
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»

МАТЕРИАЛЫ

IV Международной научно-технической конференции

Костромской государственной университет
Кострома ♦ Россия

8–11 сентября 2021 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Региональный координационный совет
по современным проблемам лесоведения (РКСД)

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана

Костромской государственный университет

**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»**

МАТЕРИАЛЫ

IV Международной научно-практической конференции

**Костромской государственный университет
Кострома ♦ Россия**

8–11 сентября 2021 г.

Кострома
КГУ
2021

Печатается по решению редакционно-издательского совета КГУ

Рецензенты:

Васильев А. О., главный технолог, Мебельная компания Марка.
Бечина А. В., руководитель департамента качества, Мебельная компания Марка

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Титунин Андрей Александрович*, д. т. н., доцент, заведующий кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Костромского государственного университета, Кострома (*председатель*)
- Санаев Виктор Георгиевич*, академик ИАВС, д. т. н., профессор, директор Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Председатель РКСД, Мытищи (*сопредседатель*)
- Гороховский Александр Григорьевич*, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой управления в технических системах и инновационных технологий Уральского государственного лесотехнического университета, Екатеринбург
- Деглиз Ксавье*, академик и экс-президент ИАВС, доктор, профессор, Академик Французской Академии сельского хозяйства, Университет Лотарингии, Нанси, Франция
- Касал Богумил*, академик ИАВС, доктор, профессор, директор Фраунгоферского института исследований древесины им. Вильгельма Клаудица, Германия
- Лоскутов Сергей Реджинальдович*, академик ИАВС, д. х. н., заведующий лабораторией физико-химической биологии древесных растений Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск
- Мелехов Владимир Иванович*, д. т. н., профессор кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова, Архангельск
- Нимц Питер*, академик ИАВС, доктор, профессор, Высшая техническая школа Цюриха, Швейцария
- Онучин Александр Александрович*, д. б. н., профессор, директор Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск
- Пастори Золтан*, доктор, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия
- Платонов Алексей Дмитриевич*, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой древесиноведения Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г. Ф. Морозова, Воронеж
- Покровская Елена Николаевна*, д. т. н., профессор Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, академик РАЕН, Москва
- Сафин Руслан Рушанович*, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского национального исследовательского технологического университета, Казань
- Смирнов Андрей Васильевич*, президент Союза лесопромышленников и лесозэкспортеров Костромской области, Кострома
- Федюков Владимир Ильич*, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой стандартизации, сертификации и товароведения Поволжского государственного технологического университета, руководитель Центра по сертификации лесопромышленной продукции, Йошкар-Ола
- Чубинский Анатолий Николаевич*, академик ИАВС, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург

А437 Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : материалы IV Международной научно-практической конференции / отв. ред. А. А. Титунин, Т. Н. Вахнина. – Кострома : Костромской государственной университет, 2021. – 235 с.
ISBN 978-5-8285-1144-0

Материалы конференции представлены статьями, содержащими результаты работ в областях исследования строения и свойств древесины и древесных материалов, современных технологических процессов получения изделий из древесины, прогрессивных технологий и техники лесозаготовительного и лесовосстановительного производств, экологических и экономических аспектов технологии лесовосстановительных, лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств.

Материалы исследований отражают современный уровень знаний в данных научных направлениях и могут быть полезны для ученых, работников производства, преподавателей, аспирантов и студентов вузов лесного комплекса.

УДК 634:674

Уважаемые участники конференции!

В четвертый раз на базе Костромского государственного университета проводится Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса». Для нашего университета это знаковое мероприятие является не только выражением признания роли кафедры лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств (ЛДП) в общем научно-образовательном процессе в сфере лесной науки, но и уникальной возможностью привлечения самых разных категорий специалистов, руководителей, научно-педагогических работников к обсуждению насущных вопросов развития лесопромышленного комплекса.

Костромская область занимает 6-е место по запасам древесины в европейской части страны и является самым лесобеспеченным регионом в Центральном федеральном округе, в котором по объемам производства лесопромышленного комплекса занимает лидирующие позиции. В настоящее время на территории области реализуется несколько инвестиционных проектов по модернизации действующих предприятий группы компаний СВЕЗА по производству березовой фанеры, лесопромышленный холдинг «Segezha Group» строит новый завод по производству большеформатной фанеры в г. Галич, ведется реконструкция плитного производства ООО «СВИСС КРОНО». Поэтому не случайно многие специалисты считают, что по состоянию дел в костромском лесном комплексе можно судить о процессах, происходящих в российском лесопромышленном комплексе.

Перед специалистами сегодня поставлен ряд актуальных задач в сфере импортозамещения, легализации всей заготовленной древесины, бережного отношения к уникальному природному сырью – древесине, развитию производств по глубокой переработке древесины, совершенствованию лесовосстановительных мероприятий, а также в сфере развития нормативно-правовых отношений в области лесного законодательства. И здесь как никогда возрастает роль научно-педагогических работников и исследователей, усиливается роль экспертных сообществ.

Программа IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса», которая по установившейся доброй традиции организована совместно с коллегами Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, включает проведение очередной сессии Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения (РКСД). Преподаватели и сотрудники кафедры ЛДП активно участвует в научных мероприятиях РКСД. Трижды, в 2003, 2012 и 2015 гг. на базе университета проводились выездные сессии РКСД, в том числе с участием зарубежных ученых. С глубоким почтением сегодня мы вспоминаем ученого, с которым нам посчастливилось работать в эти годы и который возглавлял РКСД – профессора Московского государственного университета леса, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки РФ, академика Международной академии наук о древесине, почетного члена РАЕН, Бориса Наумовича Уголева. Его участие в наших совместных конференциях способствовало установлению новых творческих связей с учеными других вузов лесотехнического профиля и специализированных организаций. В этом году на приглашение Костромского государственного университета и Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана участвовать в конференции откликнулись ученые и специалисты из Архангельска, Братска, Брянска, Вологды, Воронежа, Екатеринбурга, Иркутска, Йошкар-Олы, Казани, Красноярска, Москвы, Рыбинска, Санкт-Петербурга, а также из зарубежных образовательных, научно-исследовательских и производственных организаций Беларуси, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Украины и Франции. Отрадно отметить, что межвузовское и международное сотрудничество действительно существует и результаты его отражены в совместных публикациях, включенных в этот сборник.

Сегодня для современного научного работника существует еще много нерешенных вопросов и проблем в области строения древесины, её свойств, производства различных видов продукции, рационального природопользования. Поэтому основная цель конференции – предоставить для специалистов возможность обмена результатами своих лабораторных и прикладных исследований, конструктивного обсуждения актуальных научных проблем.

Желаю всем участникам IV Международной научно-практической конференции успешной и плодотворной работы, конструктивной дискуссии, формирования новых творческих контактов. Выражаю надежду, что обмен современной научно-технической информацией в формате пленарных и секционных докладов, а также практических семинаров будет способствовать дальнейшей интеграции науки и производства, рождению новых идей и будущих проектов в интересах развития лесопромышленного комплекса и во благо сохранения для наших потомков лесных экосистем.

**Титунин Андрей Александрович, д-р техн. наук,
зав. кафедрой ЛДП
Костромского государственного университета**

Уважаемые коллеги!

От имени Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Регионального Координационного совета по современным проблемам лесоведения приветствуем Вас по случаю начала работы IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса», которая проходит в одном из старинных и красивейших городов – Костроме, жемчужине Золотого кольца России.

Президент России Владимир Путин объявил 2021 год Годом науки и технологий, наука впервые вышла в ранг ключевых национальных приоритетов. В феврале 2021 г. утверждена Стратегия развития лесного комплекса. В современных условиях, для нашей страны, как крупнейшей лесной державы, важной стратегической задачей является повышение долгосрочной конкурентоспособности лесной промышленности и увеличение вклада лесного комплекса в социально-экономическое развитие России. Интеграция науки, образования и производства является ключевым моментом и будет способствовать инновационному развитию экономики отраслей лесного комплекса, подготовке компетентных, имеющих практический опыт специалистов лесного комплекса, трансферу технологий и повышению инновационного потенциала российской экономики. IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса», которая проводится на базе Костромского государственного университета кафедрой лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, по праву считается уникальной дискуссионной площадкой для всестороннего обсуждения проблем лесного комплекса, демонстрирующей основные тенденции и ключевые достижения, новейшие технологии и перспективы международного сотрудничества в отрасли.

Несмотря на все сложности пандемийного времени, на ставшую уже традиционной конференцию более 180 ученых и преподавателей из Беларуси, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, России, Украины и Франции представили свои доклады, посвященные фундаментальным и прикладным исследованиям в области лесных экосистем, управления лесами, лесовосстановления, лесоведения, технологии и техники лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, энергетического использования древесной биомассы, экономики и цифровой трансформации лесного комплекса. Интересные дискуссии и конструктивный обмен мнениями будут способствовать расширению и углублению интеграционных связей, развитию новых научных направлений с учетом современных трендов и цифровой трансформации лесного комплекса. В рамках конференции запланированы пленарные заседания и тематические сессии, образовательные мероприятия, деловые встречи и, конечно же, обширная и интересная культурная программа.

Желаем всем участникам конференции насыщенной и плодотворной работы, творческой результативной дискуссии, приобретения партнерских и дружеских контактов для новых совместных исследований и достижений!

**Санаев Виктор Георгиевич, академик ИАВС, д-р техн. наук,
профессор, директор Мытищинского филиала
Московского государственного технического
университета им. Н. Э. Баумана**

**Горбачева Галина Александровна, канд. техн. наук,
ученый секретарь РКСД, Мытищинский филиал
Московского государственного технического
университета им. Н. Э. Баумана**



СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 630.245.13:630.812

О. И. Антонов,

канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, СПбНИИЛХ, СПбГЛТУ им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, РФ, woodfm@mail.ru

Е. И. Антонов,

канд. с.-х. наук, зам. директора по научной работе, филиал ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская ЛОС», г. Кострома, РФ, ce-los@mail.ru

КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ, СФОРМИРОВАВШЕЙСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБРЕЗКИ ВЕТВЕЙ 30–60-ЛЕТНЕЙ ДАВНОСТИ

Интенсивное лесовыращивание является необходимым условием повышения рентабельности лесного хозяйства. Комплексный уход за лесом, который включает в себя рубки ухода и внесение удобрений увеличивает продуктивность насаждений, а проведение обрезки ветвей обеспечивает получение древесины высокого качества. Исследования древесины, сформировавшейся под влиянием обрезки ветвей 30-60-летней давности в культурах и естественном древостое ели, показали, что она обладает однородной бессучковой структурой с повышенными физико-механическими и акустическими свойствами. Учитывая высокую стоимость такой древесины, необходимо внедрение обрезки ветвей в лесохозяйственную практику, как средство перспективного капиталовложения.

Ключевые слова: ель европейская, обрезка ветвей, качество древесины, физико-механические, акустические свойства.

O. I. Antonov,

candidate of agricultural sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Forestry, Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Saint-Petersburg, Russian Federation, woodfm@mail.ru

E. I. Antonov,

candidate of agricultural sciences, Deputy Director for scientific work, branch VNIILM «Central European LOC», Kostroma, Russia, ce-los@mail.ru

QUALITY OF PICEA ABIES WOOD, FORMED UNDER THE INFLUENCE OF PRUNING 30–60 YEARS OLD

Intensive forest cultivation is a prerequisite for increasing the profitability of forestry. Complex care, which includes thinning and fertilization, increases the productivity of the plantings, and the pruning ensures the production of high quality wood. Studies of wood formed under the influence of pruning of branches 30–60 years ago in plantations and natural stand of Piceaabies have shown that it has a homogeneous branchless structure with increased physical, mechanical and acoustic properties. Given the high cost of such wood, it is necessary to introduce pruning into forestry as a means of promising investment.

Keywords: Piceaabies, pruning, quality wood, physical, mechanical and acoustic properties.

Необходимость повышения качественной продуктивности лесов на основе внедрения методов интенсивного лесовыращивания, становится все более актуальной задачей для развития лесной биоэкономики замкнутого цикла (circularforest-basedbioeconomy). Наиболее эффективным способом является комплексный уход за лесом, который включает себя сочетание рубок ухода, многоприемной обрезки ветвей и неоднократное внесение удобрений, увязанных между собой по времени и целесообразности. Применение такой технологии приводит к повышению качественной продуктивности насаждений, сочетающей количественные и качественные параметры всего древостоя и каждого дерева в отдельности, а также улучшение свойств выращиваемой древесины, которая служит главным критерием успешной работы различных отраслей экономики, составляющих лесопромышленный комплекс.

Среди множества показателей качества, наиболее важным или интегральным является плотность, которая определяет большинство физико-механических свойств древесины. Поскольку между ними существует высокая корреляция, то всякое снижение плотности означает снижение механических свойств и наоборот. В опытах проведенных Грантом установлено, что уменьшение на 10 % плотности древесины снижает ее механические свойства на 7–10 % [1]. Кроме этого, пониженная плотность древесины ассоциируется (у хвойных) с повышенной сучковатостью и определяет большую поражаемость деревьев ядровыми гнилями [2].

Наиболее эффективным и доступным способом улучшения технических свойств выращиваемой древесины на корню, является обрезка ветвей на растущих деревьях, которая ещё не вошла в отечественную лесоводственную практику.

Цель работы заключалась в оценке качества древесины, сформировавшейся в результате обрезки ветвей 30-60-летней давности в естественном и искусственных древостоях елиевропейской.

Объектами исследований являлись:

1. Культуры ели 1967 г., заложенные в кв. 68, Сусанинского участ. лес-ва, Гатчинского лес-ва, Ленинградской обл. Обрезка ветвей у крупных и средних деревьев на высоту 4–5 м высокой интенсивности (оставлено 5–6 мутовок или около 40–45 % от общего числа) выполнена в 1986 г. Постоянные пробные площади (ППП) 105 и 2* (контроль);

2. Культуры ели 1956 г., расположенные в Гатчинском лес-ве, Таицком участ. лес-ве, кв. 28. Обрезка ветвей на высоту до 6,5–7,5 м проведена в 1985 г. у деревьев всех размерных категорий. ППП 157, 160 (контроль);

3. Условно-однообразный 120-летний ельник естественного происхождения, расположенный в Карташевском лес-ве Гатчинского лес-ва (бывшем Сиверском опытном лесхозе ЛенНИИЛХ), в котором в 60-летнем возрасте была произведена опилка сухих сучьев и нижних ветвей на высоту 7 м. Опыт заложен под руководством проф. А. В. Давыдова и З. Я. Солнцева в 1929 г.

Результаты исследований. Обрезка живых ветвей нижней части кроны, с оставлением 5–6 верхних мутовок в 19-летних культурах способствовала увеличению плотности древесины, (рис.). У крупных елей плотность древесины увеличилась на 16 %, у средних по величине деревьев на 3 % (ППП 105). Различия с контрольным вариантом ($p \leq 0,05$), оказались достоверны только для крупных деревьев, для средних они незначительны. Повышение плотности древесины началось сразу же после обрезки и продолжалось в течение нескольких лет, а затем не существенно отличалась от контроля. В последнем (ППП 2*), происходило уменьшение плотности от сердцевины к коре, как у средних, так и крупных деревьев. У крупных деревьев снижение происходит более интенсивно, что объясняется повышенным приростом по диаметру.

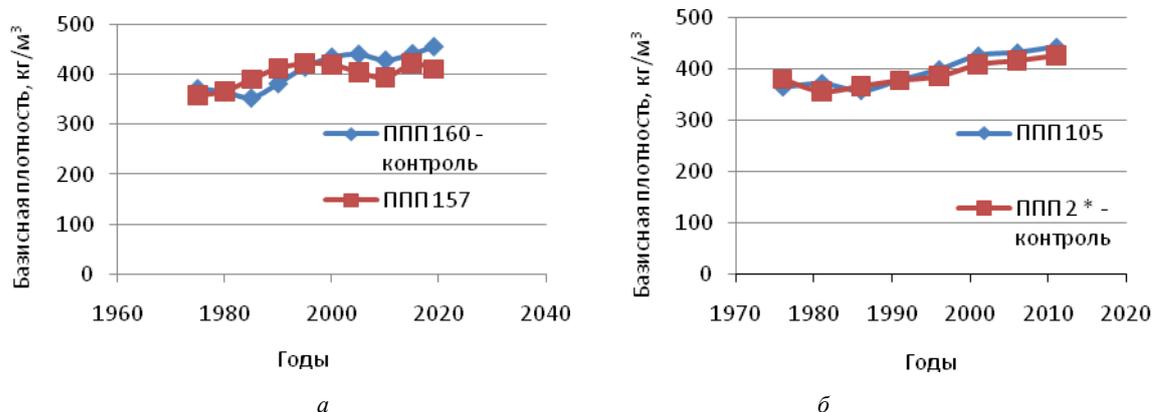


Рис. Динамика базисной плотности древесины в культурах ели на постоянных пробных площадях (ППП) 157, 160 (а) и 105, 2*(б)

В дальнейшем плотность древесины на опытном участке не существенно отличалась от контрольной, подтверждая высказывания О. И. Полубояринова [3], что «восстановительная способность» деревьев после обрезки ветвей, проявляется в течение 1–10 лет. Для увеличения периода действия приема обрезки, был предложен способ формирования высококачественной бессучковой древесины ели повышенной плотности и прочности, заключающийся в ежегодном удалении одной мутовки и оставлении минимально необходимого количества мутовок: 5–6 шт. Получен патент на изобретение № 2648415.

Удаление ветвей в нижней части стволов в культурах 29-летнего возраста (ППП 157, 160) с интенсивностью обрезки 28–41 % общей протяженности кроны, не вызвала достоверного изменения плотности древесины у деревьев всех размерных категорий, как за первые 5 лет, так и последующие десятилетия (см. рис. б). Не вызвала изменения показателя плотности, обрезка ветвей и у деревьев в приспевающем ельнике до высоты 7 м. Вместе с тем, у этих деревьев, прием способствовал формированию в дальнейшем древесины с однородной структурой, обладающей высококачественными свойствами. Образцы, отобранные через 60 лет после обрезки свидетельствуют что, предел прочности такой древесины при сжатии вдоль волокон составляет $51,6 \pm 1,02$ МПа, при стандартном значении для ели 44,5 МПа. Удельная характеристика или коэффициент качества (0,96) практи-

чески равен стандартному (1,00). Показатель ударной вязкости – A_{12} , равный $0,68 \text{ кгсм/см}^2$, также выше табличного значения ($A_{\text{табл}} = 0,40$). Удельная характеристика $K = A_{12}/\rho_{12}$, равная $123,0 \cdot 10^{-5}$ превышает стандартное значение ($K_{\text{табл}} = 90 \cdot 10^{-5}$). У большинства образцов древесины, отобранных в этом насаждении для испытания, значения акустической константы превышали оптимальный параметр равный $12 \text{ м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$ и выше, что подтверждает ее резонансные свойства. Такая древесина используется в производстве музыкальных инструментов и является остродефицитным и дорогим материалом (стоимость 1 м^3 в РФ составляет 100–120 тыс. руб [4], за рубежом около 150 тыс. долл. США [5]). Проведенные опытные работы свидетельствуют о возможности ускоренного выращивания резонансной древесины способом обрезки ветвей оптимальной интенсивности с одновременным регулированием густоты древостоя. На основании исследований разработана технология выращивания резонансной древесины ели европейской, на изобретение получен патент № 2644585.

В заключении следует сказать, что правильно организованное лесное хозяйство в своей основе содержит такое понятие как цикл лесовыращивания, одной из основных задач которого является производство древесины высокого качества. Внедрение технологии обрезки ветвей в практику интенсивного лесохозяйственного производства (включающего регулярные рубки ухода и внесение удобрений) даст возможность получения высококачественного и дорогостоящего крупномерного пиловочного, фанерного сырья и специальных сортиментов, содержащих однородную бессучковую древесину с высокими физико-механическими и акустическими свойствами.

Список литературы

1. Grant D. I., Anton A., Lind P. Bending strength, stiffness and stressgrade of structural Pinusradiata: effect of knots and timber density // N. Z. J. Forest. Sci. 1984. 14. N 3. P. 331–348.
2. Полубояринов О. И. Оценка качества древесины в насаждении. Л. : ЛТА, 1981. 76 с.
3. Полубояринов О. И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. Л. : ЛТА, 1974. 96 с.
4. ООО «Резонанс-Харпс». URL: <http://www.resonanceharps.ru> (дата обращения: 23.03.2021).
5. Tonewood. URL: <http://www.tonewood.ch> (дата обращения: 23.03.2021).

УДК 581:630.164

G. F. Antonova,

Dr, Leading researcher, VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of RAS, Russia, Krasnoyarsk, antonova_cell@mail.ru

V. V. Stasova,

PhD, senior researcher, VN Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of RAS, Russia, Krasnoyarsk, vistasova@mail.ru

G. G. Suvorova,

Dr, Leading researcher, Siberian Institute of Physiology and Biochemistry of Plants, Siberian Branch of RAS, Russia, Irkutsk, galina.g.suvor@gmail.com

V. A. Oskolkov,

PhD, senior researcher, Siberian Institute of Physiology and Biochemistry of Plants, Siberian Branch of RAS, Russia, Irkutsk, vosk@sifibr.irk.ru

SEASONAL CHANGES IN XYLOGENESIS AND BIOMASS ACCUMULATION IN THREE CONIFERS SPECIES, GROWING IN EASTERN SIBERIA

The phenology of xylogenesis in the stems of conifer trees with different physico-mechanical properties (Pinus sylvestris L., Larix sibirica Ldb., Picea abovata L.), growing in identical exogenous factors in Eastern Siberia, was studied by means of seasonal cambium activity of phloem and xylem cell production and biomass accumulation within xylem cell wall. The each of the species was found to show its own seasonal dynamics the activity of cambium and accumulation of biomass in the course of xylogenesis. The differences in xylogenesis of the conifers are determined by the species-specific features of their metabolism as the reaction on external factors.

Keywords: *Pinus sylvestris, Larix sibirica, Picea abovata, xylogenesis, cambium activity, xylem, phloem, biomass accumulation.*

Г. Ф. Антонова,

д. б. н., ведущий научный сотрудник, Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Россия, Красноярск, antonova_cell@mail.ru

В. В. Стасова,

к. б. н., старший научный сотрудник, Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Россия, Красноярск, vistasova@mail.ru

Г. Г. Суворова,

д. б. н., ведущий научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Россия, Иркутск, galina.g.suvor@gmail.com

В. А. Осолков,

к. б. н., старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Россия, Иркутск, vosk@sifibr.irk.ru

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КСИЛОГЕНЕЗА И НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ У ТРЕХ ВИДОВ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Фенология ксилогенеза в стволах хвойных деревьев с различными физико-механическими свойствами (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ldb., *Picea abovata* L.), произрастающих в условиях идентичных экзогенных факторов в Восточной Сибири, изучена на основе анализа сезонной активности камбия, флоэмы и ксилемы, а также накопления биомассы в клеточной стенке ксилемы. Установлено, что у каждого из видов наблюдается своя сезонная динамика активности камбия и накопления биомассы в процессе ксилогенеза. Различия в ксилогенезе хвойных пород определяются видовыми особенностями их метаболизма, а также реакцией на внешние факторы.*

Ключевые слова: *Pinus sylvestris, Larix sibirica, Picea abovata, ксилогенез, активность камбия, ксилема, флоэма, накопление биомассы.*

The process of wood formation (xylogenesis) is the result of the production of cells by cambium, an increase in the radial diameter during expansion growth and the deposition of structural components in cell walls on secondary wall thickening stage [1–3]. The each of the development stage has its own seasonal dynamics in space and in time and reacts autonomously on exogenous (temperature, moisture availability) factors and on endogenous processes in line with physiological changes in the cells on this stage [4, 5]. One of the generalizing studies by the effect of temperature and its limits on conifer xylogenesis growing in cold climate (Europe and Canada) was presented in the paper [6]. Another important factor, which influences xylogenesis, is the accessibility of the moisture. Its deficiency in the cells is reflected in the morphological parameters [7]. There is a critical value of the water potential in tissues, lower than which the radial sizes of cells decrease [8]. The direct effect of water potential on the turgor-dependent expansion of cell walls was shown. The effect of hydrothermal conditions on xylogenesis of different conifer species is mediated by the reaction of metabolism on these conditions, what should affect both the overall process and individual stages of wood formation.

The aim was to study the phenology of xylogenesis in the trunks of conifer trees (*Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ldb., *Picea abovata* L.) with different physic-mechanical properties of wood, which grow in the equal environmental conditions of the artificial cultivations in Eastern Siberia. The diameter of the trees was 22, 16 and 14 cm correspondingly.

To study of the kinetics of xylem wood formation the cores were sampled from the tree trunks with the interval 12–15 of the days from the end-April to the middle-October in 2013. The number of xylem and phloem cells, radial and tangential diameters of tracheids and their lumens were measured in 2–3 radial cell rows on two cross-sections of the each core. The data were used to estimate cambium activity (as the number of cambial initial division into xylem and phloem sides [4]), the dynamics of formation of both phloem and xylem (early/late) cells and the dynamics of biomass increment in cell walls. The biomass, accumulated in cell walls, was assessed by cell wall cross-section area, which was calculated using radial and tangential sizes of tracheids, locating in the secondary thickening zone in the period. The difference between cell wall cross-section areas of the subsequent and preceding periods was evaluated as the biomass increment, deposited per each period in the season or per day of the each period.

In the course of xylogenesis the each species showed own seasonal dynamics of both the activity of cambium and accumulation of biomass. The production of phloem cells by cambium began in the stems of pine at the beginning-May, of larch in the middle-May and of spruce in the end-May and continued in pine to the beginning of September, in larch and the spruce trees to second decade-August. Xylem cells formed in pine from middle-May, in larch and spruce from the end-May and to second decade-August correspondingly. Xylem cell production by cambium corresponded to the beginning of new annual wood layer development and occurred with different dynamics in the stems of trees.

The reactivation of cambium producing of phloem and xylem cells in the tree stems of studied species was observed in different periods of the season because of internal reasons. The delay in cambium reactivation in larch stem in comparison with pine occurs because of the delay in growth of needles and shoots, what is important to provide the motion of water along the stem and the creation of water potential gradient in the vertical and horizontal directions. The latter ensures water inflow to the cambium zone what contributes to cell growth by expansion. The reactivation of the cambium in spruce trees in comparison with pine and larch could be detained due to the later warming up of the soil that impeded physiological and metabolic reactions in the cells of xylem tissues.

The differences in the beginning of xylem/phloem cell formation by cambium and in the duration of this process as the reaction of the processes on external factors led to the variations in the ratio of phloem/xylem cells in annual rings of studied species. The ratio of phloem/xylem cells, created by cambium in the stems of pine, larch and spruce, in the season was 0.28, 0.44 and 0.21 correspondingly. This shows that in the equal growth conditions the phloem cells were formed more in larch stems than in pine and spruce. The average number of xylem cells in annual wood rings of pine, larch and spruce comprised 68.5, 82.3 and 57.5. The xylem production in larch was more effective in comparison with pine and especially with spruce. The ratio of early/late tracheids in the annual ring structure of pine, larch and spruce was also diverse and comprised 1.4, 1.5 and 1.8 correspondingly. Lager ratio of early/late tracheids in radial rows of spruce can be the result of increased humidity of spruce tissues, what ensured the growth of cells in the radial direction and the formation of the larger number of earlywood tracheids.

The deposition of biomass in cell wall xylem lasted from the end-May to third decade-September. The accumulation of biomass within tracheid walls during cell differentiation in the stems of pine, larch and spruce occurred with the different seasonal dynamics and the diverse intensity in separate periods (Fig.).

The deposition of biomass in the trunks of pine and larch trees occurred irregularly and depended on the external factors. The increase in xylem cell wall area in the season showed three maxims in growth activity in the season (Fig. 1). The decrease in biomass accumulation in the end-June and in the beginning-August was in the first time because of the decrease of moisture reserves in the soil, whereas in second case this was due to very high temperatures, which suppress the deposition of structural components within cells walls [5]. In each of the periods of maximum activity - the end-June, middle-August and especially in September – the biomass increment in annual rings of larch stem exceeded of that deposited in pine stem. In contrast to pine and larch the biomass deposition in annual xylem rings of spruce stem occurred gradually during whole season, descending toward the end August and sharply increasing in the middle of September, when late tracheids completed the development. Some reducing of the biomass accumulation in the trees in second decade-July compared with previous period (the beginning-August), evidently occurred because of high temperature in that time. At the same time the biomass deposition in the spruce stem significantly exceed of that in pine and larch as a result, evidently, of a sufficiency of moisture in spruce stem tissue.

