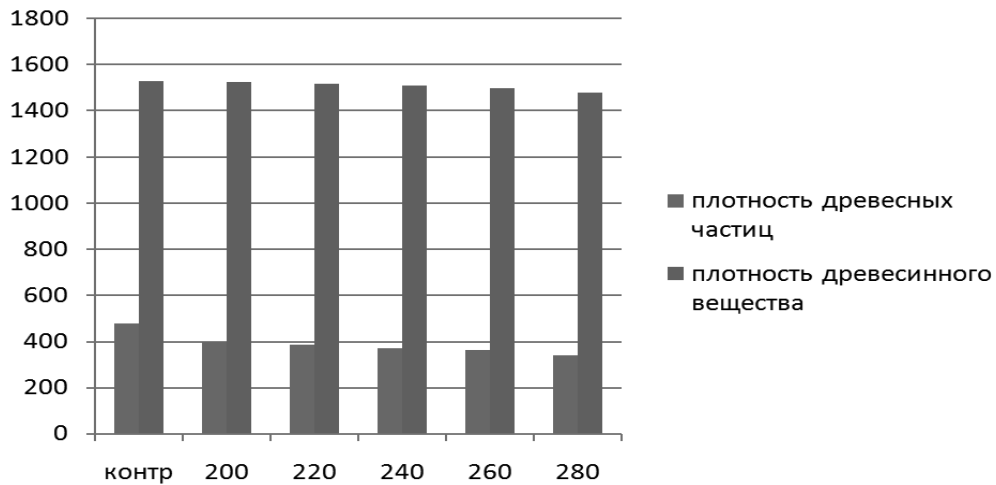
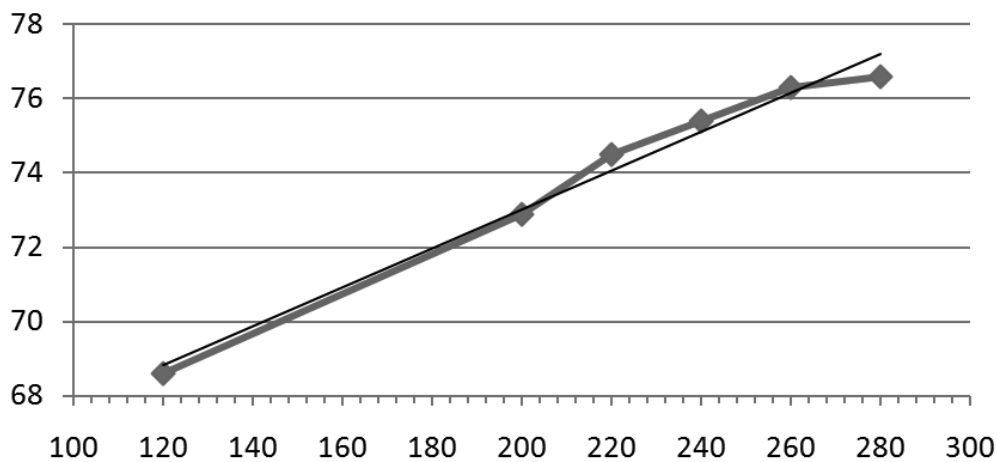


Рис. 3. Плотность древесных частиц и древесинного вещества в зависимости от температуры торрефикации

На рис. 4 представлено изменение пористости частиц, полученное по представленному уравнению: отмечается близкое к линейному изменению пористости древесины с увеличением температуры обработки. Некоторое отклонение от линейности наблюдается при температуре 280 °С, что может объясняться дальнейшим распадом, приводящим к деформациям клеточных стенок, снижающим объем пор за счет ре-

структуризации, а также более высоким содержанием зольных твердых продуктов распада. Таким образом, указанный ранее интервал температур 250-260 °С является наиболее оптимальным режимом термообработки также и с позиции увеличения относительного объема пор, способствующего интенсификации процесса горения топлива.

пористость, %



T, °C

Рис. 4. Зависимость пористости торрефицированных древесных частиц от температуры термической обработки

Представленные на рис. 5 кривые равновесной влажности торрефицированных пеллет, выдержанных в нормальных условиях помещения, характеризуют существенное снижение данного параметра при повышении температу-

ры термической обработки сырья, что, в конечном счете, также оказывает влияние на теплотворную способность топлива, изменяющего свою влажность в процессе хранения и транспортировки.

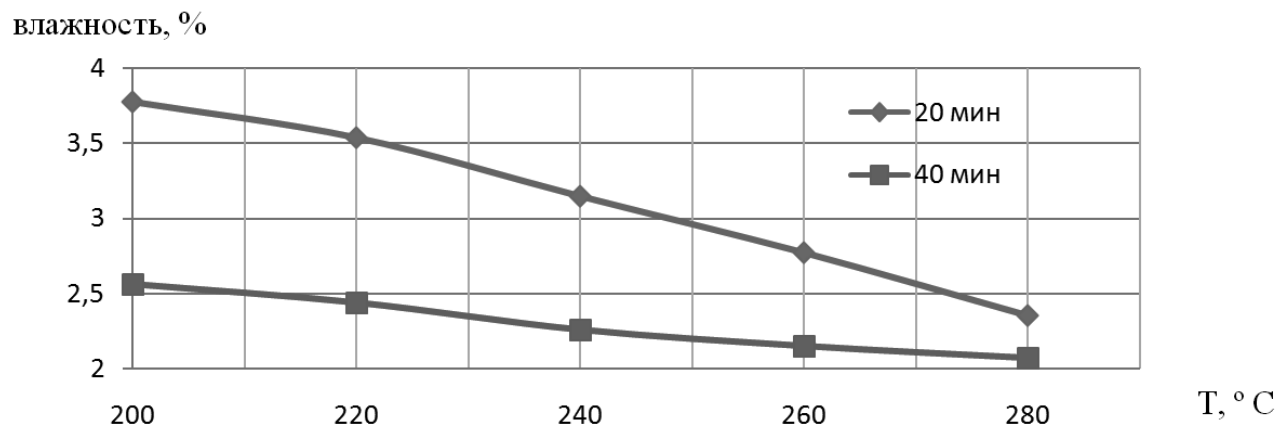


Рис. 5. Равновесная влажность топлива при выдержке в помещении в зависимости от температуры торрефикации