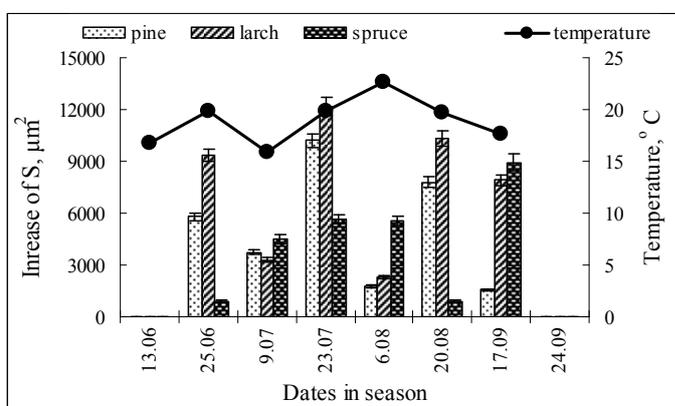


Fig. Dynamics of biomass growth rate in xylem cell walls in the stems of pine, larch and spruce as increment of cell wall cross-section area (S) during the season

The whole biomass, accumulated in tracheid walls during the season was more in the larch, lesser in pine and least of all in spruce. The average content of biomass in the xylem cells of annual rings in the stems of larch exceeded that in pine and spruce in 1.2 times.

The data indicate the higher cambium activity in larch in comparison with pine and especially spruce and the more active metabolic processes, which ensure the biomass accumulation in tracheid walls in larch. The differences in xylogenesis in *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ldb. and *Picea abovata* are by the consequence of species-specific features of their metabolism and its plasticity in response to changes in the external factors.

References

1. Wilson B. F., Wodzicki T. J., Zahner R. Differentiation of cambial derivatives: proposed terminology // Forest Science, 1966, 12:438–440.
2. Skene D. S. The Period of Time Taken by Cambial Derivatives to Grow and Differentiate into Tracheids in *Pinus radiata* // Annals of Botany, 1969, 33:253–262.

3. Wodzicki T. J. Mechanism of xylem differentiation in *Pinus silvestris* L. // Journal of Experimental Botany, 1971, 22:670–687.
4. Antonova G. F., Stasova V. V. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems // Trees: Structure and Function, 1993, 7:214–219.
5. Antonova G., Stasova V. Seasonal distribution of processes responsible for radial diameters and wall thickness of scots pine tracheids // Сибирский лесной журнал. 2015. № 2. С. 33–40.
6. Rossi S., Deslauriers A., Cricar J., Seo J.-W., Rathgeber C.B.K., Anfodillo T., Morin ., Levanic T., Oven P. and Jalkanen R. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates // Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.), 2008, V. 17. P. 696–707. doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00417.x.
7. Von Wilpert K. Intraannual variation of radial tracheid diameters as monitor of site specific water stress. Dendrochronologia, 1991. 9:95–113
8. Cabon A., Fernández-de-Uña L., Gea-Izquierdo G., Meinzer F. C., Woodruff D.R., Martínez-Vilalta J., De Cáceres M. Water potential control of turgor – driven tracheid enlargement in Scots pine at its xeric distribution edge. New Phytologist, 2020. 225:209–22. doi: 10.1111/nph.16146.

УДК 630.233

М. А. Баяндин,

к. т. н., доцент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
mihailbayandin@yandex.ru

В. Н. Ермолин,

д. т. н., профессор, зав. кафедрой ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
vnermolin@yandex.ru

В. А. Острякова,

аспирант 1 года, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
karmen0703@yandex.ru

А. В. Намятов,

ассистент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
namyatov2010@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛИТ БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО

В работе изучено влияние процессе механоактивации опилок на изменение морфологических характеристик древесных частиц и их аутогезионные свойства при получении материалов без пьезотермических воздействий. В ходе исследований установлено, что с увеличением кратности гидродинамической обработки с эффектом кавитации опилок, происходит повышение доли частиц, представляющих собой фрагменты клеточных стенок. Это позволяют формировать водостойкие плиты с высокими механическими свойствами без использования связующих пьезотермических воздействий.

Ключевые слова: древесная масса, активация, опилки, удельная поверхность.

M. A. Bayandin,

PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Composite Material Technology and Wood Research, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation,
mihailbayandin@yandex.ru

V. N. Ermolin,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Composite Material Technology and Wood Research, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation, Krasnoyarsk, the Russian Federation,
vnermolin@yandex.ru

V. A. Ostryakova,

1st year post-graduate student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation,
karmen0703@yandex.ru

A. V. Namyatov,

Junior Researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation,
namyatov2010@yandex.ru

STUDY OF THE PROPERTIES OF MECHANICALLY ACTIVATED WOOD PULP FOR THE PRODUCTION OF ADHESIVE-FREE WOOD BOARDS

The present paper studies the effect made by mechanical activation of sawdust on the morphological properties of wood particles and their self-adhesion properties in the production of materials without piezothermic treatment. The study has demonstrated that as the degree of hydrodynamic treatment with the sawdust cavitation effect increases, the share of particles that are cell wall fragments also increases. This can be used for the production of water-resistant boards with good mechanic properties without adhesives or piezothermic treatment.

Keywords: wood pulp, activation, sawdust, specific surface area.

Традиционные промышленные технологии производства древесных плит в настоящее время сталкиваются с рядом препятствий в развитии. Основными сдерживающими факторами являются ужесточение санитарных норм и истощение доступности ликвидного сырья. Комплексным решением данных проблем является получение материалов из мягких отходов переработки древесного сырья без использования синтетических адгезивов. Большинство исследователей сходятся во мнении, что для получения древесных плит без использования адгезивов, необходимо существенное изменение физических или химических свойств древесины [1].

Известные решения механических воздействий, такие как размол, взрывной автогидролиз [2] или обработка химическими реагентами [3] направлены на изменение ультраструктуры клеточной стенки, что предопределяет разрушение лигноуглеводной матрицы древесинного вещества. Это во многом позволяет при пьезотермическом воздействии обеспечить взаимодействие между древесными частицами с образованием физических и химических связей. При этом малое количество образующихся контактов между волокнами не позволяет обеспечить желаемую водостойкость плит и тем самым не позволяют конкурировать с широко распространенными аналогами получаемых с использованием термореактивных полимеров. Возможным решением данной проблемы является увеличение площади доступных межфазных поверхностей древесных частиц за счет фибриллирования.

Наиболее перспективным методом в данном случае является механоактивация древесных частиц. Результаты проведенных нами ранее исследований [4] указывают на то, что при обработке опилок в гидродинамическом диспергаторе с эффектом кавитации емкость монослоя и величина удельной поверхности активированной древесины увеличиваются более чем в 2,5 раза в сравнении с исходными опилками [5]. Это во многом предопределяет изменения геометрических параметров и увеличение объема макрокапилляров частиц.

Целью данной работы является изучение свойств и морфологических характеристик древесных частиц в процессе механоактивации гидродинамическим способом.

Для оценки адгезионных свойств активированных древесных частиц нами проведены специальные исследования, в которых использовались опилки древесины хвойных пород, полученные при распиловке круглых лесоматериалов на лесопильной раме. До обработки опилки смешивались в соотношении с водой, из расчета концентрации опилок 6 %. Обработка осуществлялась на лабораторном гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа согласно методике, подробно описанной в работе [4].

Оценка адгезионных свойств древесной производилась путем определения характеристик древесных плит, получаемых из активированного древесного сырья без пьезотермического воздействия (малой плотности). Для этого реализован активный двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемого фактора принята кратность прохождения древесных частиц через активную зону диспергатора от 30 до 90 раз. После обработки формовали ковер путем налива обработанной массы в специальную металлическую форму с сетчатым дном. Для обезвоживания ковра использовали механический отжим в холодном прессе с давлением 0,5 МПа. После этого плиты перемещали в конвективную сушильную камеру. Процесс сушки осуществлялся при варьировании температуры от 55 до 155 °С и скорости циркуляции сушильного агента 2,5 м/с. Конечная влажность плит – 4 %, плотность $\approx 250 \text{ кг/м}^3$. Основные критерии: предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти и разбухание по толщине за 24 ч, определялись по стандартным методикам [6]. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить зависимости свойств древесных плит от технологических факторов. Как показал анализ наиболее существенное влияние на физико-механические свойства плит без применения пьезотермического воздействия (горячего прессования) оказывает кратность обработки древесных частиц. При этом величина прочности при растяжении перпендикулярно 0,28 МПа, сопоставима с значениями данного показателя материалов получаемых с использованием связующих веществ, например древесностружечных плит. Это во многом объясняется значительным увеличением удельной поверхности древесных частиц при максимальном количестве проходов их через активную зону диспергатора, что позволяет обеспечить максимальное аутогезионное взаимодействие при получении плит без горячего прессования. Экстремальная зависимость разбухания плит, вероятно обусловлена тем, что с увеличением кратности обработки за счет аутогезионного взаимодействия между частицами возникают новые структурные единицы, что приводит к снижению площади доступной удельной поверхности.

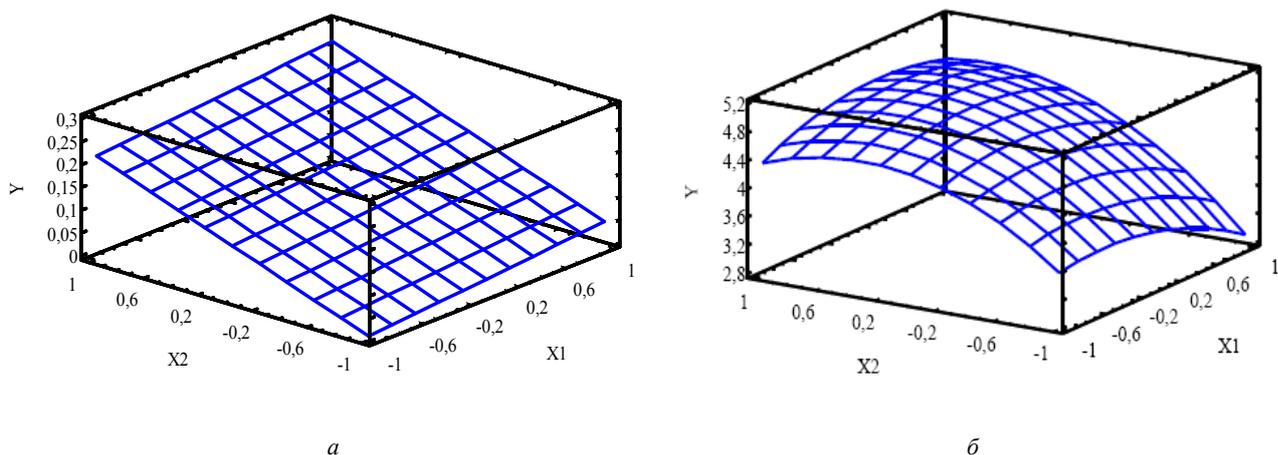


Рис. 1. Зависимости физико-механических древесных плит малой плотности от кратности гидродинамической обработки:
 а – прочность; б – разбухание

Для изучения изменений капиллярной структуры гидродинамически активированной древесной массы осуществлялось обезвоживание ее путем фильтрации и замораживания при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. После этого ее подвергали лиофильной сушке в лабораторном лиофилизаторе при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре конденсатора $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7]. Для установления изменений морфологических характеристик частиц в зависимости от кратности обработки в активной зоне гидродинамического диспергатора метод растровой электронной микроскопии (микроскоп ТМ-1000). Фото древесной массы представлены на рис. 2.

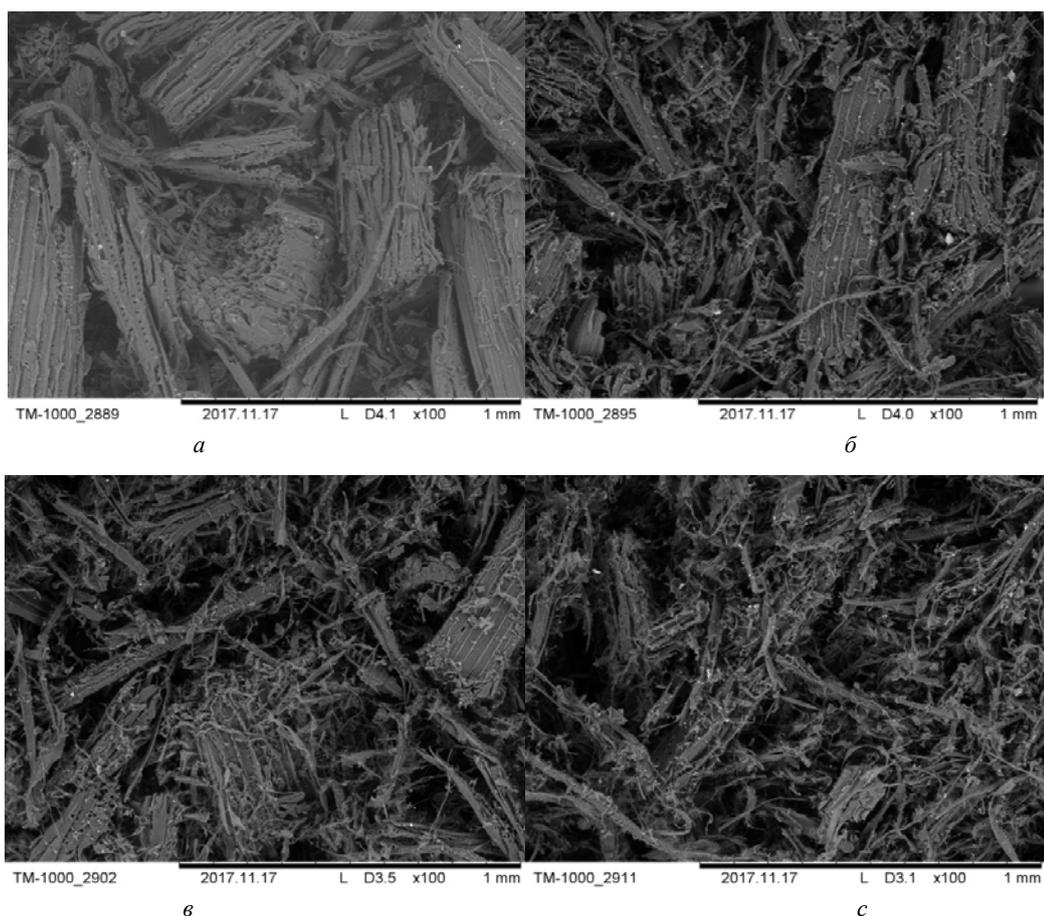


Рис. 2. Древесная масса с различной кратность гидродинамической обработки:
 а – исходные хвойные опилки; б – активированные частицы при кратности обработки – 30;
 в – активированные частицы при кратности обработки – 60;
 г – активированные частицы при кратности обработки – 90

Как видно из фотографий, представленных на рис. 2 опилки представляют фрагменты древесины перерезанных в поперечном направлении с присутствием незначительного количества от 2 до 6 трахеид. При тридцатикратной обработке древесины наблюдаются существенные изменения морфологической структуры древесной массы, которая характеризуется наличием продольно разрушенных фрагментов клеточной стенки, с незначительным содержанием опилок. Дальнейшая гидродинамическая обработка приводит к увеличению однородности древесной массы за счет роста доли частиц в виде лент. Это во многом объясняет увеличение удельной поверхности частиц более чем в 2,5 раза. Уменьшение количества мелкой фракции (см. рис. 2з) провидимому обусловлено тем, что мелкие частицы за счет аутогизионного взаимодействия с более крупными элементами образуют новые структуры, что подтверждает выдвинутое в данной работе нами выше предположение о влиянии кратности обработки на величину разбухания плит.

В целом результаты исследований свидетельствуют о том, что древесные частицы в процессе гидродинамической обработки с эффектом кавитации, претерпевают существенные изменения морфологических признаков, что во многом определяет увеличение объема макрокапилляров и величину удельной поверхности. Данные свойства древесной массы позволяют формировать без пьзотермических воздействий водостойкие плиты с высокими механическими свойствами.

Список литературы

1. Древесина (химия, ультраструктура, реакции): пер. с англ. / Д. Фенгел, Г. Вегенер ; предисл. А. А. Леоновича ; под ред. д-ра техн. наук проф. А. А. Леоновича. М. : Лесная пром-сть. 1988. 512 с.
2. Калейне Д. А., Веверис А. Г., Полманис А. Г., Эриньш П. П. и др. Высокотемпературный автогидролиз древесины. 4. Автогидролиз осинового древесины // Химия древесины. 1991. № 4. С. 60–64.
3. Технология производства композиционных материалов на основе модифицированных древесных наполнителей : монография / Р. Р. Хасаншин, Р. Р. Сафин, Е. Ю. Разумов ; Казанский нац. исследовательский технологический ун-т. Казань : КНИТУ, 2015. 231 с.
4. Ермолин В. Н., Баяндин М. А., Казицин С. Н., Намятов А. В., Острякова В. А. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 151–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-151-15.
5. Намятов А. В., Баяндин М. А., Казицин С. Н., Ермолин В. Н. Исследование свойств плит малой плотности из механоактивированных древесных частиц без использования связующих веществ // СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ – 2018 : Материалы VI Международного симпозиума имени Б. Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального Координационного совета по современным проблемам древесиноведения (Красноярск, 10–16 сентября 2018г.). Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2018. С. 149–151.
6. ГОСТ 10633–2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волоконистые. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний. Введен в действие. 01.04.2019, взамен ГОСТ 10633–78 и ГОСТ 19592–80. М. : Стандартиформ, 2018. 10 с.
7. Колосовская Е. А., Лоскутов С. Р., Чудинов Б. С. Физические основы взаимодействия древесины с водой. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 216 с.

УДК 674.21

И. К. Божелко,

к. т. н., доцент, зав. кафедрой технологии деревообрабатывающих производств Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь,
bikbstu@mail.ru

А. А. Коновалова,

магистрант 1 года обучения кафедры технологии деревообрабатывающих производств Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь,
anastasiyakonov@gmail.com

С. Г. Гузий,

к. т. н., с. н. с., зам. директора по научной работе и инновационному развитию ООО ГЕОФИП, г. Кропивницкий, Украина,
sguziy2@gmail.com

МИНЕРАЛЬНЫЕ КЛЕИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Производство деревянных изделий и конструкций требует решения вопросов расширения гаммы современных клеев, в том числе экологически чистых и негорючих. Возможным решением данного вопроса является использование минеральных клеев на алюмосиликатной основе. Алюмосиликатные клеи экологически чистые, негорючие и обладают высокими физико-механическими свойствами и обеспечивают соответствующие свойства клееным изделиям и конструкциям. По данным испытаний клеевых соединений изделий древесины, то они по своим основным физико-механическим показателям соответствуют требованиям пунктов ТНПА к продукции согласно показателям СТБ 939, СТБ 1074.

Ключевые слова: адгезия, алюмосиликатный клей, водостойкость, прочность при скалывании, прочность при изгибе.

I. K. Bazhelka,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of woodworking technology Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,
bikbstu@mail.ru

A. A. Kanavalava,

1st year master student of the Department of woodworking technology Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,
anastasiyakonov@gmail.com

S. G. Guzii,

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Deputy Director for Research and Innovative Development, GEOFIP LLC, Кропивнытський, Ukraine,
sguziy2@gmail.com

MINERAL ADHESIVES AND FEATURES OF THEIR APPLICATION IN THE PRODUCTION OF GLUED WOODEN PRODUCTS

The production of wooden products and structures requires solving the issues of expanding the range of modern adhesives, including environmentally friendly and non-combustible ones. A possible solution to this issue is the use of aluminosilicate-based mineral adhesives. Aluminosilicate adhesives are environmentally friendly, non-combustible and have high physical and mechanical properties and provide appropriate properties to glued products and structures. According to the test data of glued joints of wood products, they, in terms of their main physical and mechanical parameters, meet the requirements of the TNLA points for products in accordance with the indicators of STB 939, STB 1074.

Keywords: adhesion, aluminosilicate adhesive, water resistance, shear strength, bending strength.

Для склеивания древесины и деревянных конструкций применяют резорциновые, фенольные, карбамидные и поливинилацетатные клеи и некоторые их разновидности [1]. Преимуществом фенольных и резорциновых клеев является высокая влагостойкость, теплостойкость, прочность, недостатком – выделение фенола и формальдегида. Карбамидные клеи не рекомендуется применять для конструкций, эксплуатируемых на открытом воздухе. Поливинилацетатные клеи химически нейтральны, безвредны, дают бесцветный шов, но ограничено теплостойки, ползучи при статистических нагрузках и неводостойкие. Характерный недостаток данных клеев проявляется в их горючести. Альтернативой клеям на органической основе являются неорганические клеи [2]. Для древесины особо актуальны гидроксосоли с гетероатомами аниона (Al-O-Si) в виде щелочного раствора алюмосиликатов, в основу отверждения которого заложен механизм анионной конденсации с образованием цеолитоподобных соединений вида $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ [3]. Алюмосиликатные клеи негорючие [4, 5], биостойкие [6], механически прочные [7, 8], имеют высокое сцепление с древесиной [9–11]. Основной недостаток, ограниченное применение по сравнению с клеями на органической основе.

Цель работы состоит в том, чтобы ознакомить производителей деревянных изделий и конструкций с клеями на алюмосиликатной основе; довести до их понимания основные физико-механические свойства клееных изделий на алюмосиликатном клее.

Для реализации поставленной цели использовали алюмосиликатный (геополимерный) клей KB2 производства ООО ГЕОФИП (г. Кропивницкий, Украина). Склеивание изделий из массивов древесины осуществляли на производственных мощностях завода строительных изделий ОАО «Минскремстрой» (рис.).

Испытания физико-механических свойств клееных материалов на соответствие требованиям пунктов ТНПА к продукции по соответствующим СТБ (табл. 1) осуществляли в испытательном центре «ТАСИ» ЗАО «Технический институт сертификации и испытаний» (г. Минск). Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Если сравнивать полученные результаты с результатами испытаний клееных изделий на клеях WoodMax SW 12.47 D2, Kestokol D 4000, которые применяются на заводе строительных конструкций, то можно утверждать, что по основным физико-механическим свойствам алюмосиликатный клей в 1,1–1,4 раза превышает показатели аналогов, а по водостойкости при кипячении в воде при температуре 100 °С в 1,15 раза уступает аналогам, что связано со щелочной природой клея с одновременным прохождением реакций омыления и образования водорастворимых лигносульфонатов натрия.



а



б



в



г

Рис. Склеивание массивов древесины алюмосиликатным клеем КВ2 в заводских условиях:
а – брусчатых ламелей; б – оконной рамы; в – сращивание бруса; г – образцы для испытаний

Таблица 1

Показатели испытаний

№ п/п	Наименования контролируемого показателя	Обозначение и пункт ТНПА, устанавливающего требования к	
		продукции	методу испытаний
1	Прочность клеевых угловых соединений коробок и створок	п. 6.1.14 СТБ 939	п. 8.10 СТБ 939
2	Качество отделочных покрытий	п. 6.2.12 СТБ 939 п. 4.2.15 СТБ 1074	п. 7.4 СТБ 939 ГОСТ 24404
3	Прочность сцепления лакокрасочных покрытий с древесиной	п. 6.2.17 СТБ 939 п. 4.2.16 СТБ 1074	п. 2 ГОСТ 15140
4	Прочность клеевых соединений на скалывание вдоль волокон	п. 6.1.13 СТБ 939 п. 4.2.10 СТБ 1074	ГОСТ 15613.1
5	Прочность клеевых соединений на изгиб при зубчатом соединении	п. 6.1.13 СТБ 939 п. 4.2.10 СТБ 1074	ГОСТ 15613.4 ГОСТ 19414
6	Водостойкость клеевых соединений	п. 6.1.16 СТБ 939	ГОСТ 17005

Таблица 2

Результаты испытаний

Показатели (контролируемые параметры) изделия по п/п (табл. 1)	Нормированное значение контролируемого параметра	Кол-во образцов	Фактическое значение контролируемого параметра (среднее значение)	Вывод о соответствии требованиям ТНПА
1	не менее 0,4 МПа	4	$F_{cp} = 1,0$ МПа	Соотв.
	не менее 0,6 МПа	4	$F_{cp} = 0,9$ МПа	
	не менее 0,4 МПа	4	$F_{cp} = 1,1$ МПа	
2	не ниже III класса	2	1 класс	Соотв.
3	не ниже 2-го балла	2	1 балл	Соотв.
4	не менее 4 МПа	5	7,2 МПа	Соотв.
5	не менее 26 МПа	5	37 МПа	
6	в воде при 20 °С	2	$\sigma_{cp} = 3,2$ МПа	Средняя Б группа водостойкости
	при 100 °С	2	$\sigma_{cp} = 2,6$ МПа	

Согласно данным Протокола периодических испытаний № П-463/18 от 02.10.2018, испытанные образцы клеевых угловых шиповых соединений, образцы клеевых соединений древесины, образцы качества отделочного покрытия и адгезии, производства ООО Геофип, соответствуют требованиям . 61.14 СТБ 939 по показателю прочности клеевых угловых шиповых соединений коробок и створок; п. 6.113 СТБ 939, п. 4.210 СТБ 1074 по показателям прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон, прочности клеевых соединений на изгиб при зубчатом соединении; п. 6.2.12 СТБ 939, п. 4.2.15 СТБ 1074 к качеству отделочных покрытий; п. 6.2.17 СТБ 939, п. 4.2.16 СТБ 1074 по прочности сцепления лакокрасочных покрытий с древесиной; п. 6.1.16 СТБ 939 по водостойкости.

Список литературы

1. Хрулев В. М. Производство конструкций из дерева и пластмасс. М. : Высшая школа, 1989. 239 с.
2. Гузий С. Г. Геоцементы и материалы на их основе : тез. докладов VII Междунар. конф. «Стратегия качества в промышленности и образовании» (3–10 июня 2011, Варна, Болгария). Т. 1. С. 86–89.
3. Сычев М. М. Неорганические клеи. Л. : Химия, 1974. 160 с.
4. Guzii S. G., Krivenko P. V. Wood protection from burning using the geopolymer compositions // Building materials, products and sanitary engineering, J. Collection of scientific publications, 2011. № 41. P. 56–64.
5. Krivenko P. V., Guzii S. G., Bondarenko O. P. Alkaline Aluminosilicate Binder-Based Adhesives with Increased Fire Resistance for Structural Timber Elements // Key Engineering Material. 2019. Vol. 808. P. 172–176.
6. Гузий С. Г. Исследование биостойкости алюмосиликатных адгезивов для склеивания древесины // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. 2019. № 77. С. 126–134.
7. Guzii S., Krivenko P., Bondarenko O., Kopylova T. Study on physico-mechanical properties of the modified alkaline aluminosilicate adhesive-bonded timber elements // Solid State Phenomena, 2019, Vol. 296. P. 112–117.
8. Guzii S., Guzii O., Lashchivskiy V. Investigation of the Rheokinetic Properties and Penetration Depth of Aluminosilicate Adhesive in Pine Wood // Solid State Phenomena. 2020. Vol. 321. P. 97–103.
9. Krivenko P., Guzii S. The effect of modifying additives on the modulus of elasticity and strength of adhesives based on an alkaline aluminosilicate binder // Proceed. of the 20. Ibausil. Internationale Baustofftaugung, Weimar, Germany, 2018. Tagungsbericht, Band 1. P. 2-1213–2-1218.
10. Кривенко П. В., Гузий С. Г., Кравченко А. В., Бенесова А. Исследование адгезионной прочности геоцементной дисперсии к деревянной подложке // Строительные материалы и изделия. 2013. № 4(81). С. 68–70.
11. Guzii S., Kryvenko P., Guzii O., Yushkevych S. Determining the effect of the composition of an aluminosilicate binder on the rheotechnological properties of adhesives for wood // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019, Vol. 6/6(102). P. 30–37.

УДК 674

Nikolai Bardarov

доцент, доктор, Лесотехнический университет, София, Болгария
niki_bardarov@abv.bg

Vladislav Todorov

University of Forestry, Sofia, Bulgaria

STUDY OF THE STRUCTURE OF WOOD WITH THE HELP OF MATHEMATICAL MATRICES

In cross section, the wood of each tree species is unique. Even if its structure varies within certain limits (due to the conditions of habitat or location in the stem), the picture formed by the cells is very characteristic of each species. The parameters that can be measured are the diameter and density of the vessels and their exact location as Cartesian coordinates. Using the methods of matrix calculation and analytical geometry, an attempt was made to present some important characteristics of the structure of wood, for the purposes of classification of tree species.

Keywords: wood structure, vessels in wood, mathematical matrice.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МАТРИЦ

Николай Бардаров,

доцент, доктор, Лесотехнический университет, София, Болгария,
niki_bardarov@abv.bg

Владислав Тодоров,

доцент, доктор, Лесотехнический университет, София, Болгария

Древесина каждой породы деревьев в поперечном сечении уникальна. Даже если ее структура изменяется в определенных пределах (из-за условий среды обитания или расположения в стволе), картина, формируемая клетками, очень характерна для каждого вида. Параметры, которые могут быть измерены, – это диаметр и плотность сосудов и их точное местоположение в декартовых координатах. Была предпринята попытка, используя методы матричного расчета и аналитической геометрии, представить некоторые важные характеристики структуры древесины для целей классификации пород деревьев.

Ключевые слова: структура древесины, сосуды в древесине, математические матрицы.

Introduction

In cross section, the wood of each species is unique. Even if its construction varies depending on environmental conditions, position in the stem, the size of the stem, etc., it is within certain narrow limits. The ratio and location of the three main types of tissues (conductive, mechanical and reserve) are genetically set and serve to perform the physiological and mechanical functions in the stem. In addition, they help to identify tree species (Wagenführ R. 1984). The location and the quantitative ratio of the conducting cells (vessels) carry the most diagnostic information (Bardarov N. 2014).

The location of the vessels is set in the cambial layer, during the formation of the wood, changing greatly in the height of the stem (Burggraaf P. D. 1972). This change may meet some geometric or biophysical requirements, but to a greater extent depends on the amount and proximity of auxins. This leads to an increase in the size of the vessels and a decrease in their density from the leaves to the roots (Aloni R., Zimmermann M. H. 1983). Various mathematical models have been prepared for the quantification of the optimal number of vessels. It is assumed that wood has different ways of optimizing the number of vessels, depending on both the type and the environmental conditions (Ewers, et al. 2007).

In recent years, attempts, using computer vision techniques to automatically recognize tree species, have been made. However, such recognition requires a formal analytical description of the wood structure.

The aim of this research work was to find a characteristic number that corresponds to a certain tree species or basic anatomical structure, using the techniques of matrix calculation.

Methodology

If the field of view (shown in Fig. 1) is divided into strips with a width and height of 60 μm , then a table of 18 rows and 23 columns will be obtained. An anatomical structure indicator can be recorded in each cell of this table. In order to be able to calculate the parameters of the matrix, it is represented as a square with 18 rows and 18 columns.

In the process of working on a formal-analytical description of the wood, it became clear that its construction can be recorded in different ways. It is important to note that each record must meet certain conditions. The size of the cells (ie these 60 μm) must be chosen so that two or more vessels do not fall into one cell. In practice, the accuracy of recording the center of the vessels here is $\pm 30 \mu\text{m}$. It is not necessary to record with high accuracy, so if a vessel is not recorded correctly with its Cartesian coordinates, but with a close deviation, this does not greatly affect the result. This achieves continuity of the spatial arrangement of the vessels. A site for automatic matrix calculation <http://matrixcalc.org/> was used.

When compiling the matrices, different information about the structure of the wood is applied, starting with the simplest variant.

1 option. An incidental matrix of the spatial arrangement of the vessels is created. In the cells in which the center of the vessel falls, a value of 1 is recorded, and in those which do not fall, nothing is recorded.

Option 2. A characteristic matrix of the distribution of the vessels by diameters is created. In the cells in which the center of the vessel falls, the value of its diameter is recorded, and in those which do not fall, nothing is recorded (Fig. 2).

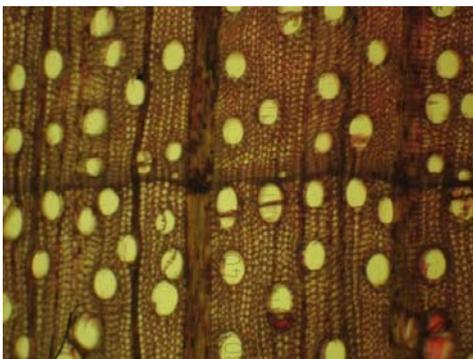


Fig. 1. Anatomical structure of maple (Acer sp., Cross section at 100x magnification)

		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Acer 1		60 μm	120 μm	180 μm	240 μm	300 μm	360 μm
R1	60 μm						
R2	120 μm					56	
R3	180 μm		70				
R4	240 μm						
R5	300 μm	55	79				
R6	360 μm						70
R7	420 μm						54
R8	480 μm		51				
R9	540 μm	42					
R10	600 μm	50					63
R11	660 μm	73				42	

Fig. 2. Characteristic matrix of the distribution of vessels by diameters (fragment)

Option 3. A characteristic matrix of the distribution of vessels and fibers by diameters is created. In the cells in which the center of the vessel falls, the value of its diameter is recorded, and in those which do not fall, the value of the average diameter of the fibers is recorded. The fibers are recorded with their tabular values of 18 μm , as they vary slightly and it is not necessary and impossible to measure them all.

4 option. A characteristic matrix of the distribution of the vessels and the fibers according to their wall is created. In anatomy, the „cell wall thickness“ indicator is often used when working with mechanical tissue (in German Wandigkeit; Wagenführ R., 1996). This is the ratio of the diameter of the wall (2W) to the diameter of the cavity (L) of the cell. This is considered a good characteristic number, although it is mainly used for fibers (ie mechanical fabric). Then the matrix proposed above will take the form.

The main doubt in this work is whether the result obtained does not show the average value of the area of the vessels. Then the studied characteristic numbers will be very close for all trees growing close to each other in a given habitat. This will not determine the difference between tree species, but between the conditions (especially the amount of water) under which they grew.

The second thing that is very likely from an anatomical point of view is to record a vessels in the adjacent cell (but not further away). Then the matrices must achieve continuity of the spatial arrangement of the vessels, ie. there should be no big difference in the values. However, option 1, 2 and 3 thus proposed showed large differences in the random transfer of values to adjacent cells.

Following what has been said so far, we have taken a different approach. If only parts of the annual ring are measured, typical wood structures such as radial groups, clusters, tangential bands or dendrites can be examined (Fig. 3). That is why we turned our attention to the ring-porous tree species – ash, mulberry, elm and oak.

Ring-porous is this wood in which there is a clear division of early-large and late-small vessels (Wagenführ R., 1989). Thus, we examined only the areas of late wood, measuring the structures that form the vessels there.

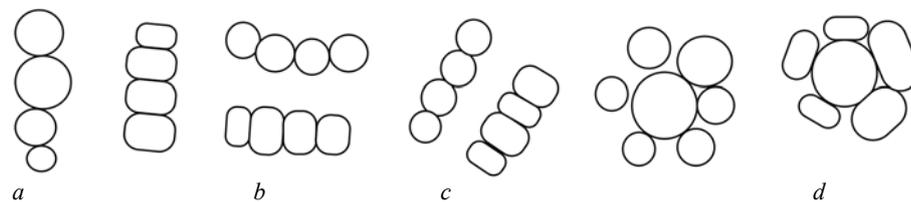


Fig. 3. Main groups in the mutual arrangement of the vessels:
a – radial; b – tangential; c – diagonal; e – clusters. In some vessels they touch only at one point, while in others the border is in a significant part of the wall

For a more detailed description of the wood, it is necessary to include the other tissues of the wood. We have already included the fibers as values of their diameter and wall. Now it remains to turn on the cells of the tree parenchyma and the wood rays. However, they are much smaller. Therefore, it was necessary to change the size of the cells of the matrix. The current 60×60 μm was reduced to 20×20 μm. In this way, each of the wood structures can be covered. Disadvantages here are the reduced study area and the description of cells that are significantly larger in size than the vessels. If the area of the wood studied so far was 1080×1080 μm, now it has been reduced to 360×360 μm. This is provided that the size of the matrix is preserved. However, larger matrices are really very difficult to calculate.

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
		20 μm	40 μm	60 μm	80 μm	100 μm	120 μm	140 μm	160 μm	180 μm	200 μm	220 μm
R1	20 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R2	40 μm	2	2		2	2	2	3				3
R3	60 μm	2	2	4	2	2	2	3	1			3
R4	80 μm	2	2		2	2	2	3				3
R5	100 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R6	120 μm	2	2		2	2	2	3				3
R7	140 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R8	160 μm	2	2		2	2	2	3	1			3
R9	180 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R10	200 μm	2	2		2	2	2	3				3
R11	220 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R12	240 μm	2	2		2	2	2	3				3
R13	260 μm	2	2	4	2	2	2	3	1			3
R14	280 μm	2	2		2	2	2	3				3
R15	300 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R16	320 μm	2	2		2	2	2	3				3
R17	340 μm	2	2	4	2	2	2	3				3
R18	360 μm	2	2		2	2	2	3	1			3

Fig. 4. Detailed matrix covering all fabrics in the wood:
1 – vessels; 2 – fibers; 3 – parenchyma; 4 – wood rays

Conclusions

- For now, the difficulties in describing the structure of wood are more technical than mathematical
- With the advent of computer technology, in particular computer vision techniques, it will be possible to analyze and measure the cells of the various tissues that make up wood. This will lead to the use of cell wall as an input value with high accuracy.

References

1. Aloni R., Zimmermann M. H. (1983). The control of vessel size and density along the plant axis. A new hypothesis. *Differentiation* 24:203-208.
2. Bardarov, N. (2014) A guide to the identification of tree species by the anatomical features of wood. Publishing house at LTU, Sofia.
3. Burggraaf P. D. (1972) Some observations on the course of the vessels in the wood of *Fraxinus excelsior* L. *Acta Bot. Neerl.* 21 (1): 32-47.
4. Ewers Fr. W., et al. (2007). Vessel redundancy: modeling safety in numbers. *IAWA Journal*, Vol. 28 (4), 2007: 373–388.
5. Wagenführ, R. Chr. Scheiber, (1996). *Holzatlas*. VEB Berlin: Springer-Verlag.
6. Wagenführ, R. (1984). *Anatomie des Holzes*. VEB Fachbuchverlag Leipzig.

УДК 674

Николай Бардаров

Владислав Тодоров

Университет лесного хозяйства, София, Болгария

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ – часть 1

Анатомия древесины не в полной мере учитывает влияние динамики факторов окружающей среды на анатомические характеристики древесины. До сих пор в структурной науке о древесине этой проблеме не уделялось должного внимания из-за отсутствия соответствующих методов и инструментов для ее изучения. Это сложный междисциплинарный вопрос, в котором следует искать и находить адекватные теоретические, методологические и практические подходы и решения. Использование и синтез арсенала как минимум нескольких наук и научно-практических дисциплин (например, ботаника, систематика, экология, физиология) эту проблему можно решить.

В статье исследуется степень, в которой анатомические особенности конкретного образца и / или вида, а также некоторые экологические особенности среды обитания являются значимыми, повторяющимися и предсказуемыми факторами формирования внутренней структуры древесины. Предметом исследования является систематическая информация, предоставляемая нам различными анатомическими структурами, а также установленная связь между некоторыми факторами окружающей среды и изменениями в структуре древесины, которые они вызывают.

Ключевые слова: *древесина, структура, анатомические особенности, окружающая среда.*

Nikolai Bardarov,

associate professor, doctor, University of Forestry, Sofia, Bulgaria, niki_bardarov@abv.bg

Vladislav Todorov,

associate professor, doctor, University of Forestry, Sofia, Bulgaria

ECOLOGICAL ASPECTS OF WOOD STRUCTURE - PART 1

The anatomy of wood does not fully take into account the influence of the dynamics of environmental factors on the anatomical characteristics of wood. Until now, the structural science of wood has not paid enough attention to this problem due to the lack of appropriate methods and tools to study it. This is a complex interdisciplinary issue in which adequate theoretical, methodological and practical approaches and solutions should be sought and found. Using and synthesizing the arsenal of at least several sciences and scientific and practical disciplines (for example, botany, systematics, ecology, physiology), this problem can be solved.

The article examines the extent to which the anatomical features of a particular specimen and / or species, as well as some environmental features of the habitat, are significant, repetitive and predictable factors in the formation of the internal structure of wood. The subject of the study is the systematic information provided to us by various anatomical structures, as well as the established relationship between certain environmental factors and the changes in the structure of wood that they cause.

Keywords: *wood, structure, anatomical features, environment.*

Экологическая анатомия древесины

Экология – это наука, изучающая взаимоотношения организмов с окружающей их средой (Калинков, В. 1969). Хорошее знание экологии растений основано на выяснении влияния факторов окружающей среды – абиотических, биотических и антропогенных на физиологию и анатомию растений, рассматриваемых индивидуально или как членов сообщества. Экологическая анатомия древеси-

ны исследует взаимосвязь между экологическими и флористическими предпочтениями таксонов и различными анатомическими элементами, которые связаны с функциями растений. Концепция экологической анатомии древесины основана на работах Карлквиста (1966), Бааса (1973) и Грааффа (1974). Существуют различные примеры анатомических стратегий и адаптивных реакций, которые позволяют растениям выживать и функционировать в различных условиях окружающей среды (Dickison, 2000). Общая площадь поверхности листьев и количество доступной почвенной воды, вероятно, определяют площадь элементов водоснабжения (Schweingruber F. H., et al. 2011).

Почти на все аспекты деревянного строительства могут влиять условия окружающей среды. В предыдущих исследованиях, известных в нашей литературе по этому вопросу, имеется больше информации о количественных, чем качественных изменениях (Николов, С. и др., 1967; Калинин, В., И. Шипчанов, 1970). Но в большей степени это касается сосудов – диаметра, плотности и расположения (группировки). Доказано сильное различие (примерно в два-три раза) размера сосудов у некоторых видов тополей, произрастающих в разных условиях (Калинков В., Добринов И. 1964). Развитие древесных сосудов как проводящей ткани определяет большое разнообразие анатомических структур и делает возможным присутствие листовидных видов почти повсюду (Schweingruber F. H. 2007). Одиночные сосуды встречаются во всех размерных классах. Они также считаются самыми ранними в эволюционном плане. Короткие и длинные радиальные группы и сосудистые группы встречаются часто, но реже, чем одиночные (одиночные) сосуды. Группировка сосудов в основном зависит от семейства и вида, при этом однокорпусные растения чаще встречаются в холодном, чем в теплом климате (Schweingruber F. H. и др., 2011 г.).

Некоторые исследования подчеркивают, что комбинации тесно связанных факторов окружающей среды вызывают схожие условия роста и, следовательно, формируют растительные сообщества со схожими характеристиками. Были изучены такие факторы, как размер растений, жизненная форма и форма роста, свойства листьев и физиологическое поведение (Николов С. и др., 1967; Калинин В., Шипчанов И., 1970). В условиях засухи изменения структуры ксилемы связаны с влажностью почвы, тогда как в условиях холодного зимнего климата часто наблюдаются годовые кольца роста. Способность адаптировать анатомические модели к условиям роста, по-видимому, является характеристикой, связанной с таксоном (Schweingruber F. H., et al., 2011). Однако пока нет ответа на вопрос, почему виды с кольце-сосудистых и рассеянно-сосудистых структурой могут быть найдены в одном и том же месте.

Факторы окружающей среды влияют на пропускную способность проводящей системы, но не на расположение клеточных структур. Кратковременные условия окружающей среды определяют анатомию ксилемы. Однако структуры существенно различаются, так как модификации производятся на основе генетической информации, специфичной для таксона, а также – на основе местоположения и воздействия окружающей среды. Анатомические реакции в большинстве случаев не являются уникальными для конкретных воздействий окружающей среды (Schweingruber F. H., Börner A. 2018). По устойчивости структуры, древесины можно сравнить такие части растения, как цветы и плоды, которые послужили основой систематики растений (Яценко-Хмелевский А. А. 1954).

Приведенный выше анализ некоторых исследований в области экологической анатомии древесины и их выводы о влиянии известных факторов окружающей среды на формирование структуры древесины далеко не полные и исчерпывающие. Для большинства этих исследований характерно то, что они собирают и обобщают характеристики отдельных местообитаний (Калинков, В. И. Добринов, 1970) и отдельных древесных пород (Вихров В. Э. 1954, Калинин В., Добринов С. и др. 1964, Калинин В., Шипчанов И. 1970).

Выводы

– Тип, размер и расположение сердцевинных лучей больше связаны с анатомическими структурами проводящих клеток и, следовательно, на них в большей степени влияют генетические факторы видовой принадлежности, чем условия окружающей среды. Следовательно, они не оказывают существенного влияния на существующую экологическую классификацию судов.

– Существует прямая зависимость между количеством образующихся питательных веществ вместе с количеством воды в почве и общей площадью сосудов, что означает, что большее количество питательных веществ и воды в почве положительно влияет на общую площадь сосудов.

– Можно предположить, что влияние изменения широты на структуру древесины значительно сильнее, чем влияние изменения высоты месторастения.

– Факторы окружающей среды больше влияют на количественные показатели проводящей системы, а не на типы группировки сосудов;

- Наилучшей адаптируемой формой анатомического строения древесных растений является рассеянно-сосудистая структура;
- Непонятно, почему виды с кольце-сосудистой и рассеянно-сосудистой структурой встречаются и одинаково хорошо развиваются в одной и той же среде обитания;
- Стабильность структуры древесины может использоваться в качестве основы для классификации древесных пород, по крайней мере, до уровня родов.

Список литературы

1. Вихров В. Е. Строение и физико-механические свойства древесины дуба / АН СССР ; Ин-т леса. Москва, 1954.
2. Калинков В. Анатомия на дървото с дендрология. София : Земиздат, 1969.
3. Калинков В. Добринов Ив. Принос към изследване на микроскопския строеж на дървесината на белия бор (*Pinus silvestris* L.) от някои екологични и морфологични форми в Западните Родопи : Научни трудове на ВЛТИ, сер. Горско стопанство, т. XVIII, 19–28. 1970.
4. Калинков В., Добринов И. Изучвания върху анатомичния строеж на дървесината при някои клонове на трепетликата (*Populus tremula* L.) в НР България : Научни трудове на ВЛТИ, т. XII , 41–56. 1964.
5. Калинков В., Шипчанов И. Изследвания върху структурата на дървесината на някои наши листопадни дъбове. В: Производство и комплексно използване на дъбовата дървесина. София, 1970.
6. Николов С., Добринов И., Калинков В., Енчев Е., Кръстев П. Изследвания върху структурата и физикомеханичните свойства на дървесината на бука (*Fagus sylvatica* L.) от различни форми в НР България. В: Насоки за комплексно използване на буковата дървесина. София, 1967.
7. Яценко-Хмелевский А. А. Основы анатомического исследования древесины / АН СССР. Москва-Ленинград, 1954.
8. Carlquist Sh. 2012 How wood evolves: a new synthesis. Botany 90: 901–940, Published by NRC Research Press doi:10.1139/B2012-048.
9. Dickison W. C. Integrative Plant Anatomy. A Harcourt Science and Technology Company. 2000.
10. Carlquist Sh. 2012 How wood evolves: a new synthesis. Botany 90: 901–940, Published by NRC Research Press doi:10.1139/B2012-048.
11. Schweingruber F. H. Wood structure and environment. Springer. 2007.
12. Schweingruber F. H., Börner A., Schulze E.-D. Atlas of Stem Anatomy in Herbs, Shrubs and Trees. Vol 1, 2. 2011.
13. Schweingruber Fritz H., Börner Annett. The Plant Stem. A Microscopic Aspect. Springer Nature Switzerland AG. 2018.

УДК 674

Николай Бардаров

Владислав Тодоров

Университет лесного хозяйства, София, България

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ – часть 2

Существенно влияние условий обитания на структуру древесины. Это больше количественное, чем качественное. Меняются количественные характеристики структуры, но не расположение ячеек. При анализе этих процессов очень сложно выделить определенный фактор среды и указать на его специфическое влияние. Таким образом, чтобы упростить модель, все факторы можно устранить, рассматривая их глобально.

В статье исследуется, насколько глобальные условия окружающей среды влияют на изменение анатомической структуры древесины. Предметом исследования является представленная информация о влиянии глобального расположения древесных растений на структуру древесины.

Ключевые слова: *древесина, структура, модель, среда обитания.*

Nikolai Bardarov,

associate professor, doctor, University of Forestry – Sofia, Bulgaria, niki_bardarov@abv.bg

Vladislav Todorov,

associate professor, doctor, University of Forestry – Sofia, Bulgaria

ECOLOGICAL ASPECTS OF WOOD STRUCTURE – PART 2

The influence of habitat conditions on the wood structure is significant. This is more quantitative than qualitative. The quantitative characteristics of the structure change, but not the location of the cells. When analyzing these processes, it is very difficult to identify a certain environmental factor and indicate its specific influence. Thus, to simplify the model, all factors can be eliminated by looking at them globally.

The article examines how global environmental conditions affect the change in the anatomical structure of wood. The subject of the study is the information provided on the influence of the global location of woody plants on the structure of wood.

Keywords: wood, structure, model, habitat.

Изменение анатомических элементов дерева при изменении широты и высоты

Большинство исследований предполагает, что климат играет решающую роль в размножении растений. Специфика климата отдельных биогеографических регионов, измененная особенностями рельефа, приводит к специфическому составу и распространению растительных сообществ. Климат также играет важную роль в биоразнообразии региона. Например, несмотря на схожие умеренные условия, в лесах Восточной Азии растет в три раза больше видов деревьев, чем в восточной части Северной Америки, и в шесть раз больше, чем в Европе (Latham and Ricklefs. 1993). Исследования показывают, что факторы окружающей среды, такие как наличие воды, перепады температур, разная высота, изменение широты с юга на север, значительно влияют на анатомические характеристики древесины (Akkemik Ü., Barbaros Y. 2012).

Важным моментом в изучении анатомии древесины является изучение влияния условий среды обитания в глобальном масштабе. У большинства видов очень большие ареалы и в разных частях есть разница в структуре древесины. По своему строению виды отличаются различными анатомическими приспособлениями древесины - наличием трахеид, утолщений клеточной стенки и т. д. На основе исследования этих вариаций создана подробная классификация этих устройств.

По мере увеличения широты размер ячеистых элементов в древесине уменьшается. Сосуды становятся короче, уже, увеличиваются в плотности, волокна иногда уже, а лучи ниже. На стенках сосудов появляются спиральные утолщения. Увеличение высоты имеет аналогичные, но гораздо более слабые эффекты. Не наблюдалось никакого влияния на группировку сосудов или наличие утолщений спиралей или других модификаций клеточной стенки (Van der Graaff, Baas. 1974).

Изменения в структуре древесины можно использовать для определения изменений климата в прошлом. Однако знание связи между экологией и анатомией древесины не под силу ни отдельному исследователю, ни отдельной науке. Необходим междисциплинарный подход, включая экофизиологию, анатомию древесины и дендрохронологию, который поможет правильно отсеивать ценную информацию о росте деревьев и прошлой изменчивости окружающей среды (Carrer et al. 2015).

Кольце-сосудистых структур годового кольца являются адаптацией северного полушария, с многочисленными узкими короткими сосудистыми элементами, которые чаще встречаются в умеренных и более засушливых регионах, чем в тропических (Калинков В., Шипчанов И. 1970, Бекман Н. 2016, Карлквист Ш. 2012). Это также можно объяснить физиологическими особенностями видов, растущих в условиях нехватки воды, и опасностью кавитации (Carlquist Sh. 2012).

Характеристики осевой паренхимы варьируются в зависимости от географического положения, от однородной до сливной паренхимы и полос с более чем 3 клетками, которые преимущественно тропические. Ярусная структура из лучей, кристаллов и кремнезема более распространена в тропиках, чем в умеренном северном полушарии. Что касается характеристик луча, то географические закономерности менее очевидны. Что касается характеристик сосудов, очевидно, что наиболее распространенным набором характеристик является рассеянно-сосудистая структура, в которой сосуды расположены беспорядочно и почти равномерно и имеют простые перфорации (Wheeler E. A. et al, 2007). В то же время считается, что для таких сред обитания, как умеренный климат, оптимальной структурой является кольце-сосудистая структура (Carlquist Sh. 2012).

Чтобы анатомические элементы можно было использовать в качестве источника систематической или экологической информации, должны быть известны пределы variability изменений, например, в объеме одной дерева, в объеме группы деревьев или группы связанных таксонов. Разнообразие может возникнуть как в количественных, так и в качественных аспектах структуре древесины. Условия среды обитания влияют на темпы роста, которые, в свою очередь, влияют на количественные характеристики судов (Weeckman, H. 2016). Например, размер ячеек может значительно варьироваться в зависимости от возраста дерева и расположения образца в дереве. Это наблюдается в основном в радиальном направлении от сердцевины к периферии дерева, т. е. от ювенильной к центральной древесине.

Однако для достижения стабильности размеров ячеек требуется много лет. По мнению одних авторов, это от 10 до 15 лет, а по другим – до 30 лет (Энчев Э. Ат. 1984, Бласкова Г. С. 2009). В тех-

нической анатомии именно различия ячеек (в основном механические) позволяют различать те породы древесины, которые имеют большие различия в свойствах. Это также фундаментальная характеристика для определения «качества древесины» как науки (Бласкова, 2009). Исследование влияния анатомии на свойства древесины особенно важно для ее рациональной обработки и применения. Подобные исследования проводились как для хвойных, так и для лиственных пород деревьев (Калинков В., Добринов И. 1970).

Большая база данных необходима для установления разнообразия структуры древесины в зависимости от условий среды обитания. В одной из замечательных публикаций на эту тему было изучено около 3000 древесных растений по всему их ареалу. Определяются основные характеристики сосудов – диаметр и плотность. Из них рассчитываются два коэффициента – общая площадь сосудов и соотношение размер / количество. Они представляют собой соотношение и произведение этих двух анатомических показателей. Были определены проводимость стволов и условная плотность древесины (Zanne A. E., et al. 2010).

По мнению авторов, общая площадь сосудов и соотношение размер / численность у покрытосеменных существенно различаются независимо друг от друга. Вариация проводимости стержня зависит в основном от соотношения размер / количество, а изменение условной плотности практически не связано с общей площадью сосудов и соотношением размер / количество. Высокие значения соотношения размер / количество должны увеличивать проводимость дерева, но также связаны с более высоким риском эмболии.

Общая площадь сосудов также влияет на проводимость стебля. (Zanne A. E., et al. 2010). Такие количественные показатели особенно важны при исследовании проводящей системы. При исследовании строения древесины разных ветвей осины (*Populus tremula* L.) и сравнении их с зарубежными данными выяснилось, что диаметр сосудов может варьироваться примерно в 2–3 раза (Калинков В., Добринов И. 1964). Однако эти различия существенно не влияют на расположение сосудов внутри кольца.

Список литературы

1. Бласкова Г. Ст. Дървесинознание : учебник. София : Издателска къща при ЛТУ, 2009.
2. Енчев Е. Ат. Дървесинознание : учебник. София : Земиздат, 1984.
3. Калинков В., Добринов И. (1964). Изучвания върху анатомичния строеж на дървесината при някои клонове на трепетликата (*Populus tremula* L.) в НР България . Научни трудове на ВЛТИ, т. XII , 41–56.
4. Калинков, В., Шипчанов И. Изследвания върху структурата на дървесината на някои наши листопадни дървета // Производство и комплексно използване на дървовата дървесина. София, 1970.
5. Калинков В., Добринов И. (1970). Принос към изследване на микроскопския строеж на дървесината на белия бор (*Pinus silvestris* L.) от някои екологични и морфологични форми в Западните Родопи. Научни трудове на ВЛТИ. Сер. Горско стопанство, т. XVIII, 19–28.
6. Akkemik Ünal, Barbaros Yaman (2012) Wood Anatomy of Eastern Mediterranean Species. Kessel Publishing House.
7. Beeckman, H. 2016 Wood anatomy and trait-based ecology. IAWA, 37 (2), 127–151.
8. Carlquist Sh. 2012 How wood evolves: a new synthesis. Botany 90: 901–940, Published by NRC Research Press doi:10.1139/B2012-048
9. Carrer M., G. von Arx, D. Castagneri, G. Petit. (2015) Distilling allometric and environmental information from time series of conduit size: the standardization issue and its relationship to tree hydraulic architecture. Tree Physiology 35, 27–33.
10. Latham R. E., Ricklefs R. E. (1993) Continental Comparisons of Temperate-Zone Tree Species Diversity. University of Chicago Press
11. Van der Graaff N. A., Baas P. (1974) Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. Blumea 22, pp. 101–121/
12. Wheeler, E. A., Baas P., Rodgers S. (2007) Variations In Dicot Wood Anatomy: A Global Analysis Based on the Inside wood Database. IAWA Journal, Volume 28, Issue 3, pp. 229–258.
13. Zanne A. E., Mark Westoby, Daniel S. Falster, David D. Ackerly, Scott R. Loarie, Sarah E. J. Arnold, David A. Coomes. (2010) Angiosperm wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. American Journal of Botany 97(2), pp. 207–215.