Таким образом, в результате исследования установлена возможность термической обработки древесного сырья в условиях барабанных аппаратов. Выявлен рациональный температурный диапазон 250-260 °С, способствующий наиболее эффективному воздействию на теплотворные характеристики древесного сырья. При этом установлено, что продолжительность торрефикации оказывает меньшее влияние на свойства готовой продукции, чем температура обработки, в связи с чем предложены меры по увеличению производительности процесса без существенного снижения качества конечного продукта путем сокращения времени термической обработки.

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

Литература

1. Luis S. Esteban, Juan E. Carrasco. Evaluation of different strategies for pulverization of forest biomasses. *Powder Technology*. Volume 166, Issue 3, 28 August 2006, Pages 139–151.
2. S. Pang & Q. Xu. Drying of Woody Biomass for Bioenergy Using Packed Moving Bed Dryer: Mathematical Modeling and Optimization, *Drying Technology*, 28:5, 2010, Pages 702-709, DOI: 10.1080/07373931003799251
3. A.A. Zabaniotou. Simulation of forestry biomass drying in a Rotary dryer. *Drying Technology*, 18:7, 2000. Pages 1415-1431
4. M. A. Delele, F. Weigler & J. Mellmann. Advances in the Application of a Rotary Dryer for Drying of Agricultural Products: A Review. *Drying Technology*, 33:5, 2015, Pages 541-558, DOI: 10.1080/07373937.2014.958498
5. Qixiang Xu & Shusheng Pang. Mathematical Modeling of Rotary Drying of Woody Biomass. *Drying Technology*, 26:11, 2008. Pages 1344-1350, DOI: 10.1080/07373930802331050
6. Shusheng Pang & Arun S. Mujumdar. Drying of Woody Biomass for Bioenergy: Drying Technologies and Optimization for an Integrated Bioenergy Plant. *Drying Technology*, 28:5, 2010.
7. Galyavetdinov N.R., Safin R.R., Mukhametzyanov S.R., Khakimzyanov I.F., Kaynov Petr.A. Recycling energy in technology of vacuum drying. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2015*, P. 731-738.
8. Xia Zhao, Hao Xu, Jimin Shen, Bo Yu & Xiaochun Wang. Decreasing effect and mechanism of moisture content of sludge biomass by granulation process. *Environmental Technology*, 37:2, 2016.
9. H. Wiinikka & R. Gebart. The influence of fuel type on particle emissions in combustion of biomass pellets. *Combustion Science and Technology*, 177:4, 2005. Pages 741-763, DOI: 10.1080/00102200590917257
10. Шайхутдинова А.Р., Гараева А.Ф., Разумов Е.Ю. // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 2. С. 21-26.
11. Ахунова Л.В., Гараева А.Ф. // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 2. С. 41-45.
12. Сафин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Гараева А.Ф. // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2016. № 1. С. 50-55.
13. Сафин Р.Р., Беякова Е.А., Халитов Р.А., Байгильдеева Е.И. // *Вестник Казанского тех-*

- нологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 131-133.
14. Сафин Р.Р., Белякова Е.А. // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 241-245.
15. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю. // Деревообрабатывающая промышленность. 2012. № 1. С. 015-018.
16. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Белякова Е.А. // Дизайн. Материалы. Технология. 2010. № 3. С. 95-98.
17. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Сафин Р.Г. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 4. С. 64-71.
18. 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.
19. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Зиятдинов Р.Р., Зиятдинова А.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 20. С. 64-65.
20. Сафин Р.Р., Кашапов Н.Ф., Канарский А.В., Разумов Е.Ю., Ахметова Д.А. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 104-110.
21. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. № 12. С. 104-10

© Сафин Р.Р. – д.т.н., профессор, зав. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», cfaby@mail.ru; Кайнов П.А. – к.т.н., доц. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», kranov@rambler.ru .

ООО «ПаркТехно»

Основное направление деятельности компании «ПаркТехно» – производство пилорам и иного деревообрабатывающего оборудования. ООО «ПаркТехно» производит современные горизонтальные ленточно-пильные станки.

Перемещение пилы на заданный размер производится под контролем микропроцессорной системы управления в соответствии с заданными размерами, толщиной и указанным количеством пропилов.

Точность распила $\pm 0,5$ мм. достигается за счет использования микропроцессорной системы позиционирования пильной ленты, осуществляющей горизонтальное перемещение ленточной пилы с точностью до 0,1 мм, а также благодаря жесткости рамы пильной каретки и точности направляющих станины.

Высокое качество поверхности пиломатериалов получено за счет использования ленточных пил с твердосплавными или стеллитовыми напайками.

Легкость обслуживания, высокая надежность, возможность длительной эксплуатации в напряженном производственном цикле.



Россия, г. Ижевск, ул. Пойма, д.107

E-mail: parktechno@mail.ru, www.parktechno.ru, тел.: (3412) 24-37-70, 8-919-916-44-77



Кованные 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





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**