УДК 630.812

Г. А. Горбачева,

к. т. н., Академик ИАВС, доцент кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
gorbacheva@bmstu.ru

К. Деглиз,

проф., Академик и экс-Президент ИАВС, Академик Французской Академии сельского хозяйства, ENSTIB/LERMaB, Университет Лотарингии, Нанси, Франция,
xavier.deglise@univ-lorraine.fr

Д. И. Деянов,

магистрант кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
d.dejanov@yandex.ru

С. А. Моисеев,

магистрант кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
rf-baf2@mail.ru

Д. В. Смирнов,

магистр кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
luxsordima1996@gmail.com

В. Г. Санаев,

д. т. н., Академик ИАВС, зав. кафедрой ЛТ8-МФ, директор, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
vgsanaev@bmstu.ru

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФОРМОВОГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ
МИКОЛОГИЧЕСКИ РАЗРУШЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Необходимость решения более сложных, принципиально новых технологических задач в условиях глобального изменения климата создает потребность в разработке новых многофункциональных материалов на основе древесины. Особенности и характеристики древесины как природного умного материала, способность гибко перестраивать свою структуру в ответ на внешние воздействия, позволяют использовать его для создания новых умных биокомпозитных материалов, интеллектуальных систем и сред. Экспериментально исследован многоформовый эффект памяти микологически разрушенной древесины. Показано, что образцы древесины, пораженные бурой трещиноватой, белой волокнистой и пестрой ситовой гнилями, могут запоминать 3 формы, проявлять свойства активно движущегося материала при восстановлении постоянной формы в разных температурных интервалах. Определены показатели ЭПФ (R_{ru} R_f) для диапазонов изменения температуры от 100 до 60 °С и от 60 до 20 °С.

Ключевые слова: умный материал, многоформовый эффект памяти формы, микологически разрушенная древесина, показатели эффекта памяти формы.

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE MULTISHAPE MEMORY EFFECT
OF MYCOLOGICALLY DESTROYED WOOD**

G. A. Gorbacheva,

Candidate of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Associate Professor, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
gorbacheva@bmstu.ru

X. Deglise,

Emeritus Professor, Fellow and former President of IAWS, Full Member of the French Academy of Agriculture, LERMAB/ ENSTIB, University of Lorraine, Nancy, France,
xavier.deglise@univ-lorraine.fr

D. I. Dejanov,

master student, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
d.dejanov@yandex.ru

S. A. Moiseev,

master student, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
rf-baf2@mail.ru

D. V. Smirnov,

master student, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
luxsordima1996@gmail.com

V. G. Sanaev,

Doctor of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Director, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
vgsanaev@bmstu.ru

The need to solve more complex, fundamentally new technological problems in the context of global climate change creates the necessity to develop new multifunctional wood-based materials. The features and characteristics of wood as a natural smart material, the ability to flexibly restructuring its structure in response to external influences, allow to use it to create new smart biocomposite materials, intelligent systems and environments. The multishape memory effect of mycologically destroyed wood has been experimentally investigated. It is shown that wood samples destroyed by brown, white and pocket rots can memorize 3 shapes, exhibit the properties of an actively moving material when restoring a permanent shape in different temperature intervals. The shape memory quantities R_r and R_f were determined for the temperature ranges from 100 to 60 °C and from 60 to 20 °C.

Keywords: smart material, multi-shape memory effect, mycologically destroyed wood, quantities of shape memory effect.

XXI век ознаменован наступлением эры «умных» (smart, intelligent) материалов [1, 2], выполняющих некоторые «интеллектуальные» функции, которые раньше полностью предназначались для программного обеспечения и электронных схем. Несмотря на значительное число работ в области умных материалов, возможности использования древесины как природного умного материала, возобновляемого ресурса, по запасам которого Российская Федерация занимает второе место в мире [3], исследованы не в полной мере.

Необходимость решения более сложных, принципиально новых технологических задач в условиях глобального изменения климата [4] создает потребность в разработке новых многофункциональных материалов на основе древесины. Особенности и характеристики древесины как природного умного материала, обладающего эффектом памяти формы (ЭПФ), способность гибко перестраивать свою структуру в ответ на внешние воздействия, позволяют использовать его для создания новых умных биокomпозитных материалов, интеллектуальных систем и сред [2, 5]. Программируемое механическое воздействие при эффекте памяти формы позволяет получить широкий спектр возможных реакций на изменение условий окружающей среды. Новые способы защиты и модифицирования древесины значительно расширяют возможности традиционного применения древесины не только на Земле, но и в космосе, например, для изготовления деревянных спутников [6]. Киотский Университет и компания Sumitomo Forestry (Япония) планируют впервые в мире запустить деревянный спутник в 2023 г., чтобы снизить затраты на производство и минимизировать вредное влияние на окружающую среду [6].

Ранее было показано, что древесина проявляет многоформовый эффект памяти древесины и может запоминать несколько временных форм [7]. Для исследования многоформового эффекта памяти микологически разрушенной древесины была разработана методика, предусматривающая получение трех различных форм на одном образце (1 постоянная и 2 временные формы) в разных интервалах температуры при влажности древесины выше предела насыщения клеточных стенок (рис.).

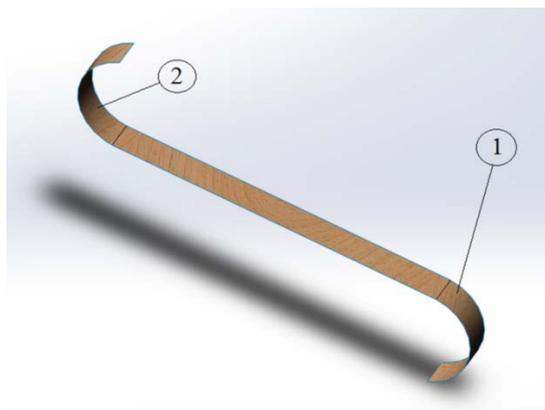


Рис. 3D-модель нагрузки-разгрузки экспериментального образца (3 формы)

Цифрой 1 обозначается форма, получаемая снижением температуры от 100 до 60 °C; цифрой 2 – форма, получаемая снижением температуры от 60 до 20 °C.

Для количественной характеристики ЭПФ древесины были использованы показатели для полимеров R_r (доля обратимых деформаций, которая показывает способность материала запоминать постоянную форму) и R_f (доля фиксированных (сет) деформаций, которая отражает способность запоминать временную форму) на основе модели гигро-термомеханических деформаций Б. Н. Уголева [7, 8].

Известно, что микологическое разрушение древесины является следствием изменения ее компонентного состава. Проведение экспериментальных исследований на образцах древесины, пораженных гнилью, позволяет выявить влияние содержания целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина на деформационное поведение древесины и показатели эффекта памяти.

Показатели при многоформовом ЭПФ были определены для образцов бурой трещиноватой, белой волокнистой и пестрой ситовой гнилей для образцов из древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), дуба (*Quercus* L.) и ели (*Picea* A. Dietr.), соответственно. Размеры образцов составляли 90×2×2 мм. Значения показателей ЭПФ для древесины ели, пораженной пестрой ситовой гнилью, в диапазоне температур 100–60 °С составили $R_f = 0,76$, $R_r = 0,8$, при изменении температуры в интервале 60 – 20 °С $R_f = 0,63$, $R_r = 0,65$. Для древесины сосны, пораженной бурой трещиноватой гнилью в диапазоне температур 100–60 °С $R_f = 0,73$, $R_r = 0,56$, при изменении температуры в интервале 60–20 °С $R_f = 0,69$, $R_r = 0,53$. В работе [9] высказано предположение, что гемицеллюлозы отвечают за механизм фиксации формы (R_f), а лигнин – восстановления формы (R_r). Однако, как следует из полученных результатов, величина показателя R_f для образца бурой трещиноватой гнили, несмотря на значительно большее содержание лигнина [10–12], практически не отличается от показателя для пестрой ситовой гнили. Ранее нами было показано, что образец пестрой ситовой гнили восстановился больше по сравнению с нативной древесиной, несмотря на снижение содержания лигнина [13]. Проведенные экспериментальные исследования ЭПФ нативной древесины методами ИК-спектроскопии (совместно с ИФТТ РАН [14]) и термомеханической спектроскопии (совместно с ИПХФ РАН [15]) показали изменения в аморфных областях целлюлозы, системе водородных связей, трансформацию топологической структуры древесины при переходе от временной формы к постоянной, поэтому необходимы дополнительные исследования для прояснения влияния компонентов клеточной стенки на проявление ЭПФ.

Таким образом, экспериментально получены количественные показатели при многоформовом ЭПФ для образцов бурой трещиноватой, белой волокнистой и пестрой ситовой гнилей. Несмотря на различные типы гниения и изменения компонентного состава клеточной стенки, микологически разрушенная древесина способна запоминать 2 временные формы, восстанавливать постоянную форму и проявлять свойства активно движущегося материала при восстановлении постоянной формы в разных температурных интервалах. Результаты работы будут использованы для создания новых биоразлагаемых многофункциональных материалов, способных работать в условиях переменной температуры и влажности.

Исследования были выполнены в рамках Договора о научном и академическом сотрудничестве между ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)» и Университетом Лотарингии (г. Нанси, Франция).

Исследования проводились в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)».

Список литературы

1. Takagi T. A Concept of Intelligent Materials // Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1990, 1(2). P. 149–156.
2. Ugolev B. N. Wood as a natural smart material // Wood Science and Technology. 2014. 48(3). P. 553–568.
3. FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
4. Deglise X. «Ecological management» of forests and wood products // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2017. Vol. 21, № 4. P. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
5. Gorbacheva G. Wood as a Smart Material for Smart Buildings // 2021 6th International Conference on Building Materials and Construction, 2021 International Civil Engineering and Architecture Conference, 2021 9th International Conference on Manufacturing Engineering and Processes, WEB Conference during March 11–14, 2021. Singapore, 2021. P. 11–12.
6. World's first wooden satellite to be launched by Japan in 2023 <https://asia.nikkei.com/Business/Science/World-s-first-wooden-satellite-to-be-launched-by-Japan-in-2023>.
7. Уголев Б. Н., Горбачева Г. А., Белковский С. Ю. Многоформовый эффект памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. Т. 18, № 2. С. 62–65.
8. Уголев Б. Н., Галкин В. П., Горбачева Г. А., Калинина А. А., Белковский С. Ю. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 7. С. 124–126.
9. Plaza N., Zelinka S. L., Stone D. S., Jakes J. E. Plant-based torsional actuator with memory // Smart Materials and Structures, 2013, 22 (7), 072001. doi:10.1088/0964-1726/22/7/072001.

10. Азаров В. И., Кононов Г. Н., Горячев Н. Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Научные труды МГУЛ. Вып. 358. М., 2012. С. 126–131.
11. Ванин С. И. Древесиноведение. Ленинград : Гослестехиздат, 1940. 460 с.
12. Кононов Г. Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М. : МГУЛ, 2002. 259 с.
13. Горбачева Г. А., Уголев Б. Н., Санаев В. Г., Тарасов М. В., Смирнов Д. В., Морозова А. И. Экспериментальное исследование показателей эффекта памяти формы микологически разрушенной древесины // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : сб. науч. трудов III Междунар. науч.-техн. конф. / отв. ред. С. А. Угрюмов, Т. Н. Вахнина, А. А. Титунин. Кострома : КГТУ, 2015. С. 9–12.
14. Уголев Б. Н., Галкин В. П., Горбачева Г. А., Баженов А. В. Влажностные и силовые деформации древесины // Материалы всерос. конф. «Дендрэкология и лесоведение». Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. С. 163–165.
15. Gorbacheva G. A., Olkhov Yu. A., Ugolev B. N., Belkovskiy S. Yu. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood. Proceedings 57th International Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products». 2014. Zvolen, Slovakia. P. 187–195.

УДК 630.8

X. Deglise,

Emeritus Professor, Fellow and former President of IAWS, Full Member of the French Academy of Agriculture, LERMAB/ ENSTIB, University of Lorraine, Nancy, France,
xavier.deglise@univ-lorraine.fr

G. A. Gorbacheva,

Candidate of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Associate Professor, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
gorbacheva@bmstu.ru

V. G. Sanaev,

Doctor of Technical Sciences, Fellow of IAWS, Director, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russian Federation,
vgsanaev@bmstu.ru

BACK TO THE FUTURE OF WOOD – RETURN OF WOOD ERA

At the beginning of Mankind, wood was the only resource to fulfill the housing and energy needs of the population. After numerous successive periods we are now in the worst situation that we have ever known, with global warming which endangers our life on earth! In this paper we will show that to solve the problem of global warming we need to return to wood Era by using more wood in the construction of houses and buildings and more wood for energy without too much drawbacks like resources and pollution!

Keywords: forest, wood material, building, wood energy, wastes.

К. Деглиз,

проф., Академик и экс-президент ИАВС, Академик Французской Академии сельского хозяйства, ENSTIB/LERMaB, Университет Лотарингии, Нанси, Франция,
xavier.deglise@univ-lorraine.fr

Г. А. Горбачева,

к. т. н., Академик ИАВС, доцент кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
gorbacheva@bmstu.ru

В. Г. Санаев,

д. т. н., Академик ИАВС, зав. кафедрой ЛТ8-МФ, директор, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
vgsanaev@bmstu.ru

НАЗАД В БУДУЩЕЕ – ВОЗВРАЩЕНИЕ ЭПОХИ ДРЕВЕСИНЫ

На заре человечества древесина была единственным ресурсом для удовлетворения жилищных и энергетических потребностей населения. После нескольких последовательных периодов мы оказались в худшей ситуации, которую мы когда-либо знали, с глобальным потеплением, которое ставит под угрозу нашу жизнь на Земле! В этой статье мы покажем, что для решения проблемы глобального потепления нам необходимо вернуться в эру древесины, используя больше древесины для строительства домов и зданий, для производства энергии без особых недостатков, таких как уменьшение ресурсов и загрязнение!

Ключевые слова: лес, древесный материал, строительство, древесина как источник энергии, отходы.

Introduction

There are many attempts to bring order into human history by defining «ages» or periods with common activities and behavior. The last attempt which is finally commonly accepted defines three different ages, Stone Age, from Paleolithic to Neolithic, Bronze Age divided in Copper Age and Bronze Age, Iron Age, from 1000 BC to now, where this age is Steel Age. Here we are defining differently with humor, a wood age, like the creationists, when Adam and Eve were fired from Paradise and where obliged to find a shelter and some heat! It was the beginning of using wood for construction and energy. Later we were using stones and now concrete and steel. Wood for energy was replaced by coal and petroleum. Now we are coming back to wood as a material and as a source of energy [1, 2]. For sure it's not a serious shortcut, nevertheless it's not too far from the reality! Aim of this study is to present why and how we are returning to wood!

Global Warming and solutions to stabilize or reduce it!

We have directly but mainly indirectly measured an increasing of CO₂ emissions, with a sharp increase since 2000.

There is a very good correlation between mean earth temperature and CO₂ concentration shown in the Fig. 1.

Warming is caused by increasing concentrations of greenhouse gases (GHG: CO₂ + CH₄) produced by human (and cattle!) activities:

- burning of fossil fuels and agriculture
- deforestation (~ 25 % of total CO₂ including forest fires!)
- permafrost thawing (~ 50 % fossil fuels perhaps more) which is a real problem in Siberia.

The main contributors are China and USA and some countries like Japan and Germany which have stopped the production of electricity by Nuclear power plants. We must point out that USA will probably decrease its CO₂ coming back to the Paris agreement setting out, in 2015, a global framework to avoid dangerous climate change by limiting global warming to well below 2 °C and pursuing efforts to limit it to 1.5 °C!

It's absolutely necessary to reduce and trap the GHG emissions to reach this objective. There are 4 main strategies of Carbon sequestration are:

- Sequestering carbon dioxide in second-growth forests
- Sequestering carbon (dioxide) in forest products.
- Substituting for non-renewable raw materials.
- Substituting for non-renewable energy.

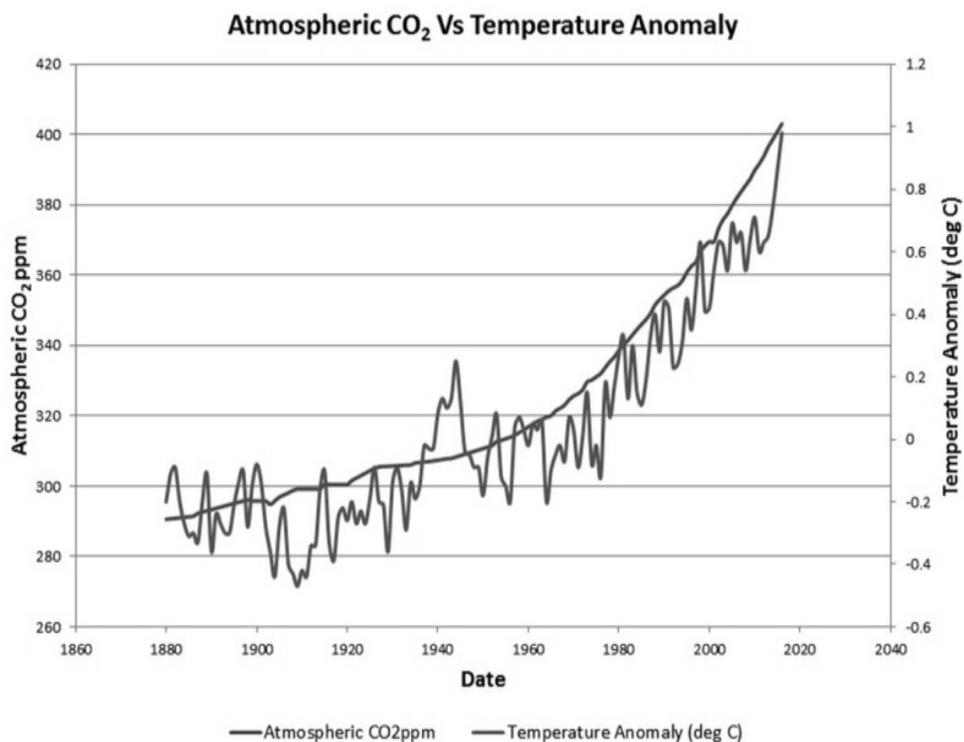


Fig. 1. Atmospheric CO₂ Vs Temperature Anomaly [3]

1 – *Sequestering carbon dioxide in second-growth forests* (Carbon sink) is possible by extension of the resource, increasing the productivity, limiting harvesting to the biological production, reducing losses in forests by protection against fire and insects (Beetle killed Lodgepole Pine is 15–17 million ha in British Columbia) and new silvicultural approach.

Natural Forests (old-growth or primary), without management, are Carbon Stock and not Carbon Sink. Secondary Forests (second-growth forests), harvested with management plan are initially a Carbon stock and then Carbon sink.

Temperate forest, managed and harvested sequester, in vegetation and soil, around 3 tons C ha⁻¹.year⁻¹, boreal forest, 2 tons C ha⁻¹.year⁻¹ and tropical forest, managed and harvested around 5 tons C ha⁻¹.year⁻¹.

2 – *Sequestering carbon in forest products*

This sequestration accounts for only 10%* of the CO₂ sequestration by Forests [4] and occurs in sawn wood, engineered wood products (EWP), boards, furniture, paper, cardboard until end of life ...the latest possible.

Increasing the durability of the forest products by wood protection contributes to the sequestration of carbon.

In fact the main forest products are in buildings where Engineered Wood Products (CLT, Glulam, LVL...) manufacturing uses much less energy than in building with concrete, steel... and avoids the emissions of GHG (CO₂). The wood buildings have a lower carbon footprint [5,6].

The manufacture of concrete and steel accounts for 8 % of annual GHG in the world.

Buildings have a strong effect on the environment: 60 % of global resources consumption, 50 % of global waste production, 35 % of global energy consumption and 35 % of global CO₂ emissions. Up to 10 % of annual global carbon emissions are stored in wood buildings.

Carbon remaining locked inside wood products, for a long time it's Carbon Stock, becoming Carbon Sink with the increase in wood construction (5–10 %/ year) in many countries, actually!

There are other benefits to build with wood:

– Timber-based buildings take less time to build with prefabricated mass timber panels and beams. Smaller crews assemble structures more safely and quickly, saving time and money.

– The greatest amounts of wood are used in mid-rise buildings (4 to 10 stories: residential apartments, commercial buildings and hotels; any new building, extension, additional story); not in high-rise buildings.

– Wood is healthy by its presence, scent and touch and has positive effects on people's wellbeing, stress levels, blood pressure, communication, learning and healing.

And most important remark, EWP (Engineered Wood Products) use smaller pieces of wood. It's better for CO₂ sequestration by forests because lumbers will come from reforestation with smaller trees which grow faster in few decades! Carbon sink is increasing!

But there are some drawbacks:

– combustibility. It's more challenging for multi-story buildings. In comparison to steel, glass or concrete, wood needs a special protection or treatment to improve its fire resistance.

– high moisture level supports the biological degradation and humidity changes induce dimensional variations. Moisture protection is necessary.

Another drawback coming from the success of wood construction is the procurement and prices which are actually increasing too fast.

3 – *Substituting for non-renewable raw materials and “chemicals”.*

Wood based materials replacing concrete, PVC, aluminum, etc. will reduce carbon emissions (Fig. 2).

Chemicals, polymers ...coming from Wood Bio-Refinery show reduced emissions of CO₂ in manufacturing to compare with oil based products!

4 – *Substituting for non-renewable energy.*

Assuming carbon neutrality Fuel wood from sustainable sources replaces non-renewable energy sources, to reduce carbon emissions!

Fuel wood is 50 % of the renewable energy in Europe and comes from clean wood from stems (50 %), residues (50 %) from harvest operations (branches, foliage, roots, etc.) end of life wood coming from the cascaded use of wood (firstly wood-based products, secondly recovered and reused or recycled and finally used for energy), industry residues and black liquor.

Recently most of the countries from the northern Hemisphere are trying to reduce the use of Fuel wood for Health problems. In France it will be decided to recommend to divide the use of Fuel wood by 2! There is also a campaign to ban the use of wood to replace coal in Power plants.

Since the early 80's there is a development of Bio Fuels, mainly through Thermo chemical processes, which could replace Fuel wood.

Embodied Energy: sum of all the energy required to produce the material (energy content)

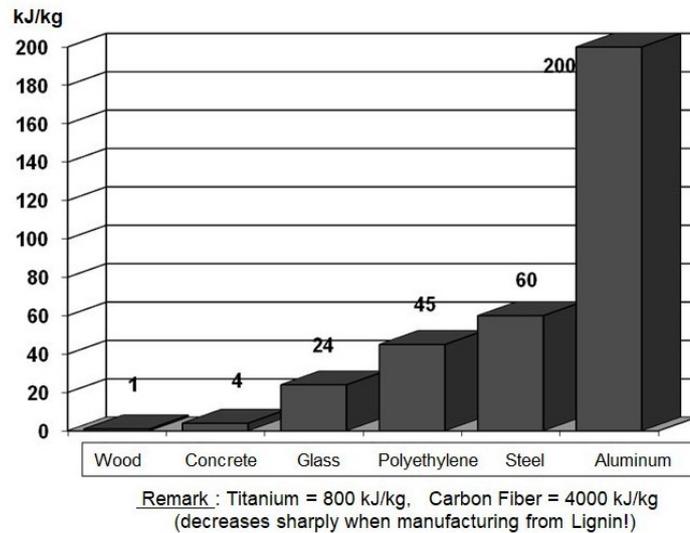


Fig. 2. Embodied (or manufacturing) Energy of Materials [7]

Many possibilities exist to upgrade Fuel wood into bio fuels, gaseous like Hydrogen, liquids or solids (Fig. 3) [8]. At the same time there is a trend to mix wood with MSW (Municipal Solid Wastes).

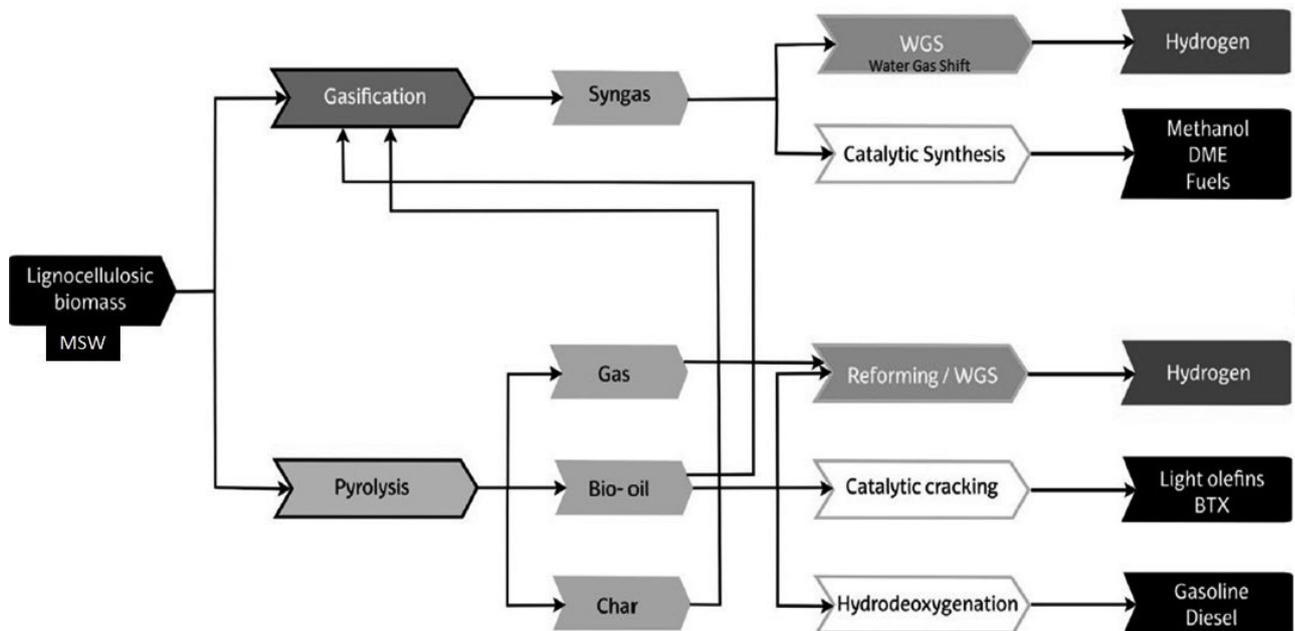


Fig. 3. Schematic representation of the main processes involved in a lignocellulosic thermochemical bio-refinery [8]

There is indeed a big problem with MSW which are either incinerated or land filled with environmental drawbacks. It's better to try to upgrade them in renewable Energy. It will be interesting, namely for Russia [9].

Conclusions

Numerous solutions are existing to fight the global warming, among them, forests and wood are probably the best, taking in account that forests are the most efficient carbon sink when they are properly managed in a sustainable way. Forest Products accounting for only 10 % of Carbon sequestration but they are necessary to help in managing forests! Without them it won't be possible to make forests a real Carbon Sink!

Acknowledgement

The presentation was prepared in the frame of the MOU between Bauman Moscow State Technical University (BMSTU) and University of Lorraine (UL).

References

1. Deglise X. «Ecological management» of forests and wood products // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2017, Vol. 21, № 4. P. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.
2. Gorbacheva G. A., Sanaev V. G. Wood Science for the Architecture: From Tradition to the Future // Proceedings of the annual meeting of the IAWS «50 Years International Academy of Wood Science – Wood Science for the Future». Paris. 2016. P. 54.
3. Chadwic A., Williamson P. URL: <https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/July-2015/Steps-and-cycles> (дата обращения: 23.03.2021).
4. Deroubaix G. Forest and wood products assets for climate change Mitigation: prospects for maximizing their effects // 2021 World Wood Day Virtual Symposium & The 3rd IUFRO Forest Products Culture Colloquium. 2021. P. 11–12.
5. Churkina G., Organschi A., Reyer C. P. O. et al. Buildings as a global carbon sink // Nature Sustainability, 2020, Vol. 3. P. 269–276. URL: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>.
6. Amiri A., Ottelin J., Sorvari J., Seppo Junnila S. Cities as carbon sinks – classification of wooden buildings // Environmental Research Letters. 2020. 15. 094076. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aba134/pdf> (дата обращения: 23.03.2021).
7. Deglise X. Le bois un matériau de construction durable // Conférence Olympiades de la chimie / ENSIC, 12th January 2005.
8. Arregi A., Amutio M., Lopez G., Bilbao J., Olazar M. Evaluation of thermochemical routes for hydrogen production from biomass: A review // Energy Conversion and Management. 2018, Vol. 165. P. 696–719. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.089>.
9. Kovalenko K., Kovalenko N. The problem of waste in the Russian Federation // MATEC Web of Conferences 2018, 193, 02030. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819302030>.

УДК 630.812:582.632.1

С. Г. Елисеев,

к. т. н., доцент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
eliseevsg@sibsau.ru

В. Н. Ермолин,

д. т. н., зав. кафедрой ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
vnermolin@yandex.ru

А. В. Намятов,

ассистент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
namyatov2010@yandex.ru

Е. В. Митина,

лаборант кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
eugeniya.mitina@yandex.ru

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ *BETULA PUBESCENS* И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ

*Проницаемость для жидкостей и газов является одной из важных физических характеристик древесины. На проницаемость древесины оказывают влияние анатомические и физиологические особенности древесных пород и наличие либо отсутствие пороков древесины. Одним из распространенных пороков древесины, влияющих на ее проницаемость, является побурение. В представленной работе проведены исследования влияния побурения древесины на проницаемость древесины *Betula pubescens*. Полученные данные свидетельствуют о резком снижении проницаемости березовой древесины пораженной побурением. Снижение проницаемости отмечено во всех структурных направлениях.*

Ключевые слова: *древесина, береза, проницаемость, пороки древесины, раневая реакция, побурение.*

S. G. Eliseev,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of TCMD, “Reshetnev Siberian State University of Science and Technology”, Krasnoyarsk, Russia,
eliseevsg@sibsau.ru

V. N. Yermolin,

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of TCMD, “Reshetnev Siberian State University of Science and Technology”, Krasnoyarsk, Russia,
vnermolin@yandex.ru

A. V. Namyatov,

Assistant of the Department of TCMD, “Reshetnev Siberian State University of Science and Technology”, Krasnoyarsk, Russia, namyatov2010@yandex.ru

E. V. Mitina,

laboratory assistant of the Department TCMD, “Reshetnev Siberian State University of Science and Technology”, Krasnoyarsk, Russia, eugeniya.mitina@yandex.ru

BETULA PUBESCENS WOOD PERMEABILITY AND ITS CHANGE

Liquid and gas penetrability is one of the basic physical properties of wood. The penetrability of wood is influenced by the anatomic and physiological properties of wood species and the presence or absence of flaws in the wood. One of the common flaws that affect the penetrability of wood is brown streak. This paper presents the research of the effect made by the brown streak on the penetrability of Betula pubescens wood. The collected data prove the sharp reduction of penetrability in the birch wood affected by brown streak. The reduction of penetrability was found in all structural aspects.

Keywords: wood, birch wood, penetrability, wood flaws, wound reaction, brown streak.

Проницаемость древесины для жидкостей и газов является одной из важных физических характеристик. Во многих случаях именно это свойство определяет принципиальную возможность использования древесины в конкретной производственной технологии. Так, естественная проницаемость древесины является определяющей для всех методов модификации древесины основанных на введении реагентов, определяет эффективность технологий химической переработки древесины, где скорость проникновения реагента в древесину лимитирует продолжительность процесса химической переработки и т. д. [1, 2].

Проницаемость древесины определяется как анатомическими и физиологическими особенностями конкретной древесной породы, так и наличием либо отсутствием ряда специфических пороков древесины, существенно влияющих на ее проницаемость, таких например, как ложное ядро, побурение, креневая и тяговая древесина, засмолок и др.

Побурение, один из широко распространенных пороков древесины лиственных пород, активно развивающийся в свежесрубленной древесине в теплое время года в процессе ее хранения [3]. При медленном отмирании заболони лиственной древесины в ней происходит раневая реакция, следствием которой является побурение. Сущность раневой реакции заключается в постепенном отмирании живых паренхимных клеток с образованием окрашенных гуммиподобных раневых веществ. Раневая реакция направлена на защиту живых участков древесины от высыхания или поражения грибами [4, 5].

Непременным атрибутом протекания раневой реакции в древесине и формирования побурения являются наличие в ней живых древесных клеток. Как известно, живые древесные клетки у ядровых и спелодревесных пород содержатся только в периферической части ствола и лишь у заболонных пород они располагаются по всему сечению ствола.

Учитывая то, что побурение не только изменяет внешний вид древесины, но и оказывает влияние на ее естественную проницаемость, было решено оценить уровень влияния побурения на проницаемость древесины заболонных пород на примере *Betula pubescens*.

Для проведения экспериментальных исследований из 3-х свежееизготовленных круглых лесоматериалов *Betula pubescens* были изготовлены 6 кряжей длиной 1,0 м и диаметром в верхнем торце от 26 до 32 см.

Кряжи были разделены на две группы. Первая группа кряжей в количестве 3 шт. (по одному от каждого лесоматериала) для гарантированного формирования побурения древесины после многослойной гидроизоляции торцов и мест повреждения коры, была помещена на стеллажи, где хранилась в течение 60 дней при температуре 22 °С.

Три кряжа второй группы были распилены по радиусу на 4 секции и помещены в сушильную камеру, где сушились при мягких режимах ($t = +40$ °С) до влажности 12 %.

После выдержки в течение 60 дней образцы первой группы также были распилены по радиусу на 4 секции и высушены в сушильной камере при аналогичной температуре и режимах.

При этом все образцы древесины имели характерные признаки побурения с практически равномерным распределением окраски по всему сечению кряжа.

Из подготовленной описанными выше способами древесины были изготовлены образцы для определения газопроницаемости. Исследование газопроницаемости проводилось с учетом стандартной методики, регламентированной ГОСТ 16483.34–77. Отличительной особенностью применяемой в исследовании методики являлось использование образцов нестандартной – прямоугольной формы и нестандартной струбцины для их фиксации.

Для определения поперечной проницаемости в радиальном и тангенциальном направлении изготавливались образцы прямоугольной формы размерами в мм 55×35×15 соответственно: высота

(вдоль волокон) × ширина × толщина. Для определения газопроницаемости вдоль волокон использовались образцы размерами в мм 55×35×200 (последний размер вдоль волокон). Образцы зажимались в стальной струбине с резиновыми прокладками. Боковые поверхности образцов (за исключением испытываемых) изолировались нанесением двух слоев краски ПФ-115 и двух слоев силиконового герметика. Влажность образцов в момент испытания составляла 12 %. Испытания проводились при давлении 0,5 МПа. Критерием оценки проницаемости испытываемой древесины являлся коэффициент газопроницаемости (K , м³/с·МПа). Результаты исследований приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Газопроницаемость древесины березы

Структурное направление	Количество испытанных образцов, шт.	Среднее значение коэффициента газопроницаемости, м ³ /с·МПа · 10 ⁻⁶
Первая группа образцов (древесина с побурением)		
вдоль волокон	15	586,08 ± 18,05
радиальное	15	0,44 ± 0,021
тангенциальное	15	0,48 ± 0,022
Вторая группа образцов (контроль)		
вдоль волокон	15	1328,78 ± 28,09
радиальное	15	2,54 ± 0,084
тангенциальное	15	1,47 ± 0,065

Из представленных в таблице и на рисунке данных видно, что раневая реакция вызывает значительное снижение газопроницаемости древесины. Так, в продольном направлении проницаемость древесины с побурением оказалась в 2,3 раза ниже в сравнении с контрольными образцами. В тангенциальном направлении было отмечено трехкратное снижение проницаемости. А наиболее резкое снижение проницаемости наблюдалось в радиальном направлении почти в 6 раз ниже, чем у древесины без побурения.

Помимо этого, была отмечена следующая особенность. В контрольной древесине (не имевшей побурения) показатели проницаемости в радиальном направлении были в 1,7 раза выше тангенциального.

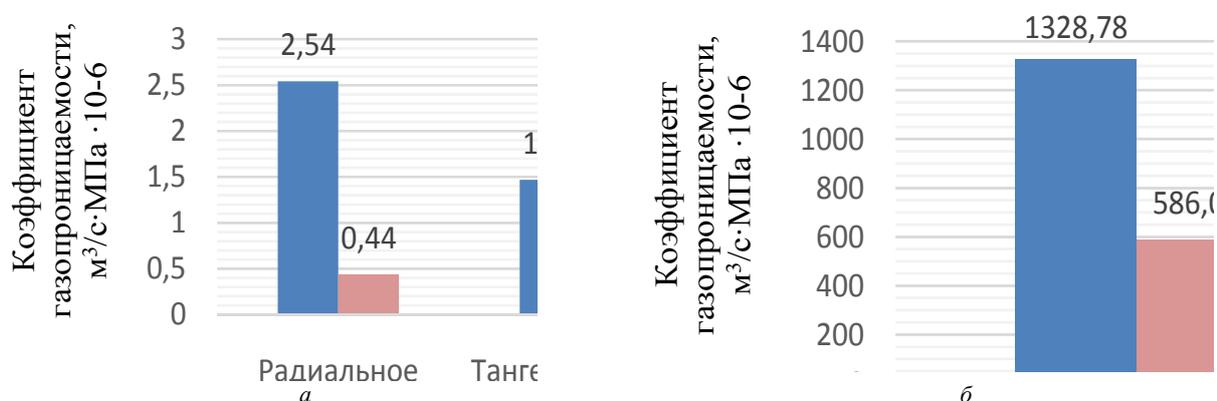


Рис. Проницаемость древесины березы: а – поперек волокон; б – вдоль волокон

Полученные данные согласуются и с результатами исследований, представленными в работе [6]. В то время как у древесины с побурением отмечается не только резкое снижение поперечной проницаемости, но и изменение ее соотношения по направлениям. Установлено, что у такой древесины проницаемость в тангенциальном направлении на 9,1 % выше радиальной.

Учитывая полученные экспериментальные данные можно сделать следующие выводы:

- раневая реакция древесных клеток резко снижает проницаемость древесины березы по всем структурным направлениям, что чаще всего является отрицательным фактором при использовании березовой древесины;
- наиболее резкое снижение проницаемости отмечается в радиальном направлении;
- высушивание свежераспиленных пиломатериалов позволяет в полной мере сохранить естественную проницаемость березовой древесины, поскольку предотвращает возможность развития раневой реакции и формирования побурения.

Список литературы

1. Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1954. 338 с.

2. Ермолин В.Н. Основы повышения проницаемости жидкостями древесины хвойных пород: моногр. Красноярск : СибГТУ, 1999. 100 с.
3. Чураков Б.П., Чураков Д.Б., Лесная фитопатология. СПб. : Лань, 2012. 448 с.
4. Вакин, А.Т., Полуобяринов О.И., Соловьев В.А. Пороки древесины. М. : Лесная промышленность, 1980. 112 с.
5. Соловьев, В.А. Дыхательный газообмен древесины. Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. 300 с.
6. Цыбулько И.С., Елисеев С.Г., Ермолин В.Н. Газопроницаемость древесины березы // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения, 2012, № 1. С. 164 –167.

УДК 674

Le Duong Hung Anh

Ph.D. student, Doctoral School of Wood Sciences and Technologies, University of Sopron, Sopron, Hungary
duong.hung.anh.le@phd.uni-sopron.hu

Pásztor Zoltán

Doctor, Head of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary
pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF RAW COCONUT FIBERS

The high energy consumption in building is a major contributor to climate change and atmosphere pollution worldwide. Insulation materials derived from natural fibers are an excellent alternative to reduce the energy demand due to their low cost, low environmental impacts during the production stage and high bio-degradation rate at the end of life. This paper presents the potential of coconut fibers for building application by investigating their thermal conductivity over the temperature range of -10°C to 50°C. Test data showed the thermal conductivity values were between 0.0379 W/(m.K) and 0.0665 W/(m.K) and that is lower than other conventional and natural fiber materials. Furthermore, the λ -values increased with an increase in mean temperature both case of 30 mm and 50 mm thickness. Finally, the relationship between thermal conductivity and mean temperature expressed by fitting data to a polynomial function.

Keywords: thermal conductivity, coconut fiber, mean temperature, thermal dependence

Introduction

Since the energy consumption of buildings accounts for a considerable part of the global total energy, there is a strong demand to improve the energy efficiency in buildings and constructions. According to Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010, on the energy performance of buildings, new construction will have to consume nearly zero energy and that energy will be to a very large extent from renewable resources [Parliament, 2010]. This is because the construction sector has been identified as the largest energy consumer, generating up to 1/3 of global annual greenhouse gas emissions, contributing up to 40% of the global energy, and consuming of 25 % of the global water worldwide [Lemmet, 2009]. The increased consumption of natural resources for lighting, refrigeration, ventilation, recycling, heating and cooling system in commercial buildings due to the acceleration of urbanization, results in the enormous expenditure for used energy. Energy expenditure in buildings can be considerably reduced with the use of natural fibrous insulation materials. Natural fibers such as coconut fiber, sugarcane fiber, cotton, rice straw and others consist of lignocelluloses fibers are promising alternatives for use as biodegradable, renewable, and environmentally friendly building thermal insulation. Natural fibers are also increasing use as insulating materials, again mainly because of perceived superior environmental credentials compared with other traditional insulation materials. The most beneficial effect of the insulation based natural fibers is not only its low value of thermal conductivity but also the natural character of these fibers. Another advantage is that it is a renewable material which has no strong impact on the environment and health. When compared with conventional materials such as foam polystyrene or mineral wool, they have sometimes even better thermal performances. Some disadvantages are their high wettability and absorbability due to their open pore structure as well as being flammable. Besides, they are easily attacked by biological fungi and parasites [Zach et. al., 2013]. Nevertheless, they can be used as a potential insulation material in construction if they are modified properly by some physical or chemical treatments.

Coconut fiber is extracted from the husk of coconuts, is cheap and locally available in many tropical and semitropical countries. The common name, scientific name and plant family of coconut fibre is coir, *cocos nucifera* and *arecaceae* (Palm), respectively [Ali et. al., 2012]. The general advantages of coconut fibre include moth-proof; resistant to fungi and rot, provide excellent insulation against temperature and sound, flame-retardant, unaffected by moisture and dampness, tough and durable, resilient, spring back to shape even after

constant use. Coconut fibre is the toughest fibre (21.5 MPa) amongst natural fibres [Munawar et. al., 2007]. They also contain a central hollow portion that runs along the fiber axis, so it can be used in acoustic and thermal insulation materials where its reduced bulk density and lightweight properties are advantageous. Currently, coconut fiber is widely used in boards, roofing materials, concrete, and other building materials [Ali et al., 2012, Lertwattanaruk and Suntijitto, 2015, Asasutjarit et. al., 2007]. A detailed review on the thermal properties and water absorption of coconut fibers and its comparison with other natural fibers such as jute, flax, and sisal fibers were reported. Not only the physical, chemical, and mechanical properties of coconut fibers were investigated, but also properties of composites (cement pastes, mortar and/or concrete, etc.) in which coconut fibers were used as reinforcement, were discussed [KONGKAEW, 2016, Naidu et. al., 2017, Saw et. al., 2014, Hasan et. al., 2021, Hasan et. al., 2021, Ali, 2011, Bui et. al., 2020]. Some collected data were shown in table 1.

Table 1

Chemical, Physical, and Mechanical compositions

Components	Results
Cellulose, %	36–43
Hemicellulose, %	20
Lignin, %	41–45
Diameter, μm	200 ± 10
Moisture content, %	13.68 ± 0.05 [Suardana et. al., 2011]
Density, g/cm^3	1.25–1.5
Tensile strength, MPa	105–175
Young's Modulus, MPa	4–6
Thermal conductivity, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	0.046–0.068 [Panyakaew and Fotios, 2011]

In terms of thermal conductivity of natural fibers, some studies revealed the potential use of these fibers in civil engineering as a thermal construction material which can reduce the environmental impacts. Manohar tests of thermal conductivity of coconut fiber at different densities were conducted at two mean temperatures [Manohar, 2012]. Experimental results showed the thermal conductivity decreased from 0.056 to 0.049 at 15.6 °C and from 0.0576 to 0.05 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ at 21.8 °C with an increase in mean temperature and decreasing when the density increase from 40 to 90 kg/m^3 . Other authors conducted the water absorption of raw coconut fibers over the time and showed the relationship between thermal conductivity and density of fibers. They also documented the decreased thermal conductivity when the density increased from 30 to 120 kg/m^3 and the values were quite low (the lowest value is 0.024 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) to be considered as a potential composition for the reinforcement insulation material [Bui et al., 2020]. Temperature is an important factor affecting thermal properties of natural fibrous materials. Higher temperature is always related to higher thermal conductivity values [Abdou and Budaiwi, 2013].

The aim of the present study is to investigate the thermal conductivity of raw coconut fibers. Two tested samples with 30 mm and 50 mm thickness were produced and studied how the thermal conductivity values change at various mean temperatures. The relationship between thermal conductivity values and mean temperature was also expressed from the practical experiments.

Materials and Methods

Preparation of coconut fibers

Coconut fibers used in this present study were collected from coconut husk in Vietnam. The length of fibers is 12–15 mm and the diameter are about 0.89 ± 0.04 mm. The fibers were washed with water in order to eliminate the pollutant particles until the water is clean, they are then dried: firstly being sun dried for two days and then further oven dried at 103 °C in 24 hours until reaching constant weight.

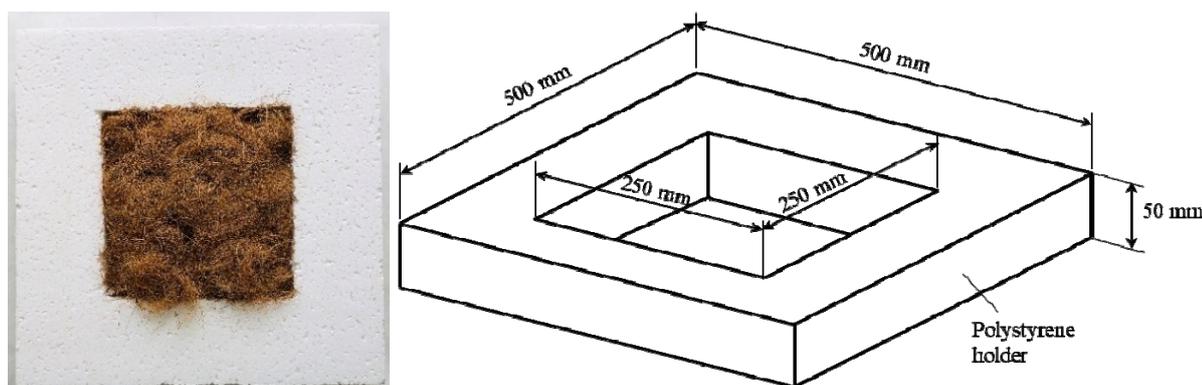


Fig. 1. Tested sample and schematic of polystyrene specimen holder

Methods

Thermal conductivity

Thermal conductivity of dry samples was measured across the thickness in accordance with ASTM C518, standard test method for steady-state heat transfer by means of heat flow meter apparatus at Innovation Center, University of Sopron. The λ -value was conducted on 30 mm and 50 mm thickness with dimension 250×250 mm. The tested specimen was placed in a polystyrene specimen holder with dimension 500×500 mm to ensure the one-dimensional heat flow over the metered area.

Thermal dependence

The thermal dependence in thermal conductivity values were measured in the temperature ranges of -10 to 50 °C at 10 °C temperature difference between the hot and cold sizes.

Results and Discussion

Thermal conductivity

The main role of thermal insulation materials in a building envelope is to prevent heat loss and provide thermal comfort for the occupants of a building. The thermal performance of a building envelope depends to a great extent on the thermal effectiveness of the insulation layer which is mainly determined by its thermal conductivity. This is the time rate of steady-state heat flow through a unit area of a homogeneous material in a direction perpendicular to its isothermal planes, induced by a unit temperature difference across the sample [C168, 2013]. According to the DIN 4108, “Thermal insulation and energy economy in buildings”, materials with a λ -value lower 0.1 W/(m·K) may be classed as thermal insulating materials. Most insulating materials with thermal conductivity ranging from 0.03 to 0.05 W/(m·K) can be regarded as good [Jelle, 2011, Pfundstein et. al., 2012]. The thermal conductivity of coconut fibers at 50 mm and 30 mm thickness measured at dry state is 0.057 ± 0.001 W/(m·K) and 0.041 ± 0.0008 W/(m·K), respectively. These values come from the contribution of both air and pure fiber solid material. A comparison between the thermal conductivity of coconut fibers with other natural fibrous insulation is presented in table 2.

Table 2

Thermal conductivity of raw coconut fiber in the present study compares with other insulation materials

Materials	Density, kg/m ³	Thermal conductivity, W/(m.K)	Source
Present study	33	0.0476–0.0665	
	50	0.0375–0.0467	
Coconut fiber	40–90	0.058–0.05	[Manohar et. al., 2006]
Sugarcane fiber	70–120	0.051–0.049	[Manohar et al., 2006]
Oil palm fiber	20–120	0.095–0.058	[Manohar, 2012]
Cotton fiber	20–60	0.04	[Pfundstein et al., 2012]
Hemp fiber	36.2	0.052	[Volf et. al., 2015]
Wood fiber	51.5	0.048	[Volf et al., 2015]
Flax fiber	27	0.052	[Volf et al., 2015]
Sheep wool	29.7	0.062	[Volf et al., 2015]

Thermal dependence

Uncertainty in thermal conductivity values of coconut fibers and the thermal dependence over the temperature range of -10 to 50 °C was shown in figure 2.

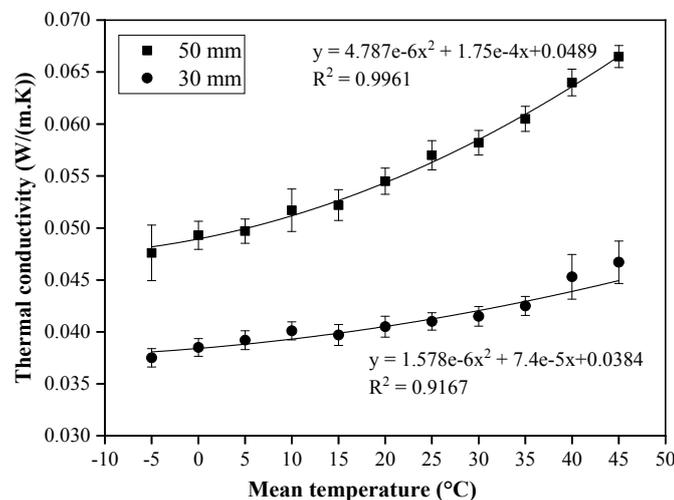


Fig. 2. Thermal conductivity as function of mean temperature

It can be observed that higher mean temperature is always associated with higher thermal conductivity values. The percentage changes of thermal conductivities at 40 °C and 45 °C showed a higher ratio than others mean temperatures. According to the results, the relationship between λ -values and mean temperature can be expressed as a polynomial function with a high correlation coefficient.

Conclusions

The thermal conductivity of raw coconut fibers and the influence of temperature on λ -values have been experimentally investigated. Results showed the low thermal conductivity with low density of tested samples and the values increased when the mean temperature increased from -10 to 50 °C. A relationship between thermal conductivity values and mean temperatures was established and the data was fit by a nonlinear increase. It can be stated that higher operating temperature is always associated with higher thermal conductivity for all thicknesses. A comparison of the thermal conductivity of coconut fiber with other natural fibers was also shown in the study and based on the experimental results, it can be said that coconut fibers have excellent potential for building insulation materials.

Acknowledgments

This article was made in frame of the “EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – Improving the role of research + development + innovation in the higher education through institutional developments assisting intelligent specialization in Sopron and Szombathely”.

References

1. Parliament, E. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official J.Eur.Communities. Chapter 12 Volume 003 (2010): pp. 124–146.
2. Lemmet, S. Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers. UNEP SBCI. (2009): pp.
3. Zach, J., Hroudová, J., Brožovský, J., Krejza, Z. and Gailius, A. Development of thermal insulating materials on natural base for thermal insulation systems. *Procedia Engineering*. 57 (2013): pp. 1288-1294.
4. Ali, M., Liu, A., Sou, H. and Chouw, N. Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 30 (2012): pp. 814-825.
5. Munawar, S. S., Umemura, K. and Kawai, S. Characterization of the morphological, physical, and mechanical properties of seven nonwood plant fiber bundles. *Journal of Wood Science*. 53(2) (2007): pp. 108-113.
6. Lertwattanaruk, P. and Suntijitto, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. *Construction and Building Materials*. 94 (2015): pp. 664-669.
7. Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B. and Shin, U. C. Development of coconut coir-based lightweight cement board. *Construction and Building Materials*. 21(2) (2007): pp. 277-288.
8. KONGKAEW, P. MECHANICAL PROPERTIES OF BANANA AND COCONUT FIBERS REINFORCED EPOXY POLYMER MATRIX COMPOSITES. (2016).
9. Naidu, A. L., Jagadeesh, V. and Bahubalendruni, M. R. A review on chemical and physical properties of natural fiber reinforced composites. *Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 8(1) (2017): pp. 56-68.
10. Saw, S. K., Akhtar, K., Yadav, N. and Singh, A. K. Hybrid Composites Made from Jute/Coir Fibers: Water Absorption, Thickness Swelling, Density, Morphology, and Mechanical Properties. *Journal of Natural Fibers*. 11(1) (2014): pp. 39-53.
11. Hasan, K. F., Horváth, P. G., Bak, M. and Alpár, T. A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites. *RSC Advances*. 11(18) (2021): pp. 10548-10571.
12. Hasan, K. F., Horváth, P. G., Kóczán, Z. and Alpár, T. Thermo-mechanical properties of pretreated coir fiber and fibrous chips reinforced multilayered composites. *Scientific Reports*. 11(1) (2021): pp. 1-13.
13. Ali, M. Coconut fibre: A versatile material and its applications in engineering. *Journal of Civil engineering and construction Technology*. 2(9) (2011): pp. 189-197.
14. Bui, H., Sebaibi, N., Boutouil, M. and Levacher, D. Determination and Review of Physical and Mechanical Properties of Raw and Treated Coconut Fibers for Their Recycling in Construction Materials. *Fibers*. 8(6) (2020): pp. 37.
15. Suardana, N., Lokantara, I. and Lim, J. K. Influence of water absorption on mechanical properties of coconut coir fiber/poly-lactic acid biocomposites. *Materials Physics and Mechanics*. 12(2) (2011): pp. 113-125.
16. Panyakaew, S. and Fotios, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and buildings*. 43(7) (2011): pp. 1732-1739.
17. Manohar, K. Experimental investigation of building thermal insulation from agricultural by-products. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2(3) (2012): pp. 227.

18. Abdou, A. and Budaiwi, I. The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content. *Construction and Building materials*. 43 (2013): pp. 533-544.
19. C168, A. S. Terminology relating to thermal insulating materials. (2013): pp.
20. Jelle, B. P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions— Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*. 43(10) (2011): pp. 2549-2563.
21. Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. and Rudolphi, A. *Insulating materials: principles, materials, applications*. Walter de Gruyter, (2012).
22. Manohar, K., Ramlakhan, D., Kochhar, G. and Haldar, S. Biodegradable fibrous thermal insulation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 28(1) (2006): pp. 45-47.
23. Volf, M., Diviš, J. and Havlík, F. Thermal, moisture and biological behaviour of natural insulating materials. *Energy Procedia*. 78 (2015): pp. 1599-1604.

УДК 674

Zoltán Pásztor

Doctor, Head of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary
pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Péter Adamik

Ph. D. student, Doctoral School of Wood Sciences and Technologies, University of Sopron, Sopron, Hungary
adamik.peter@phd.uni-sopron.hu

EFFECT OF EXTERNAL TEMPERATURE AND CONDITIONS OF STEAMING KILN TO THE HEAT LOSS

In wood technology the steaming is one of the most energy demanding process. The shortage of the treatment and the extra high temperature results that this technology has the highest specific energy consumption. The reduction of processing costs needs the reduction of energy consumption and on the other side this intention has an environment protecting effect too. Steaming of wood takes place in practice in steaming chambers. The heat loss of the chamber's wall can be measured with heat flow sensor and thermos vision camera. The sensors were fixed in different position on the wall and the foundation of the kiln. The foundation made of concrete and the walls is sandwich-structured composite with PUR and aluminum sandwich panel. Heat flow was measured 71.3 W/m² and 415.5 W/m² in average on the wall and the foundation respectively. The energy loss of the chamber was calculated by means of a Win Watt energy simulation software. The rate of heat loss varies by 40% as a function of insulation and the outside temperature, where 10 and 20 cm of thermal insulation and the temperature range of -5 °C to +10 °C with 5 °C steps were calculated. The possibility of using a heat exchanger to reduce the waste energy was studied also.

Keywords: *steaming, energy consumption, steaming chamber insulation/*

Introduction

Steaming is most often used to change the unfavorable properties and color of wood (Majka and Olek 2007; Tolvaj et al. 2006, 2009; Taghiyari et al. 2011; Barański et al. 2017). Beside aesthetical result the steaming can decrease the shrinkage and dwelling of the wood as the effect of moisture change. On the steaming process the wood is warmed up in hot steam and keep in high temperature around 100 °C for 24 to 48 hours pending on the desired strength of steaming. Consequently, steaming has a large energy demand in a very short time, which means specific high energy demand, and expenses. The amount of energy used for steaming is influenced by several factors such as time of schedule, lumber's thickness, species, and density of wood, external temperature, type of steaming, and the condition of the chamber (Németh et al. 2013), and also the initial moisture content of the wood. In case of higher moisture content, the water has to be heated up to the steaming temperature which is very energy consuming taking into consideration the high specific heat of the water. It is almost three a half time higher than specific heat of wood, so to warm up energy amount of one kg water is equal to three and a half of wood. The steaming energy demand of drier wood is lower than wet wood.

Energy amount can be separated to three main part, 1) warming up the wood-water, and the chamber; 2) causing thermochemical changes in the wood structure in cell wall level; 3) heat loss. The ratio between this three main part is important from the aspects of energy efficiency. Only thermomechanical changes is the goal of the treatment; energies turned to heat up the materials and the heat loss are undesirable but necessary that is why reduction is needed.

The used energy is mainly thermal energy, which results high amount of CO₂ emissions. On the other hand, the transportation loss of steam in the pipe usually high, because of the high temperature difference of steam and the ambient. The heat loss can be separated to the heat loss of the chamber during the treatment and the heat loss of steam transportation. From this aspect the distance of steam source from the chamber is highly relevant.

The energy used for warming up the wood-water and the chamber and changing the cell structure is needed for having the result it cannot be decreased. The heat loss of the chamber can be significant and would be advantageous to decrease as low as possible. This is the energy amount which disappears in the environment without any useful effect completed by the energy released by the cooling down of the wood and the chamber.

In this study was examined the heat loss of an industrially used steaming chamber and was seeking the possibilities of heat loss reduction.

Material and methods

The chosen steaming chamber located in the saw mill in a forest company in the mount of Bakony in Hungary. The chamber is used for thermal modification of beech wood. The capacity of the chamber is 12 cubic meter; the heating fuel is overheated steam produced in a high capacity furnace. The fuel of the furnace is the waste materials of the saw mill. Despite of the name “waste” the company can sell the fuel material on the market, and to minimize the usage for own consumption is desirable.

The chamber heat loss measurements were performed during the treatment of the steam chamber. Fluke TiR3FT infrared camera with the resolution of 0.1 Celsius, and Ahlborn Almemo 2590 data collecting, thermal flux sensor, calibrated temperature sensor was used for thermo vision and thermal flux measurement respectively. During the measurement wasn't any significant wind and air temperature change. The wind could increase the heat loss on the external surface of the chamber. Background temperature was set to the measured air temperature and the emission value of the surface was set 0.25 which fits to the dirty rough aluminum surface. The thermal imager was verified by tactile thermometer. The photos were analyzed by the Smart View software. For measuring heat flow flux meter was fixed on the surface of the chamber in different places. Inner and external air temperature were also measured. The measurement points were selected to be far away from the corners and inlet points. Because of the fluctuation of the surface temperature number of the measurement was increased to 30 and the average value was considered.

Based on the measurement results, a virtual model of the chamber was built with Win Watt software, and the effect of ambient temperature and insulation thickness on thermal conductivity was calculated.

After the first measurement the steaming chamber was improved by changing the sealing of the doors. Second measurement was performed with the improved chamber and the thermal images was compared.

Results

The large heat losses determined with the help of thermal images were solved with seals and insulations (Fig. 1).

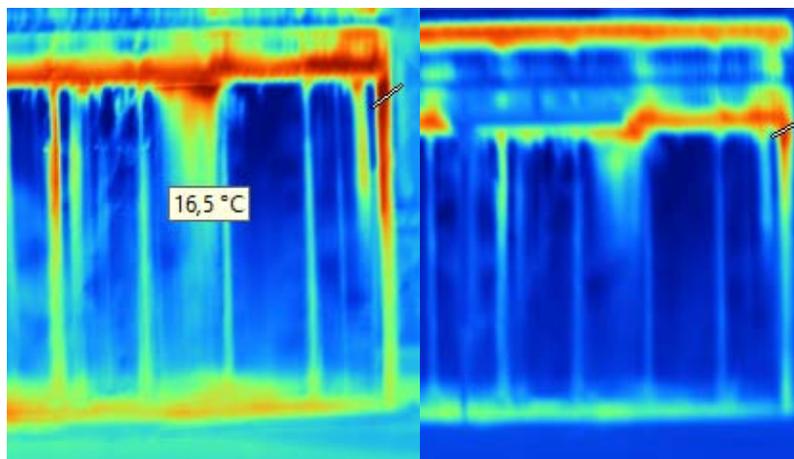


Fig. 1. Chamber door's temperature before and after the change of seal

Beside the surface heat loss, the filtration heat loss is occurring and as the Fig. 1 shows not negligible magnitude. However, the changing of sealing does not affect the surface heat loss, but can reduce considerable the filtration loss.

The measured average heat flow on the chamber surface can be seen in the table.

Table

Measured heat flux in different point of chamber. The point 1 and 2 is on the PUR panel

Surface	Measuring point 1	Measuring point 2	Concrete foundation
Average heat flux [W/m ²]	69.7	72.3	415.5

Based on the model of the chamber, 15 °C increase of the external temperature reduces the heat waste about 10 % (Fig. 2).

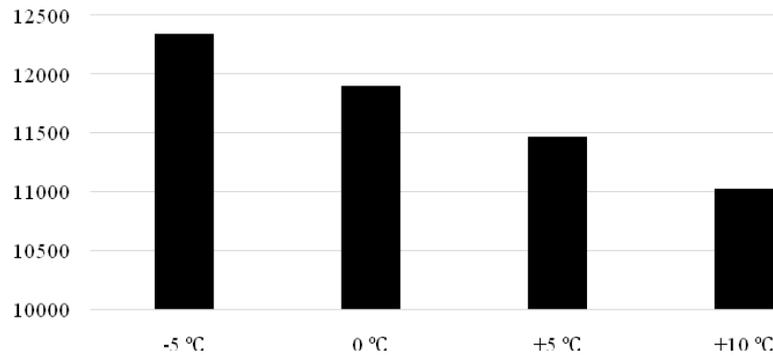


Fig. 2. Heat waste [W] during 1 hour with increasing external temperature

The theoretical insulation of the chamber induced a decreasing heat loss (Fig. 3). The degree of thermal insulation is more important at lower external temperatures: at -5 °C even the weakest insulation caused an extra 18 % loss, while the double insulation and the separate insulation of the foundation almost doubled this (34 %). The difference between the weakest and strongest insulation calculated in percentage point was hardly affected by temperature: it was reduced from 15.7 to 13.4 %. At higher outdoor temperatures, the reduction in heat loss was greater, reaching 40 % with the best thermal insulation. With the best insulation, the outside temperature had little effect on the rate of reduction in heat loss (34.5 to 40 %).

Increasing levels of insulation also come with increasing costs. The optimal insulation thickness can be determined by cost and environmental load analysis for the entire life of the chamber, which is the task of the future.

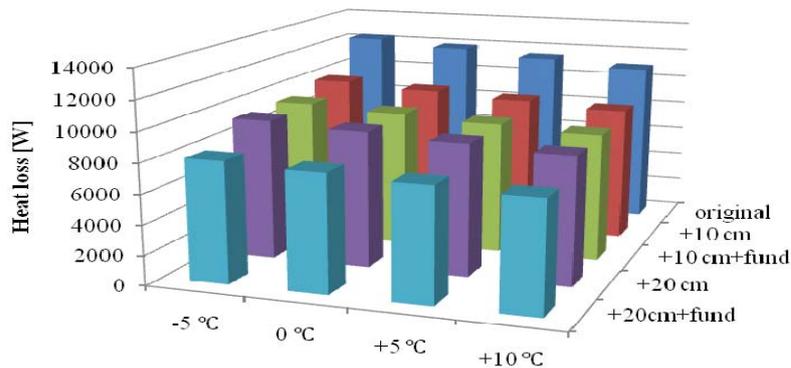


Fig. 3. Heat loss as a function of insulation and outside temperature

A further reduction in the energy consumption can be achieved by recycling the heat leaving the chamber in a controlled manner. According to measurements, through the overpressure outlet the air flow is $84.75\text{ m}^3/\text{h}$ at 92 °C .

Fig. 3 show the results matrix of the simulation of different insulation thickness and the different external temperature. Additional 10 or 20 cm wall insulation decreases the heat loss, but the figure shows also the importance of the foundation. Execution of follow up insulation of the chamber surface is not easy to perform and causes higher cost, which returns need economical calculation, but the results help to optimize the wall insulation of a new built chamber. Further

Conclusions

Overall heat loss of steaming exceeds more times of the effective heat energy used for treatment. Reduction of this heat loss is necessary for the fulfilment of sustainable development and circular economy. The study highlighted the importance of chamber conditions and the optimization necessity of the insulation thickness. Furthermore showed the outstanding role of the foundation. High ratio of heat loss evaporate on the foundation and on the leakages of the chamber door. While the sealing can be repaired or changed easily the additional insulation of the foundation is almost impossible. From this reason it is very important the adequate design of the chamber where the concrete and the connection line of concrete foundation and wall is well designed for minimizing the heat loss for the full life cycle of the chamber.

Acknowledgements

This article was made in frame of the „EFOP-3.6.1-16-2016-00018 – Improving the role of research + development + innovation in the higher education through institutional developments assisting intelligent specialization in Sopron and Szombathely”.

References

1. Barański, J., Klement, I., Vikovská, T., Konopka, A. 2017. „High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different zones of sapwood and red false heartwood”, *BioResources*, 12(1), 1861-1870.
2. Majka, J., Olek, W.: „Effects of european beech (*Fagus sylvatica*L.) wood steaming on sorption properties and klin-drying intensity”2007. *Folia Forestalia Apolonica*38, 55-65.
3. Németh, R., Ott, Á., Takáts, P., Bak, M. 2013. „The effect of moisture content and drying temperature on the colour of two poplars and robinia wood”. *Bio Resources* 8(2) 2074-2083.
4. Taghiyari, H.R., Talaei, A., Karimi, A.: 2011. „A correlation between the gas and liquid permeabilites of beech wood heat-treated in hot water and steam mediums”. *Maderas: Ciencia y Tecnologia* 13(3), 329-336.
5. Tolvaj, L., Molnár, S., Takáts, P., Németh, R. 2006. „A bükk (*Fagus silvatica* L.) faanyagfehér- ésszínésztesztjeszínénekváltozása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében”. *Faipar* 54(2), 3-4.
6. Tolvaj, L., Németh, R., Varga, D., Molnár, S. 2009. „Colour homogenisation of beech wood by steam treatment” *Drewno*2009, 52, 181.

УДК 674-419.32

С. А. Котиков,

аспирант 1 года, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
galich1917@yandex.ru

А. А. Титунин,

д. т. н., зав. кафедрой ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
a_titunin@ksu.edu.ru

А. А. Федотов,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
aafedotoff@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДИФИКАЦИИ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФАНЕРЫ

Проведен анализ наиболее эффективных российских и зарубежных способов модификации фенолоформальдегидного связующего как на стадии синтеза смолы, так и при введении модификаторов в готовую смолу. Выявлен наиболее удобный и экономичный способ модификации – введение в готовую смолу. Предложен вариант модификации с наиболее возможным снижением энергоемкости производства.

Ключевые слова: фенолоформальдегидное связующее, модификация, прочность, водостойкость, себестоимость.

S. A. Kotikov,

1st year graduate student, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
galich1917@yandex.ru

A. A. Titunin,

Doctor of Technical Sciences, Head of Woodworking Department, Kostroma State University, Kostroma,
a_titunin@ksu.edu.ru

A. A. Fedotov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
aafedotoff@yandex.ru

JUSTIFICATION DIRECTION MODIFICATION OF PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS IN PRODUCTION OF PLYWOOD

The analysis of the most effective Russian and foreign methods of modifying the phenol-formaldehyde binder both at the stage of resin synthesis and when introducing modifiers into the finished resin is carried out. The most convenient and economical method of modification – introduction into the finished resin-is revealed. A variant of the modification with the most possible reduction in the energy intensity of production is proposed.

Keywords: phenol-formaldehyde binder, modification, strength, water resistance, cost price.

Объемы производства и потребления водостойкой фанеры ФСФ продолжают увеличиваться, растущие требования потребителей ставят новые задачи, поэтому перед производителями фанеры стоит непростая задача совершенствования свойств готовой продукции при возможном снижении себестоимости. Традиционный подход к решению данной задачи – модификация фенолоформальдегидной смолы на стадии синтеза (путем частичной замены фенола), либо готовой смолы различными модификаторами.

По первому пути идут российские и зарубежные ученые. В работе Забелкина С. А. и др. [1] предложено использование пиролизной жидкости, полученной методом быстрого абляционного пиролиза древесины сосны, в качестве заменителя (до 50 %) фенола при синтезе фенолоформальдегидных смол. При этом можно получить смолу с хорошими качественными характеристиками и пониженной токсичностью, а также более низкой стоимостью. Также в нескольких работах зарубежных ученых [2–4] предлагается замена части фенола на лигнин или производные лактозы. При этом при частичной замене фенола на лигнин адгезионная прочность фенолоформальдегидной смолы не снижается.

Второй путь в своих исследованиях реализуют как ученые профильных вузов страны, так и зарубежные ученые. Данному вопросу посвящено немало работ ученых Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова. В работе Соколовой Е. Г. [5] используются клеевые составы на основе фенолоформальдегидной смолы, модифицированной меламинакарбаминоформальдегидной смолой (МКФС), с введением комбинированного отвердителя (раствор двуххромовокислого натрия, карбамида вводе) КО-2. Такое решение позволяет ускорить процесс отверждения клея, снизить ее токсичность и увеличить прочность клеевого соединения за счет образования полной пространственной структуры полимера, а также уменьшить энергозатраты на склеивание фанеры. В работе Русакова Д. С. и др. [6, 7] оценивается влияние добавки модификаторов – побочных продуктов целлюлозно-бумажного производства (пектол, лигносульфонаты, шлам холодного отжима, черные сланцы). Установлено, что их введение позволяет улучшить свойства клея, повысить прочность фанеры и одновременно снизить содержание свободного формальдегида, снизить себестоимость готовой продукции и утилизировать отходы целлюлозно-бумажной промышленности. В работе Русакова Д. С. и др. [8] оценено влияние добавки в смолу угольной пыли электрофильтров алюминиевого производства. Установлено, что данная добавка повышает прочность фанеры на 20–50 %, снижает содержание свободного формальдегида в готовой продукции на 5–15 %. Возможность модификации смол алюминий содержащими соединениями рассмотрена в работе [9]. Выявлена возможность повышения прочностных характеристик фанеры. В патенте [10] и работе [11] предлагается модификация смолы экстрактом коры хвойных пород деревьев и параформом, что позволит повысить физико-механические свойства и снизить токсичность фанеры. Использование в качестве модификаторов алкилрезорцинов и пероксида водорода уменьшает время прессования фанеры на 25 % и повышает ее прочностные характеристики [12].

В известных зарубежных работах [9, 13] ставится уклон на снижение температуры прессования, однако при этом такие постоянные факторы как расход связующего (140–160 г/м²) и время прессования (6 мин) весьма велики. В нашей работе предполагается сделать попытку на снижение данных режимов до 100 г/м² и 5 мин соответственно (при сохранении физико-механических свойств).

Список литературы

1. Забелкин С. А., Грачев А. Н., Башкиров В. Н., Черезова В. Н. Модификация фенолоформальдегидных смол жидкими продуктами пиролиза древесины // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 10. С. 97–100.
2. Hussin M. H. Zhang H. H., Aziz N. A., Samad N. A., Faris A. H., Mohamad Ibrahim M. N., Iqbal A., Abdul Latip A. F., Mohamad Haafiz M.K. Preparation of environmental friendly phenol-formaldehyde wood adhesive modified with kenaf lignin // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2017. Vol. 6. P. 409–418.
3. Qiao W, Li S., Guo G., Han S., Ren S., Ma Y. Synthesis and characterization of phenol-formaldehyde resin using enzymatic hydrolysis lignin // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2015. Vol. 21. P. 1417–1422.
4. Viswanathan T., Toland A. Whey modified phenol-Formaldehyde resins as plywood adhesives // Carbohydrate Polymers. 1991. Vol. 15, No. 1. P. 41–49.
5. Соколова Е. Г. Модификация фенолоформальдегидной смолы меламинакарбаминоформальдегидной смолой для склеивания фанеры // Системы Методы Технологии. 2018. № 2(38). С. 111–115.
6. Русаков Д. С., Чубинский А. Н., Русакова Л. Н., Варанкина Г. С. Исследование свойств модифицированных фенолоформальдегидных клеев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 222. С. 155–174.
7. Rusakov D. S., Varankina G. S., Chubinskii A. N. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products // Polymer Science. Series D. 2018. Vol. 11, No. 1. P. 33–38.
8. Русаков Д. С., Варанкина Г. С., Чубинский А. Н. Модификация фенолоформальдегидных смол отходами производства алюминия и целлюлозы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019/ № 2. С. 130–140.

9. Bekhta P., Bits G. Modification of phenol-formaldehyde resins by aluminium containing compounds // Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: collection of scientific works. 2008. Vol. 6. P. 155–158.
10. Пат. МПК В27D 1/04. Фанера. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет». Заявл. 05.07.2010. Опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.
11. Криворотова А. И., Ушанова В. М. Улучшение экологических свойств и качественных характеристик фанерной продукции, с использованием клеевмодифицированных экстрактами коры хвойных // Хвойные бореальной зоны. 2014. XXXII. № 1-2. С. 52–55.
12. Mirski R., Łęcka J., Dziurka D. The effect of modification of phenolic resin with alkylresorcinols and H₂O₂ on properties of plywood // Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria. 2009. Vol. 8, No. 4. PP. 67–74.
13. Bekhta P., Salim H., Potapova O., Sedliacik J. Shear Strength of Exterior Plywood Panels Pressed at Low Temperature // Materials. 2009. Vol. 2. P. 876–882.

УДК 630*812

А. А. Котов,

д.т.н., профессор кафедры ЛТ1, ФГБОУ ВО «Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана», г. Мытищи, РФ, kotov@mgul.ac.ru

А. Ф. Алябьев,

д. т. н., профессор кафедры ЛТ7, ФГБОУ ВО «Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана», г. Мытищи, РФ, alyabiev@mgul.ac.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ БЕРЕЗЫ

При проектировании рабочих органов лесохозяйственных машин, таких как катки-осветлители, кусторезы и др., необходимо учитывать физико-механические свойства нежелательной древесной растительности. На практике часто не учитывается влияние на упругие свойства растений механической связи с почвой. В статье предложена методика определения вклада корневой системы и почвы в суммарную жесткость растения при статическом изгибе и установлены зависимости для определения полного отклонения произвольной точки стволика за счет деформации корней и прогиба стволика. Исследованиями установлено, что коэффициент жесткости корневой системы изменяется пропорционально квадрату диаметра стволика у корневой шейки.

Ключевые слова: берёза, корневая система, стволик, прогиб, модуль упругости, коэффициент жёсткости.

A. A. Kotov,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Forest Crops, Breeding and Dendrology, BMSTU (Mytishchi branch), Mytishchi, Moscow reg., Russia, kotov@mgul.ac.ru

A. F. Alyabiev,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological means and equipment of the forest complex, BMSTU (Mytishchi branch), Mytishchi, Moscow reg., Russia, alyabiev@mgul.ac.ru

RESEARCH OF THE RIGIDITY COEFFICIENT THE ROOT SYSTEM OF BIRCH

When designing the working bodies of forestry machines, such as rollers-clarifiers, brush cutters, etc., it is necessary to take into account the physical and mechanical properties of undesirable woody vegetation. In practice, the effect of mechanical connection with the soil on the elastic properties of plants is often not taken into account. The article proposes a method for determining the contribution of the root system and soil to the total stiffness of a plant under static bending and establishes dependences for determining the total deflection of an arbitrary point of the stem due to deformation of the roots and deflection of the stem. Studies have established that the coefficient of stiffness of the root system changes in proportion to the square of the stem diameter at the root collar.

Keywords: birch tree, root system, stem, deflection, elastic modulus, modulus of elasticity, rigidity coefficient.

Как показывает практика, к механическим свойствам древесных растений, учитываемым при конструировании лесохозяйственных машин, предназначенных для борьбы с нежелательной древесной растительностью, необходимо относить не только жесткость ствола, но и коэффициент жесткости корневой системы [1]. Целью статьи является исследование жесткости корней березы, которая является одной из наиболее распространенных нежелательных пород на возобновившихся вырубках центрального региона. До отмирания главного (стержневого) корня дерево растет медленно, затем корневая система начинает быстро развиваться за счет боковых корней, которые проникают в почву под углом 30–60 градусов. При этом ускоряется и рост дерева в целом [2]. Исследования проводились в Московской, Владимирской и Ярославской областях.

При изучении механической связи корней дерева с почвой растение представлялось состоящим из двух частей: корневой системы и ствола, жесткостные свойства которых определялись отдельно. Тогда полное отклонение x произвольной точки растения, к которой приложена изгибающая сила F , равнялось сумме x_1 и x_2 , где x_1 – отклонение за счет деформации корневой части, x_2 – прогиб стволика при условии абсолютно жесткой заделки:

$$x = x_1 + x_2. \quad (1)$$

Из условия равновесия

$$Fh = C\varphi,$$

где h – высота приложения нагрузки, м;

C – коэффициент жесткости корневой системы, Н·м/рад;

φ – угол поворота оси стволика, рад.

Принимаем $\varphi = \frac{x_1}{h}$. Тогда

$$C = \frac{Fh^2}{x_1}. \quad (2)$$

Для достижения поставленной цели на сплошных возобновившихся вырубках проведены в безветренную погоду опыты с березой высотой от 1,5 до 6,5 м. Вначале растение освобождалось от рядом расположенной растительности. Затем определялись биометрические показатели растения. Усилия замерялись динамометрами системы Токаря Н. Г. и Мегеон четвертой серии.

Исследование жесткости корней древесных растений выполняли тремя способами. При первом использовали статический и динамический методы. При статическом производили изгиб растения прикладываемой на разных высотах с шагом 0,2 м силой, фиксируя при этом его отклонение x . Затем растение срезалось, и вначале для целого стволика, а затем, после распиливания его на части, для каждой из них определялся модуль упругости E [3]. По формулам сопротивления материалов вычислялись прогибы x_2 стволика. Отклонение x_1 определялось как разница между x и x_2 . Потом рассчитывался угол поворота стволика φ и коэффициент жесткости корней C . Результаты частично представлены на рис. 1.

Из графика видим, что при минимальной высоте приложения изгибающей силы наибольший вклад в отклонение стволика вносит жесткость корневой системы, а при максимальной – жесткость стволика.

При динамическом методе проведены экспериментальные исследования затухающих колебаний растений [4]. Фиксировалось отклонение вершины растения и соответствующий ему момент времени от начала колебаний.

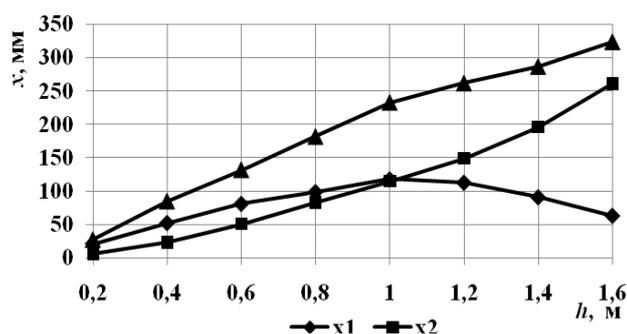


Рис. 1. Влияние корневой системы на отклонение стволика березы

В общем виде частоту произвольной формы колебаний конического стержня (стволика) можно определить по формуле:

$$f_n = \frac{a_n^2 r}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

где a_n – постоянная, зависящая от формы стволика и формы колебаний;

r – радиус инерции поперечного сечения, расположенного в месте жесткой заделки;

H – длина конического стержня (высота стволика);

E – модуль упругости растущей древесины;

ρ – плотность растущей древесины.

Для основной формы колебаний $a_n = a_1 = 4,359$ [4]. При указанных условиях с помощью формулы (3) определялся модуль упругости E .

При втором способе определение модуля упругости E и коэффициента жесткости C выполнялось на растущих растениях приближенным способом [1].

Значения C и E определялись из выражений

$$C = \frac{k_{11}}{x' - \frac{k_{12}}{E}}, \quad (4)$$

$$E = \frac{k_{11}k_{22} - k_{21}k_{12}}{k_{11}x'' - k_{21}x'}, \quad (5)$$

где x' и x'' – соответственно отклонения точек стволика на высотах h' и h'' ,

$$k_{11} = F'(h')^2, \quad k_{12} = \frac{F'(h')^3}{3J_0} \cdot \frac{H}{H-h'}, \quad k_{21} = F''(h'')^2, \quad k_{22} = \frac{F''(h'')^3}{3J_0} \cdot \frac{H}{H-h''};$$

F' и F'' – соответственно изгибающие силы на высотах h' и h'' ;

J_0 – момент инерции сечения конуса у основания.

При третьем способе этапе стволик сжимался металлическими уголками [5, 6]. К нему прикладывались нагрузки в прямом и обратном направлениях. Фиксировались положения растения под нагрузкой и после ее снятия. Определялся угол φ отклонения оси стволика от исходного положения.

На основании полученных данных построен график зависимости коэффициента жесткости корневой системы березы (рис. 2). Уравнения аппроксимации графика имеют вид:

$$C = 0,589 d_0^2 - 6,61 d_0 + 7,42; R^2 = 0,93 \quad (6)$$

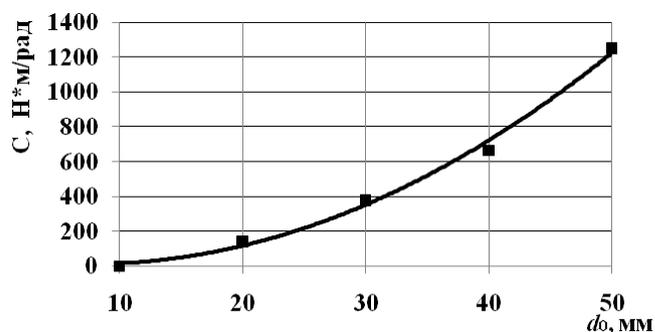


Рис. 2. Зависимость коэффициента жесткости корневой системы березы от диаметра у корневой шейки

Таким образом, установлено, что коэффициент жесткости корневой системы изменяется пропорционально квадрату диаметра стволика у корневой шейки.

Список литературы

1. Котов А. А. Неразрушающий метод исследования упругих свойств древесных растений // Лесной вестник. Forestry Bulletin. Т. 20. № 2. 2016. С. 91–97.
2. Корчагина И. А. Семейство берёзовые (Betulaceae) // Жизнь растений : в 6 т. / гл. ред. А. А. Фёдоров. М. : Просвещение, 1980. Т. 5. Ч. 1 : Цветковые растения / под ред. А. Л. Тахтаджяна. С. 311–324.
3. Котов А. А., Иванов Г. А. Теоретические и экспериментальные исследования изменения модуля упругости ствола растущей березы по высоте // Лесной вестник. Forestry Bulletin. Т. 21. № 4. 2016. С. 47–52.
4. Котов А. А. Экспериментальные исследования параметров колебаний древесных растений // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. № 5. 2013. С. 196–199.
5. Иванов Г. А., Котов А. А. Коэффициент жесткости корневой системы дерева при статическом изгибе // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. № 3. 2011. С. 98–102.
6. Котов А. А. Упругие и остаточные деформации древесных растений при статическом изгибе // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. № 2. 2014. С. 47–53.

BASIC KINETIC MODELS DEFORMATION-DESTRUCTION OF WOOD AND WOOD-BASED COMPOSITES

Existing models of kinetics of deformation-destruction (DD) are related mainly to the description of the transition from the undamaged state of the material into destroyed on one stage. The purpose of this study was to create the basic models of kinetics of deformation-destruction, which describe this process in the form of several successive transitions of separate structural elements (SE), in a material that deforms from one rheological state to another in time. It is established that the process of deformation-destruction can be considered as a process of gradual transition of the SE first of an elastic state, into viscoelastic and then destroyed. The change in the concentration of one or another SE can be determined experimentally by measuring the quantities that correlate with the parameters of deformation-destruction.

Keywords: models of kinetics, kinetics of deformation, criteria of destruction, two-stage model of deformation-destruction

ОСНОВНЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЕФОРМАЦИИ-РАЗРУШЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И КОМПОЗИТОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ

С. Кульман

Доцент, Полесский национальный университет, Житомир, Украина
sergiy.kulman@znau.edu.ua

Существующие модели кинетики деформации-разрушения (ДР) связаны в основном с описанием перехода из неповрежденного состояния материала в разрушенное на одной стадии. Целью настоящего исследования являлось создание базовых моделей кинетики деформации-разрушения, описывающих этот процесс в виде нескольких последовательных переходов отдельных структурных элементов (СЭ), в материале, деформирующемся из одного реологического состояния в другое во времени. Установлено, что процесс деформации-разрушения можно рассматривать как процесс постепенного перехода СЭ сначала из упругого состояния, в вязкоупругое, а затем в состояние разрушения. Изменение концентрации того или иного СЭ может быть определено экспериментально путем измерения величин, коррелирующих с параметрами деформации-разрушения.

Ключевые слова: модели кинетики, кинетика деформации, критерии разрушения, двухстадийная модель деформации-разрушения.

Introduction

We take as the main hypothesis of the deformation that: first, the body is deformed and destroyed individually in separate elements of the structure. Namely, only in those elements in which the local stress first reaches the limits of proportionality, and then the limits of strength. In this case, the individual element of the structure is first elastically deformed, and then passes in series in a viscoelastic or plastic state, and then collapses. Secondly, a single destroyed element of the structure is surrounded for some time by non-destructive elements of the structure that are in an elastic or viscoelastic state. In-third, the body will be considered destroyed if the number of destroyed elements of the structure exceeds certain predefined values.

Thus, the kinetics of the destruction of the body under the action of thermomechanical loading will consist of different variants of the sequence of transition of the elastic elements of the structure (E) into the viscoelastic elements of the structure (VE), and then in the destroyed elements of the structure (D): $E \rightarrow VE \rightarrow D$.

Mathematical model of deformation-destruction process. The main variables that characterize the state of the system, determine the substances A_i , that is in different rheological states. Denote the number SE in different states as N_i ; n – is the vector of quantities components. Denote the concentration: $C_i \equiv N_i / V$.

Each stage of the system is matched by its speed $W_s(C, T)$. The velocity of the stage is intense and is defined as a function of intense quantities – concentration and temperature.

The kinetics equations have the following in coordinate form:

$$\frac{dN_i}{dt} = V \sum_s \gamma_{si} W_s(C, T) \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

where γ_{si} – is the stoichiometric vector with components $\gamma_{si} = \alpha_{si} - \beta_{si}$;
 s – stage;

α_{si} , β_{si} – non-negative integers are stoichiometric coefficients. In the absence of autocatalysis, as in our case, this vector completely determines the stoichiometric equations of the stage.

For each material, there are a priori restrictions on vectors γ_{si} – linear conservation laws (balance ratios). If N_{si} – the number of structural elements that are in a certain rheological state and k is a species in the molar volume of a substance A_i , then for any s and k :

$$\sum_i \alpha_{si} N_{ki} = \sum_i \beta_{si} N_{ki} \quad \text{or} \quad \sum_i \gamma_{si} N_{ki} = 0. \quad (2)$$

The balance relations (2) give rise to linear conservation laws for system (1), that is, for any k : $\sum_i \alpha_{si} N_{ki} = \text{const}$, means:

$$\frac{d}{dt} \sum_i \alpha_{ki} N_i = V \sum_{s,i} \alpha_{si} \gamma_{ki} W_s = 0. \quad (3)$$

Then the following kinetic model of the DD process will correspond to the transformation scheme (3):

$$\frac{dCA(t)}{dt} = -k_1 CA(t). \quad (4)$$

$$\frac{dCB(t)}{dt} = k_1 CA(t) - k_2 CB(t). \quad (5)$$

$$\frac{dCC(t)}{dt} = k_2 CB(t), \quad (6)$$

with initial conditions, $t = 0$: $CA(0) = 1$; $CB(0) = CC(0) = 0$, and boundary conditions: $CA(t) + CB(t) + CC(t) = 1$, where $CA(t) \in (1 \dots 0)$ – the current concentration of structural elements that are in an undamaged, elastic state at time t ; $CB(t) \in (0 \dots 1)$ – the current concentration of structural elements that are in a non-destructive, ie viscoelastic state at time t ; $CC(t) \in (0 \dots 1)$ – the current concentration of the structural elements that are in a destroyed state at time t ; k_1 – the rate constant of the transition of structure elements from elastic state to viscoelastic, s^{-1} ; k_2 – the rate constant of the transition of the elements of the structure from the viscoelastic state to the destroyed, s^{-1} .

Materials and methods

Three commercially-produced structural particleboard bonded with urea formaldehyde resin (UF) were provided by Kronospan UA Ltd., for this study: melamine faced particleboard (MF PB) according to EN 14322; veneered by oak particleboard (VF PB) according to EN 316, EN 622-5 and particleboard P2 (P2 PB) according to EN 312 – type P2; EN 13501-1: class D-s1, d0. For each type, two regular-size (2750 × 1830 mm) of boards with thicknesses of 18 mm were cut into 450 mm (length) × 50 mm (width) pieces. Before cutting, panels were stored in a conditioning room maintained at 20 °C and 65 % RH.

Static 3-point bending tests were carried out in the special test machine with temperature-controlled chamber (BOIKO *et al.* 2013). Specimens were prepared and cut according to ASTM D 1037-99. Loading and deflection were measured, and MOR and MOE were calculated according to Section 9 in ASTM D 1037-99. Investigated temperatures were 20 °C and 60 °C.

Since the change in the SE concentrations in one state or another can be given as a first order kinetic dependence (REGEL *et al.* 1974, PETROV *et al.* 1993), we can to write: $\frac{dCA(t)}{dt} = -k_1 CA(t)$ or, having gone to proportional deformation:

$$\frac{d\varepsilon_e(t)}{dt} = -k_1 \varepsilon_e(t). \quad (7)$$

We integrate (12) after separation of variables (time, deformation):

$$\frac{d\varepsilon_e(t)}{\varepsilon_e(t)} = -k_1 dt, \quad \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \frac{d\varepsilon_e(t)}{\varepsilon_e(t)} = -\int_{t_1}^{t_2} k_1 dt, \quad \ln\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right) = -k_1(t_2 - t_1), \quad k_1 = -\frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right). \quad (8)$$

As we can see, when the deformation changes ε_1 to ε_2 by the same number of times the value of k_1 does not change. This allows for the creation of a kinetic model of deformation-destruction to replace concentrations proportional to their values – deformations, stresses, acoustic or electromagnetic emission pulses, quantities of matter, etc.

Results and discussion

Experimental studies of the long-term strength curve of PB, have found that the material behaves in a complex viscoelastic manner during the creep. And the curve of its deformation contains the recurring sections, characteristic for the curves of elastic and viscoelastic deformation (Fig. 1).

According to the graph of the basic deformation diagram (basic long-term strength curve) Fig. 1 we define such quantities: $t_1 = 0.003 \cdot 3600 = 10.8 [s]$, $\varepsilon_1 = 80 [\mu m]$, $t_2 = 200 \cdot 3600 = 7,2 \cdot 10^5 [s]$, $\varepsilon_2 = 730 [\mu m]$, $t_{cr} = 477 \cdot 3600 = 1,717 \cdot 10^6 [s]$. By Eqs. (8), we define: $k_1 = 0,307 \cdot 10^{-5} s^{-1}$, $k_2 = 0,719 \cdot 10^{-6} s^{-1}$, $\alpha = 4,273$.

In Fig. 2 shows a basic model diagram, constructed in the coordinates of the “concentrations of SE in different states – time”.

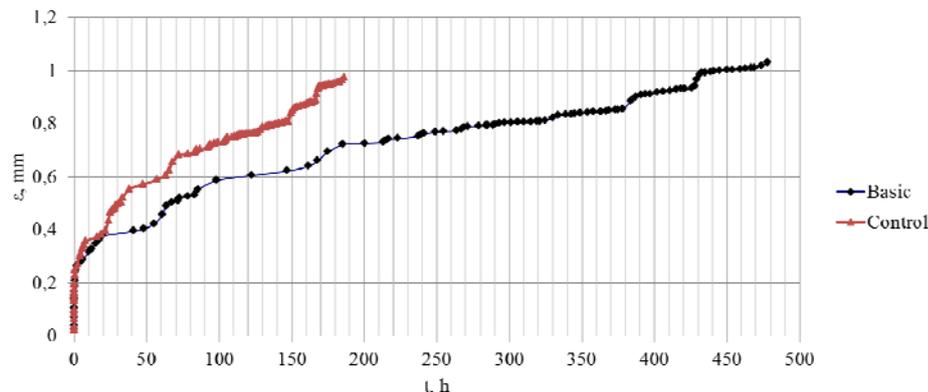


Fig. 1. Basic and control creep diagrams.

Dependences of the average absolute deformation for one group of the samples VF PB by stress level $SL = 15.4 \text{ MPa}$ and temperature $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ for basic diagram, and by stress level $SL = 17.7 \text{ MPa}$ and temperature $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ for control (predicted) diagram

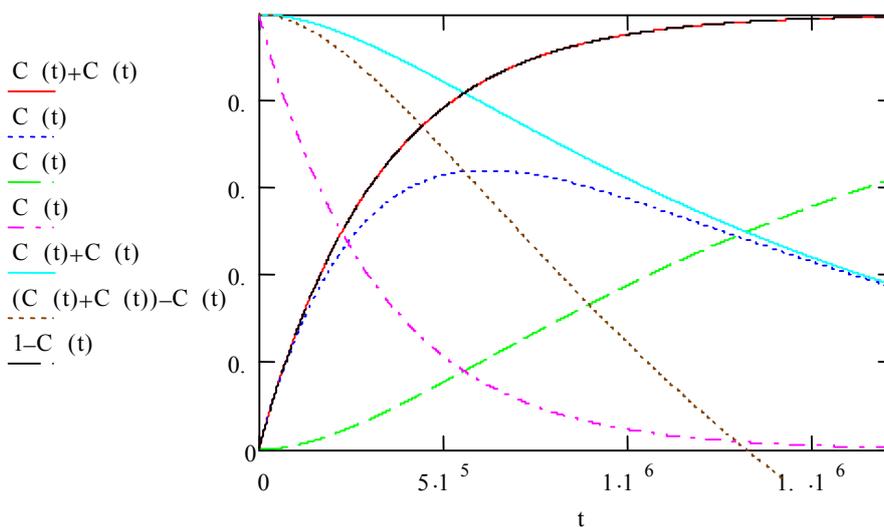


Fig. 2. Basic model diagram of long-term strength (creep): change concentrations of SE in the states: elastic - $CA(t)$, viscoelastic - $CB(t)$, destroyed - $CC(t)$ in time for the basic deformation diagram

Conclusions

1. For the first time, a two-stage nonlinear kinetic model of resource loss due to the creep of wood-based composites is proposed.
2. The use of formal kinetics methods for modeling the physicochemical processes that occur during deformation-destruction allows to design the multi-stage kinetic models.
3. The use of the method of basic deformation diagrams in combination with the two-stage description of the process of accumulation of damage, allows to increase the accuracy of the prediction of allowable time under different load schemes during creep.

References

1. Boiko L., Grabar I., Kulman S. 2013. Durability particleboards in furniture. *Osvita Ukrainy*, Ukraine, 2013, 210 p.
2. Petrov V. A., Bashkarev, V. I., Vettergen, V. I. 1993. Physical basis for predicting the durability of structural materials. St. Petersburg : Polytechnicak, 1993. 475 p.
3. Regel V. R., Slutsker A. I., & Tomashevsky E. E., 1974. Kinetic nature of the strength of solids : monograph. M., Science, 1974. 560 s.
4. Regel V. R. 1964. High-molecular compounds. No. 6, 1964. 395 p.

УДК 674.047.3

Т. К. Курьянова,

к. т. н., доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
vgtawood@yandex.ru

А. Д. Платонов,

д. т. н., профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
aleksey66@yandex.ru

А. А. Тарасов,

директор ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник имени В. М. Пескова»; г. Воронеж, РФ,
zapovednikvrn@mail.ru

ОКРАСКА ДРЕВЕСИНЫ ДУБА МОРЕНОГО В РАЗЛИЧНЫХ РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ

В результате длительного нахождения древесины в проточной речной воде и в контакте с донным грунтом без доступа воздуха происходит индивидуальный процесс морения каждого ствола, заключающийся в изменении химического состава древесины и как следствие её цвета. В работе исследована взаимосвязь окраски древесины от условий морения и количества минеральных веществ в ней. Установлено влияние минеральных веществ и солей железа на цвет древесины дуба мореного при одинаковых условиях морения. Химический состав речной воды также оказывает влияние на степень окраски мореной древесины. Однако цвет древесины не всегда является количественной оценкой содержания соединений железа в мореной древесине.

Ключевые слова: древесина дуба мореного и натурального, окраска, экстрактивные вещества, зольность, донный грунт, речная вода.

T. K. Kuryanova,

PhD (Engineering), Associate Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russian Federation
vgtawood@yandex.ru.

A. D. Platonov,

DSc (Engineering), Professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russian Federation
aleksey66@yandex.ru

A. A. Tarasov,

Head of Voronezh State Nature Biosphere Reserve named after V. M. Peskov, Voronezh, Russian Federation;
zapovednikvrn@mail.ru.

COLORING SEA OAK WOOD IN VARIOUS RIVER SYSTEMS

As a result of the prolonged presence of wood in flowing river water and in contact with the bottom soil without access to air, an individual process of mortification of each trunk occurs, resulting in a change in the chemical composition of the wood and, as a result, its color. The paper examines the relationship between the color of wood from the conditions of mortification and the amount of mineral substances in it. The influence of mineral substances and iron salts on the color of the wood of moraine oak under the same conditions of mortification was established. The chemical composition of the river water also affects the degree of color of the moraine wood. However, the color of wood is not always a quantitative assessment of the content of iron compounds in moraine wood.

Keywords: wood oak of moraine and natural oak, color, extractive substances, ash content, bottom soil, river water.

Контакт древесины с речной водой и донным грунтом, на протяжении длительного периода времени, оказывает влияние на древесину. Последствия влияния водной среды выражаются в изменении химических, физических, механических свойств, а также внешнего вида древесины. Такой процесс называют морением.

Среди множества пород, оказавшихся на дне водоемов, особое место занимает дуб. Его древесина окрашивается в темный цвет от светло-коричневого до черного, что является важным декоративным фактором, а достаточно высокие механические свойства и красивая окраска делают эту древесину ценным материалом.

Окраска древесины является косвенным показателем степени морения древесины дуба. Темный цвет приобретает при взаимодействии таннидов древесины дуба с ионами железа воды. При морении древесины происходит гидролиз аморфной части древесинного вещества, в частности гемицеллюлоз, и адсорбция соединений железа. Этим мореная древесина отличается от натуральной [1].

Целью исследований было определение взаимосвязи степени окраски древесины от условий морения и количества минеральных веществ в ней.

Исследования выполнены на натуральной древесине дуба, произрастающей на территории УОЛ ВГЛТУ Воронежской области и древесине дуба мореного изъятая от донных отложений песка реки Воронеж (окраска от темно-коричневого, почти черного до серовато-черного), и из илистых отложений реки Битюг Бобровского района Воронежской области (окраска светло-коричневая).

Из стволов древесины были изготовлены срезы толщиной 3,0 см. Из каждого среза на расстоянии 0,5R(радиуса) были вырезаны образцы древесины, которые затем были измельчены до фракции опилок 0,5-0,25 мм. Для выравнивания влажности заготовленные опилки выдержали на воздухе в помещении в течение одних суток.

Зольность древесины определяли прокаливанием навески древесных опилок массой 3 г в фарфоровом тигле при температуре 570–590 °С до достижения постоянного веса в течение 4–5 часов. Взвешивание золы проводили в алюминиевых бюксах с точностью до 0,0002 г.

Количество минеральных веществ в древесине дуба мореного из реки Битюг и темно-коричневой окраски из реки Воронеж составило – около 5550 мг/кг, у серовато-черного цвета около 3500 мг/кг, а в натуральной древесине дуба из Воронежа – 25 мг/кг. Отсюда следует, что окраска древесины дуба мореного является косвенным показателем наличия в ней железа, а, следовательно, и продолжительности процесса морения [2, 3].

Такое различие вызвано условиями среды в процессе морения древесины. Древесина из реки Воронеж, находилась под слоем чистого песка, поэтому ее окраска более темная. Древесина из реки Битюг находилась в береговых наносах, где в воде много ионов серы, которые и придали древесине светло-коричневый цвет. Хотя железа в этой древесине было столько же, как и у темной древесины из реки Воронеж. Следовательно, не всегда окраска определяется количеством железа у древесины дуба мореного, необходимо также учитывать условия морения, то есть состав воды.

Окраска древесины дуба мореного происходит из-за взаимодействия ее экстрактивных веществ (таннинов) с ионами железа, находящимися в воде. При этом образуются растворимые и нерастворимые соединения железа, одни из которых адсорбируются клеточной стенкой, а другие вместе с водой проникают в нее; замещая гемицеллюлозы, особенно пентозаны, которые из-за длительного нахождения в воде частично разлагаются [4].

Так как дубильные вещества взаимодействуют с ионами железа воды, то большой интерес представляло определение наличия экстрактивных веществ в древесине дуба мореного по сравнению с древесиной дуба натурального. Исследование выполнено на древесине дуба мореного из реки Воронеж черного и серовато-черного коричневого цвета и натуральной древесине дуба.

Количество экстрактивных веществ определяли экстрагированием веществ, растворимых в горячей воде. Древесные опилки массой 1 г помещали в колбу и заливали дистиллированной водой в количестве 100 мл. Процесс экстрагирования протекал при слабом кипении воды в течение 3 ч от момента ее закипания. По окончании процесса экстракции древесные опилки высушивали до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 103 ± 2 °С. Массовую долю веществ, экстрагированных горячей водой из древесины определяли в процентах.

Экспериментально определен процент растворимых веществ от массы навески который составил у древесины дуба мореного черного цвета – 6 %, у коричневого – 8 %, у древесины натурального – 11 %.

Следует отметить, что водная вытяжка экстрактивных веществ из древесины дуба мореного имела более светлую окраску, особенно у темного образца, по сравнению с натуральной древесиной. Это свидетельствует о том, что в процессе морения происходит окисление экстрактивных веществ древесины дуба, а взаимодействие таннидов с ионами железа вызывает более темную окраску мореной древесины.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о том, что чем выше процентное содержание железа, тем цвет древесины темнее. Данное утверждение справедливо только в случае одинаковых условий морения. Химический состав речной воды также оказывает влияние на степень окраски мореной древесины. Поэтому цвет древесины не всегда является количественной оценкой содержания соединений железа в мореной древесине.

Список литературы

1. Рациональное использование древесины дуба мореного и натурального / Т. К. Курьянова, А. А. Тарасов, А. Д. Платонов, С. Н. Снегирева // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 2(38). С. 169–178. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/17.
2. Ванин С. И. Древесиноведение. 3-е изд. М. : Гослесбумиздат, 1949. 581 с.
3. Кузнецов Н. Т. Мореный дуб и его механические свойства // Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо. 1927. № 9. С. 22–27.
4. Исследование некоторых физико-механических свойств древесины дуба мореного / А. Д. Платонов, П. А. Смирнов, Д. В. Кочанов, А. В. Болохнов, К. А. Симонов // Лес. Наука. Молодежь – 2009 : матер. по итогам науч.-исслед. раб. мол. ученых ВГЛТА за 2008–2009 годы / ГОУ ВПО «ВГЛТА» ; науч. ред. Л. Т. Свиридов. Воронеж, 2009. С. 48–50.

УДК 630*22

В. Д. Ломов,

доцент кафедры лесоводство, экология и защита леса, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Мытищи, РФ,
lomov@mgul.ac.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ В ДРЕВОСТОЯХ РАЗНОЙ СТРУКТУРЫ

Для повышения продуктивности еловых лесов, улучшения породного состава и качества древесины необходимо исследовать формирование и строение годовичных слоев древесной породы в чистых и смешанных древостоях. Рассмотрены вопросы влияния размещения деревьев в еловых древостоях на формирование анатомических элементов древесины ели в годовичных слоях.

Ключевые слова: ранняя и поздняя древесина, трахеиды, смоляные ходы.

V. D. Lomov,

Associate Professor of the Department of Forestry, Ecology and Forest Protection, Mytishchi Branch of the Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Russia,
lomov@mgul.ac.ru

FORMATION OF SPRUCE WOOD IN STANDS OF DIFFERENT STRUCTURES

To increase the productivity of spruce forest, improvement of species composition and wood quality it is necessary to investigate the formation and structure of the annual layers of tree species in pure and mixed stands. Discusses the effect of placement of trees in spruce stands on the formation of the anatomical elements of spruce wood in annual layers.

Keywords: Early and late wood, tracheids, resin moves.

Повышение продуктивности лесов является важнейшей задачей, стоящей перед лесным хозяйством. В системе мер по повышению продуктивности лесов особое значение имеет уход за лесом [4, 5]. При проведении ухода за лесом важно знать оптимальную структуру древостоя. Отсюда, важное значение имеет изучение влияния размещения деревьев на рост и качество древесины выращиваемых насаждений. На это неоднократно указывали крупнейшие лесоводы и древесиноведы нашей страны. Для повышения продуктивности еловых лесов, улучшения породного состава и качества древесины необходимо исследовать формирование и строение годовичных слоев древесной породы в чистых и смешанных древостоях.

Данная работа позволяет выявить взаимосвязь строения древесины ели в древостоях разного состава и размещения с применением анатомического метода исследования, разработанного на кафедре лесоводства и подсочки леса Московского государственного университета леса.

Целью данной работы является установление влияния различных типов лесорастительных условий, а также размещения деревьев на формирование структуры годовичного слоя древесины ели.

Объектами исследований были разновозрастные искусственные насаждения ели европейской в типах леса ельник – кисличник, ельник – черничник и ельник – черничник влажный, Свердловского лесничества, Щёлковского учебно-опытного лесхоза в возрасте от 25 до 60 лет.

Для исследования анатомического строения годовичных слоев в каждом варианте по густоте (варианты по первоначальной густоте посадки: 2,6 тыс. шт. на 1 га; 4,8 тыс. шт. на 1 га и 9,2 тыс. шт. на 1 га) были отобраны три модельных дерева. Модельные деревья в древостое подбирали с учетом их первоначального размещения в древостое. Образцы древесины брали на высоте груди (1,3 м) в направлении вдоль и поперек ряда. Обработка микросрезов проведена по общепринятой методике. Для получения не менее 5%-ной точности опыта было проведено по 25–30 измерений каждого анатомического элемента.

Анатомическое строение древесины ели состоит из: сердцевины, трахеид разных размеров, сердцевинных лучей, смоляных ходов и древесной паренхимы [1–3, 6–8].

Сердцевина состоит из довольно крупных паренхимных клеток с тонкими одревесневшими стенками и большими простыми порами. Клетки имеют форму неправильных многогранников, примерно одинаковых размеров по трем направлениям. Вокруг сердцевины расположена однообразно построенная древесина. В ее составе только два анатомических элемента – трахеиды и паренхимные клетки.

Трахеиды имеют форму сильно вытянутых в длину веретенообразных клеток (волокон) с утолщенными и одревесневшими стенками и косо срезанными концами. С началом вегетационного периода из клеток камбия формируются тонкостенные трахеиды с большими полостями, выполняющие проводящую функцию и образующие более светлую, рыхлую зону ранней древесины. Во второй половине вегетационного периода образуется зона поздней, более темной древесины состоящая из

толстостенных трахеид с малыми полостями, что определяет ее большую плотность. Поздние трахеиды выполняют больше механические функции, чем проводящие.

Трахеиды ранней и поздней зоны, кроме толщины стенок и размера полостей отличаются количеством и размером окаймленных пор на радиальных стенках, через которые происходит сообщение между клетками. Окаймленных пор больше в трахеидах ранней зоны и они крупнее, чем в трахеидах поздней зоны.

Вторым анатомическим элементом являются паренхимные клетки, образующие живую ткань – паренхиму, главным образом лучевую. Ее клетки образуют сердцевинные лучи – ряды из паренхимных клеток, идущие горизонтально по радиусам ствола. Лучи могут состоять лишь из паренхимных клеток (гомогенные лучи), или содержать не считая паренхимных клеток горизонтальные лучевые трахеиды (гетерогенные лучи). У хвойных пород сердцевинные лучи узкие, однорядные (кроме лучей, в которых образуются горизонтальные смоляные ходы), а их высота по числу клеток колеблется. Горизонтальные (лучевые) трахеиды по размерам близки к паренхимным клеткам, но малочисленны по сравнению с последними. В отличие от паренхимных клеток лучевые трахеиды имеют окаймленные поры. Серцевинные лучи проводят растворы питательных веществ в горизонтальном направлении.

В древесине ели находятся также эпителиальная паренхима, образующая смоляные ходы (смоляные каналы), и сопровождающая их паренхима. Смоляные ходы – это межклеточные каналы, заполненные живицей (смолой). Распознают вертикальные и горизонтальные смоляные каналы, образующие единую смолоносную систему. Вертикальные каналы размещаются чаще в поздней зоне годичного кольца и образуются 3-мя слоями клеток: внутренним выстилающим слоем живых эпителиальных клеток; слоем мертвых клеток, заполненных воздухом; слоем живых клеток сопровождающей паренхимы, с течением времени отмирающих. Диаметр вертикальных смоляных ходов составляет 0,10–0,14 мм. Их можно заметить и невооруженным глазом.

Результаты исследований по данной проблеме могут быть использованы при разработке программы по целевому выращиванию древостоев заданного качества для потребностей целлюлозно-бумажной промышленности и сертификации древесины. Выполненная работа позволяет дать рекомендации по целенаправленному формированию древесины ели через изменения состава древостоя с помощью ухода за лесом.

При анализе экспериментальных данных видно, что густота древостоя существенно влияет на общую ширину годичных слоев древесины ели. Так, разница в этом показателе между вариантами достигает 100–120 %. При рассмотрении влияния размещения деревьев в древостое видно, что ширина годичных слоев ели практически не изменяется в связи с направлением взятия образца древесины.

Густота древостоя существенно влияет на процент поздней древесины в годичных слоях. Наиболее выражен этот слой древесины в древостоях ели с первоначальной густотой посадки в 9,2 тыс. шт. сеянцев на 1 га (3-й вариант опыта), что указывает на лучшее качество древесины при этой густоте. В древостоях 1-го и 2-го вариантов опыта процент поздней древесины в слое выше в направлении вдоль ряда по сравнению с древесиной, сформированной в слое поперек ряда. Эта разница статистически достоверна. В еловом древостое с первоначальной густотой посадки 9,2 тыс. шт. сеянцев на 1 га (3-й вариант опыта) разница между содержанием поздней древесины в направлении вдоль ряда и поперек статистически недостоверна. Это характерно для всех вариантов опыта по густоте древостоя.

Опытные данные приведены для деревьев ели (средние показатели за последние 10 лет), расположенных в древостое в настоящее время так же, как и во время посадки. При рассмотрении динамики формирования анатомических элементов по этим годам видно, что выводы, сделанные по средним данным, справедливы и по каждому отдельно взятому году формирования древесины. Наибольшим процентом поздней древесины обладают культуры с густотой 9,2 тыс. шт./га (25,8% и 25,1%), а наименьшим – 2,6 тыс. шт./га (14,7% и 12,7%). Это говорит о том, что в нашем опыте культуры ели с густотой посадки 9,2 тыс. шт./га обладают наивысшим качеством древесины по сравнению со всеми вариантами опыта. Также следует отметить, что образцы, взятые вдоль ряда, имеют больший процент поздней древесины в годичных слоях, чем образцы, взятые поперек ряда.

Основные выводы по результатам исследований:

1. Густота древостоя влияет на анатомическое строение годичных слоев ели, особенно на процент поздней древесины. С увеличением густоты формируется древесина с более высоким содержанием поздней древесины. Редкая посадка деревьев ели приводит к увеличению прироста по диаметру насаждений. Лучшая по качеству древесины в нашем опыте формируется в древостое с первоначальной густотой посадки 9,2 тыс. шт. на 1 га.

2. Процент поздней древесины ели в годичных слоях в древостоях с первоначальной густотой 2,6 и 4,8 тыс. шт. на 1 га зависит от размещения деревьев в древостое. Слой древесины, сформированный в направлении вдоль ряда, имеет больший процент поздних трахеид.

3. Одним из основных факторов, влияющих на строение древесины ели является состав древостоя. Процесс формирования годичных слоев у ели при одном и том же возрасте древостоев в одинаковых типах леса по разному идет в смешанных древостоях из ели и березы различного состава.

4. Оптимальные условия для формирования годичных слоев у ели создаются в древостоях состава 8Е2Б. В этом случае у деревьев ели формируются наиболее широкие годичные слои и с большим содержанием поздней древесины.

Список литературы

1. Ломов В. Д. Исследование формирования и строения годичных слоев сосны и березы при их произрастании в древостоях разного состава : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М. : 1979. 20 с.
2. Ломов В. Д., Янгутов А. И. Влияние рекреационных нагрузок на лесоводственно-экологическую оценку состояния хвойных насаждений НП «Лосиный остров» // Вестник МГУ леса – Лесной вестник. 2005. № 5. С. 114–118.
3. Мерзленко М. Д., Ломов В. Д. Анатомическое строение годичных слоев ели в связи с разной плотностью и размещением // Научные Труды МГУЛ. 1982. Вып. 139. С. 21–23.
4. Обыденников В. И., Коротков С. А., Ломов В. Д., Волков С. Н. Лесоводство : учебник для направления подготовки 35.03.01 «Бакалавр лесного дела». М. : МГУЛ, 2015. 272 с.
5. Обыденников В. И., Ломов В. Д. Лесоводство : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» по специальности 250401 «Лесоинженерное дело». М : МГУЛ, 2011. 282 с.
6. Пинчук А. М., Ломов В. Д. Влияние плотности сосновых молодняков на анатомические показатели древесины и накопление органической массы // Научные труды Московского лесотехнического института. М., 1973. № 49. С. 38–42.
7. Эсау К. Анатомия растений. М. : Мир. 1969. 660 с.
8. Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1954. 338 с.

УДК 630.812.14/812.211

С. Р. Лоскутов,

д. х. н., зав. лабораторией физико-химической биологии древесных растений, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
lrs@ksc.krasn.ru

О. А. Шапченкова,

к. б. н., старший научный сотрудник, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
shapchenkova@mail.ru

А. А. Анискина,

научный сотрудник, Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
aniskina_a@ksc.krasn.ru

Zoltán Pásztor,

директор Инновационного центра, Университет Шопрона, г. Шопрон, Венгрия,
pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

ГИГРОСКОПИЧЕСКАЯ ВЛАГА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД: ИЗОТЕРМЫ СОРБЦИИ И ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В работе представлены сведения о гигроскопических свойствах древесины разных лиственных пород, произрастающих в Венгрии: параметры сорбции паров воды и данные термического анализа по неизотермической сушке древесины с гигроскопическим водосодержанием.

Ключевые слова: древесина, гигроскопическая влага, сорбция, термический анализ.

S. R. Loskutov,

Doctor of Sciences, Head of laboratory of physico-chemical biology of woody plants, V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation,
lrs@ksc.krasn.ru

O. A. Shapchenkova,

Candidate of Sciences, Senior researcher, V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation,
shapchenkova@mail.ru

A. A. Aniskina,

Researcher, V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation, aniskina_a@ksc.krasn.ru

Zoltán Pásztor,

Doctor of Sciences, Director of Innovation center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztor.zoltan@uni-sopron.hu

HYGROSCOPIC MOISTURE OF WOOD OF DECIDUOUS TREE SPECIES: SORPTION ISOTHERMS AND THERMAL ANALYSIS

The paper presents results on the hygroscopic properties of wood of different deciduous tree species of Hungarian origin: water vapor sorption parameters and thermal analysis data on non-isothermal drying of wood.

Keywords: wood, hygroscopic moisture, sorption, thermal analysis.

Гигроскопичность древесины имеет первостепенное значение, так как влага влияет на все ее свойства [3]. Целью нашей работы была оценка гигроскопичности древесины ряда лиственных пород, произрастающих в Венгрии.

Исследовали древесину дуба (*Quercus petraea*), бука (*Fagus sylvatica*), граба (*Carpinus betulus*), робинии (*Robinia pseudoacacia*), липы (*Tilia platyphyllos*), ясеня (*Fraxinus ornus*), клена (*Acer campestre*), ольхи (*Alnus glutinosa*) и тополя (*Populus tremula*). Подготовка образцов, снятие изотерм сорбции влаги и термический анализ проведены по методикам, изложенным в работе [2].

Для расчета параметров сорбционной системы по изотермам сорбции использовали уравнения Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ), Гугенгейма – Андерсона – де Бура (ГАБ), Френкеля – Холси – Хилла (ФХХ), Цимма – Лундберга (ЦЛ), теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ) и Флори – Хаггинса (ФХ) [1]. Некоторые параметры приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Параметры сорбции воды древесиной

Древесная порода	u_m (ГАБ)	C (ГАБ)	S_{sp} (ГАБ)	$A = RT \ln(1/h)$	$u_{кл}$ (ЦЛ)	E_c (ТОЗМ)	$E_{a(ср)}$ (ОФУ)
Дуб	0,029	8,78	103,7	3,3	0,045	884,0	78,8
Бук	0,031	8,19	113,3	3,68	0,035	669,6	89,3
Граб	0,032	7,56	114,6	3,24	0,033	677,1	64,7
Робиния	0,029	9,59	106,5	4,16	0,038	816,9	93,1
Липа	0,026	10,44	95,5	2,46	0,029	595,4	97,3
Ясень	0,034	8,24	121,3	3,7	0,044	791,6	76,9
Клен	0,033	7,06	120,3	3,43	0,049	940,8	88,9
Ольха	0,032	5,45	114,2	2,82	0,039	973,4	75,2
Осина	0,032	10,29	116,2	2,64	0,038	1074,7	76,6

Примечание. $h \in [0,10; 0,30; 0,55; 0,65; 0,80; 0,95]$ – относительное давление водяного пара ($h = P/P_0$, где P – парциальное давление водяного пара, P_0 – давление насыщенных паров воды) при температуре $(20,0 \pm 1,5)$ °C; u – водосодержание древесины, г H₂O/г СВ; u_m – емкость монослоя, $u_{кл}$ – водосодержание древесины, при котором начинается образование водного кластера; C – константа, с помощью которой можно оценить среднюю теплоту адсорбции в первом адсорбционном слое; A – работа образования монослоя, кДж/моль; E_c – характеристическая энергия сорбции, Дж/моль; $E_{a(ср)}$ – среднее значение энергии активации термодесорбции влаги (кДж/моль), рассчитанное по уравнению Озавы – Флинна – Уолла (ОФУ) из результатов термодесорбции в термогравиметрическом эксперименте (рис. 1а), как это было сделано для древесины лиственницы Гмелина в работе [6].

Содержание влаги в монослое указывает на количество молекул воды, которые прочно адсорбируются сорбционными центрами древесинного вещества [4]. По величине u_m (ГАБ) можно констатировать, что древесина ясеня и клена характеризовалась наибольшей доступностью сорбционных центров для влаги, а липы – наименьшей. Параметр C (ГАБ) отражает энергию связи молекул воды с веществом древесины.

Кластеризация молекул воды в древесине является результатом взаимодействия молекул между собой и с доступными гидроксильными группами в пределах клеточной стенки [5]. Среди изученных пород древесина липы отличается наиболее низким равновесным водосодержанием (0,029 г H₂O/г СВ), при котором начинается образование водного кластера, тогда как для древесины дуба, ясеня и клена отмечаются сравнительно более высокие значения $u_{кл}$.

Характеристическая энергия сорбции паров воды древесиной изученных пород, рассчитанная в рамках модели ТОЗМ, варьировала значительно: для липы величина E_c оказалась минимальной и составила 595.4 Дж/моль, для осины – в 1,8 раза выше. Чем больше величина характеристической энергии сорбции, тем выше внутренние механические напряжения в древесине [1].

Кинетика процесса термодесорбции сорбированной влаги изучена с помощью изоконверсионного метода ОФУ [6]. В таблице представлены средние значения энергии активации термодесорбции, которые показывают, что влага более прочно связана с сорбционными центрами в древесине липы, наименее прочно – в древесине граба.

Сорбированная вода неоднородна по энергии связи с древесинным веществом, на что также указывают данные таблицы (C , A , E_c , $E_{a(ср)}$) и разложение ДТГ-контура с неразрешенной внутренней структурой, обусловленной перекрытием при испарении «соседних фракций» связанной воды на составляющие по методу высших производных (рис. 1б). Используя зависимости $TГ = f(t)$ и $\partial^4(\text{ДТГ})/\partial t^4 = v(t)$ (рис. 1а и 1б соответственно), были рассчитаны массовые доли индивидуальных «фракций» связанной воды для древесины каждой породы.

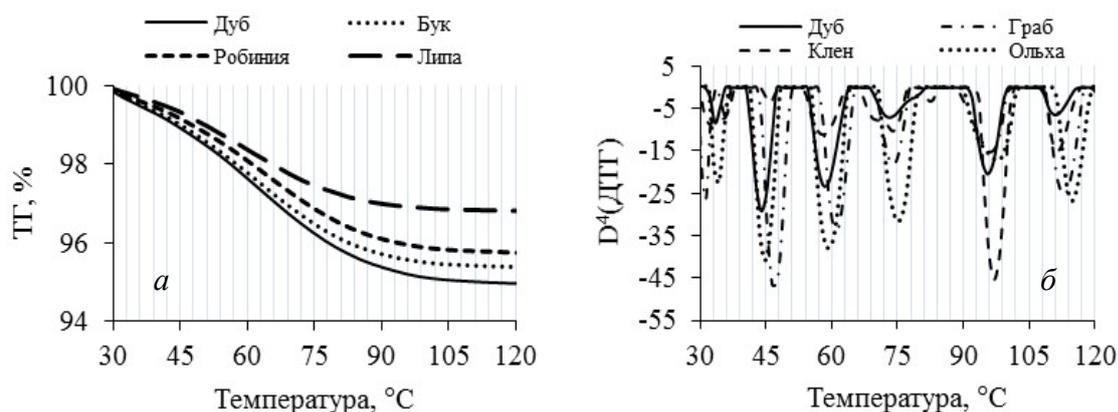


Рис. 1. Термограмма неізотермічної сушки деревини:

a – $TГ = f(t)$, при нагріванні со швидкістю $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в атмосфері повітря;

б – четверта похідна швидкості втрати маси по температурі $\partial^4(\text{ДТГ})/\partial t^4 = v(t)$.

На рис. 2 показан усереднений по всім досліджуваним породам деревини «фракційний склад» гігроскопічної вологи, десорбуючої в різних температурних інтервалах.

Важною характеристикою зв'язаної води в деревині є ентальпія десорбції. В даному випадку – це ентальпія випаровування води в умовах програмуваного нагріву в експерименті по диференціальній скануючій калориметрії. Результати цих опитів показані на рис. 3.

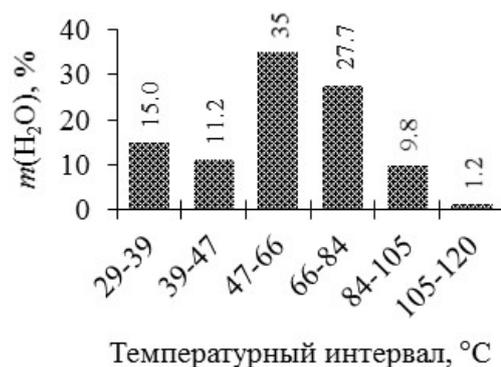


Рис. 2. Усередненні по всім досліджуваним породам деревини масові частки «фракцій» гігроскопічної вологи, випаруючої в різних температурних інтервалах

при нагріванні деревини в термогравіметричному опиті со швидкістю $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в атмосфері повітря

Из этого рисунка видно, что для каждой древесной породы характерен свой ход кривой, свидетельствующий о различии гигроскопических свойств.

Подводя итог, с помощью методов термического анализа и изотерм сорбции паров воды древесиной ряда лиственных пород получена количественная характеристика их гигроскопических свойств, которые могут быть востребованы древесиноведами, работающими в различных направлениях науки о древесине. При разработке процессов сушки и затрат энергии на удаление влаги наиболее приемлемыми данными являются зависимости, приведенные на рис. 3.

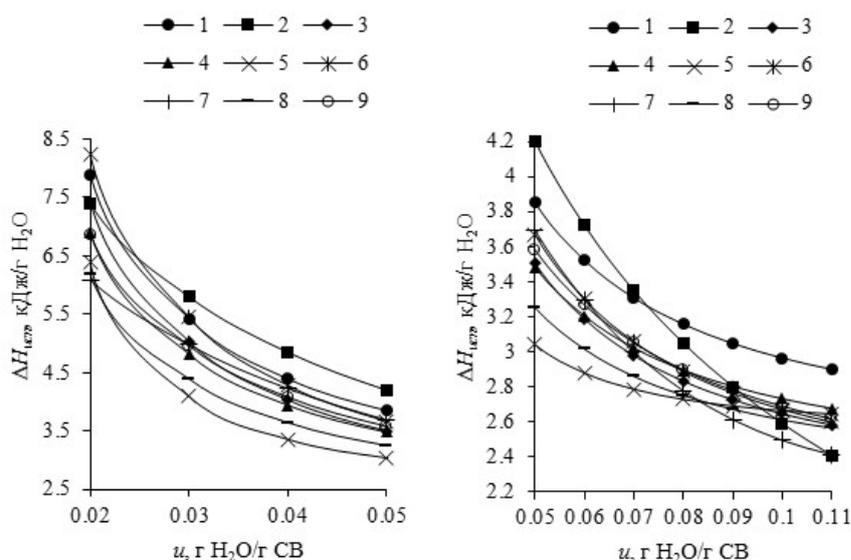


Рис. 3. Зависимость энтальпии испарения связанной воды, найденная по результатам ДСК при нагревании древесины от 25 до 200 °С со скоростью 10 °С/мин в атмосфере воздуха: при водосодержании $u \leq 0,05$ (слева) и при $0,05 \leq u \leq 0,11$ г H_2O /г СВ (справа). 1 – дуб; 2 – бук; 3 – граб; 4 – робиния; 5 – липа; 6 – ясень; 7 – клен; 8 – ольха; 9 – осина

Список литературы

1. Лоскутов С. Р. Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 171 с.
2. Лоскутов С. Р., Анискина А. А., Шапченкова О. А., Тютюкова Е. А. Связанная вода в древесине леосообразующих пород Сибири: термический анализ и сорбция // Сибирский лесной журнал. 2019. № 3. С. 26–32.
3. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебник для лесотехн. вузов / Б. Н. Уголев ; М-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ун-т леса. М. : МГУЛ, 2001. 340 с.
4. Oliveira G. H. H., Corrêa P. C., Santos E. S., Treto P. C., Diniz M. D. M. S. Evaluation of thermodynamics properties using GAB model to describe the desorption process cocoa beans // International Journal of Food Science & Technology. 2011. Vol. 46. P. 2077–2084.
5. Rawat S. P. S., Khali D. P. Clustering of water molecules during adsorption of water in wood // Journal of polymer science: Part B: Polymer Physics. 1998. Vol. 36. P. 665–671.
6. Tyutkova E. A., Loskutov S. R., Shashkin A. V., Benkova V. E. Thermal analysis of earlywood and latewood of larch (*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr.) found along the Polar tree line: Correlation of wood destruction values with climatic factors // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2017. Vol. 130 (3). P. 1391–1397.

УДК 691.11

Е. Н. Покровская,

д. т. н., профессор кафедры КБС ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, РФ, elenapokrovskaya@bk.ru

Д. Г. Михалёва,

студентка 3 курса, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, РФ, mikhaleva.dg@gmail.com

УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ

Тенденции современной строительной индустрии предъявляют высокие требования по надежности и безопасности к древесине как строительному материалу. Особо актуальным становится вопрос увеличения долговечности деревянных конструкций, как для новых зданий и сооружений, так и для памятников деревянного зодчества. Одним из способов достижения увеличения срока службы конструкций из древесины является поверхностное модифицирование полифункциональными защитными составами. Благодаря данному мероприятию обработанный материал борется с проявлением своих негатив-

ных свойств, а именно высокой горючестью, влагопоглощением и подверженностью биоповреждениям. Полифункциональный подход к защите деревянных конструкций помогает обеспечить их долговечность.

Ключевые слова: древесина, огнезащитность, биостойкость, влагостойкость.

E. N. Pokrovskaya,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the CSC Department of the National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
elenapokrovskaya@bk.ru

D. G. Mikhaleva,

3rd year student, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
mikhaleva.dg@gmail.com

INCREASING THE DURABILITY OF WOODEN STRUCTURES THROUGH THE USE OF MULTIFUNCTIONAL COMPOSITIONS

The trends of the modern construction industry place high demands on the reliability and safety of wood as a building material. Particularly relevant is the issue of increasing the durability of wooden structures, both for new buildings and structures, and for monuments of wooden architecture. One of the ways to achieve an increase in the service life of wood structures is surface modification with multifunctional protective compounds. Thanks to this event, the processed material fights the manifestation of its negative properties, namely, high flammability, moisture absorption and exposure to biological damage. A multifunctional approach to the protection of wooden structures helps to ensure their durability.

Keywords: wood, fire resistance, biostability, moisture resistance.

Применение и использование древесины как строительного материала является наиболее перспективным направлением в современном строительстве. Это связано с рядом уникальных свойств древесины, в том числе, ее высокой экологичностью.

Сегодня одной из важнейших задач является увеличение срока службы деревянных конструкций как для новых зданий и сооружений, так и для памятников деревянного зодчества. С этой целью разработан метод мягкого поверхностного модифицирования, который в зависимости от модификаторов создает полифункциональную защиту образца, то есть предаёт огне-, био-, влагозащитные характеристики [1].

В данной работе, в качестве основы для комплексной защиты древесины рассмотрен метод фосилирования. За счет многослойной обработки составами диметилфосфита и полиуретанового лака с наноразмерными частицами бентонита увеличивается прочность древесины и ее огнезащитность (табл. 1) [2].

Помимо этого, в ходе исследования было установлено, что под влиянием ФОС распространения пламени по поверхности полностью прекращается, уменьшается время самостоятельного горения и тления образцов древесины и, как следствие, снижается индекс РП. Результаты испытания представлены на рис. 1 и в табл. 2 [3].

Таблица 1

Результаты испытания по ГОСТ 16363–98

Состав	Масса образца древесины, г		Потеря массы	
	перед сжиганием	после сжигания	г	%
ДМФ 40 % водный раствор + лак ПУ с 5 % содержанием бентонита	133,37	121,5	11,86	8,9
ДМФ 40 % водный раствор + лак ПУ с 10 % содержанием бентонита	119,61	106,21	13,39	11,2
ДМФ 10 % водный раствор + лак ПУ с 5 % содержанием бентонита	151,42	126,73	24,68	16,3

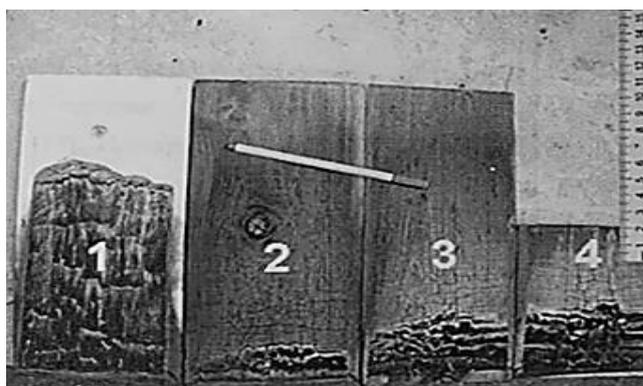


Рис. 1. Образцы древесины, обработанные составами ФОС

Результаты испытаний обработанных образцов древесины

Огнезащитный состав	Прохождение пламенем начального участка (30 мм)		Прирост температуры продуктов сгорания, °С	Повреждение образца по длине, мм	Индекс РП
	Время, с	Скорость, мм/с			
Древесина	8	3,125	40	300	60
ДМФ 10 %	275	0,09	16	45	1,5
ДМФ 20 %	210	0,12	15	50	2,3
ДМФ 40 %	265	0,09	22	60	3,7
ДМФ 40 % + ПЭГС 5 %	280	0,09	15	45	1,2

Одной из важнейших характеристик, увеличивающих долговечность деревянных конструкций, является влагопоглощение. При обработке образцов древесины фосфорорганическими соединениями достигается снижение водопоглощения в 1,5–2 раза, что благополучно влияет на увеличение биостойкости материала. На рис. 2 представлен график влагопоглощения образцами обработанной древесины различными составами ФОС [4].

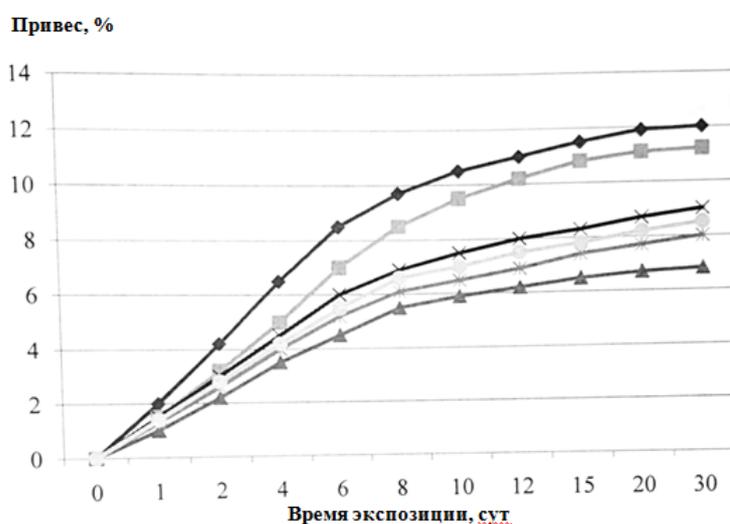


Рис. 2. Влагопоглощение образцами обработанной древесины:

1 – исходный; 2 – ДМФ; 3 – ДМФ + ПЭГС; 4 – ДМФ + ПМС; 5 – ДМФ + ПФМС; 6 – ДМФ + ПМТ ФПС

Древесина, как органический материал, сильно подвержена разрушениям под действием биологических агентов. Особенно серьезную опасность это представляет для памятников деревянного зодчества. Так, в таблице 3 представлены результаты исследования проб древесины с Никольской церкви в с. Лявля [5].

После обработки древесины ФОС, микологическим исследованием установлено снижение и полное прекращение жизнедеятельности биоагентов на поверхности образца (табл. 4).

Таблица 3

Исследование проб древесины

№	Место отбора пробы	Микроорганизмы (МО), обнаруженные в пробе		Кол-во ЖС на 1 см ²	Концентрация МО в 1 г пробы (общее кол-во)
		Среда Чапека	Среда Тиллера		
1	С. Лявля. Церковь Никольская из с. Лявля. Проба № 15, северный фасад алтаря снаружи 3-й венец. Порошкообразное разрушение	Aspergillus niger; Penicilliumchrysogenum; Mucorpusillus; Antrodiasinuosa	Penicillum; Aspergillus дрожжи Candida; бактерии Pseudomonas	130	3·10 ⁶ КОЕ
3	С. Лявля. Церковь Никольская из с. Лявля. Проба № 17, стена северного фасада изнутри. Порошкообразное разрушение внутри древесины	Penicilliumcyaneofulvum; Fusarium; Cladosporiumherbarum; Aspergillus niger; Stemphyliumversuculosum	Penicillum; Fusarium дрожжи Candida; Lipomices; Actinomyces. бактерии Pseudomonas	108	4·10 ⁵ КОЕ

Микологическое исследование обработанной древесины

Описание образца	Лабораторные испытания	
	Балл	Описание
Исходная древесина	5	85 % поверхности заросло грибами
ДМФ 20 %	0	Визуально и под микроскопом спор не обнаружено
ДМФ 40 %	0	Визуально и под микроскопом спор не обнаружено
ДМФ + лак ПУ с 5 % содержанием бентонита	0	Визуально и под микроскопом спор не обнаружено

Достижение огне-, био-, водостойкости древесины обеспечивают полифункциональную защиту конструкций, благодаря чему, сегодня становится возможным сохранить и продлить срок службы многих деревянных конструкций.

Список литературы

1. Покровская Е. Н., Кобелев А. А., Сивенков А. Б., Серков Б. Б. Огнезащита древесины на современном этапе // Вестник Академии государственной противопожарной службы. М. : Академия ГПС МЧС РФ, 2007. № 7. С. 76–85.
2. Чистов И. Н., Покровская Е. Н. Увеличение долговечности древесины с помощью нанодисперсий полиуретана // Сб. трудов «Строительство – среда жизнедеятельности». М., 2010. С. 593–595.
3. Покровская Е. Н., Чистов И. Н., Шепталин Р. А. Сэндвичевые покрытия по древесине с использованием нанокompозитов // Строительные материалы. 2010. № 7. С. 78–81.
4. Покровская Е. Н., Кобелев А. А. Механизм и эффективность огнезащиты фосфоркремнийорганических систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 18. № 3. С. 44–48.
5. Покровская Е. Н., Кобелев А. А. Влияние элементоорганических соединений на увеличение долговечности древесных материалов. М. : РАН, 2007. Т. 2. С. 306.

УДК 630*811.2

Е. М. Рунова,

д. с.-х. н., профессор базовой кафедры ВиПЛР, ФБГОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, РФ
runova0710@mail.ru

И. А. Гарус,

к. т. н., и. о. зав. базовой кафедрой ВиПЛР, ФБГОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, РФ
ivan-garus@yandex.ru

ОЦЕНКА СВОЙСТВ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

*Исследованы свойства стволковой древесины с использованием малоинвазивных эксперсс-методов деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях городской среды, характеризующейся повышенным уровнем загрязнения атмосферы и рекреационных нагрузок. Заложено 8 пробных площадей. На пробных площадях проведено обследование модельных деревьев с использованием прибора Resistograph®. Установлено, что деревья, включенные в городскую среду в 60 годах прошлого столетия в настоящее время имеют возраст от 90 до 147 лет, ширина годичного слоя в условиях низкой полноты значительно больше, чем у фоновых деревьев и составляет от 1,65 до 2,69 мм. Относительная плотность деревьев, определяемая прибором Resistograph® в среднем составляет от 13,3 до 18,7 %, поскольку практически все обследованные деревья имеют начальную или развитую стадию стволковой гнили от 14,1 до 45,4 % от диаметра ствола, что позволяет отнести деревья к опасным или аварийным, требующим постепенной замены на более молодые деревья.*

Ключевые слова: городские насаждения, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), стволковая древесина, ширина годичного слоя, процент стволковой гнили, аварийные деревья.

E. M. Runova,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the basic Department of Reproduction and Processing of Forest Resources, Bratsk State University, Bratsk, RF
runova0710@mail.ru

I. A. Garus,

Candidate of Technical Sciences, Acting Head basic Department of Reproduction and Processing of Forest resources, Bratsk State University, Bratsk, RF
ivan-garus@yandex.ru

ESTIMATION OF THE STEMWOOD PROPERTIES OF SCALPINE PINE USING NON-DESTRUCTIVE CONTROL METHODS

The properties of stem wood were investigated using minimally invasive expertise - methods of Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.) in an urban environment characterized by an increased level of air pollution and recreational loads. 8 trial plots were laid. On the test plots, a survey of model trees was carried out using the Resistograph® parting. It was found that trees included in the urban environment in the 60s of the last century are currently from 90 to 147 years old, the width of the annual layer in conditions of low density is much larger than that of background trees and ranges from 1.65 to 2,69 mm. The relative density of trees, determined by the Resistograph® device, averages from 13.3 to 18.7 %, since almost all surveyed trees have an initial or advanced stage of stem rot from 14.1 to 45.4 % of the trunk diameter, which makes it possible to classify trees as dangerous or emergency, requiring gradual replacement by younger trees.

Keywords: urban plantings, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), stem wood, annual layer width, stem rot percentage, emergency trees.

В последнее время в связи с участвовавшими случаями неблагоприятных погодных условий случаются случаи массового падения деревьев в городских условиях, которые приводят к огромным затратам на ликвидацию завалов, повреждению зданий, автотранспорта, иногда к травмам и гибели жителей. В связи с этим актуальным вопросом является оценка качества стволовой древесины городских насаждений, выявление аварийных деревьев и своевременная замена опасных и аварийных деревьев на более молодые и устойчивые посадки [1].

Объектом исследования стали участки естественных сосновых насаждений, заключенных в городскую среду при строительстве города Братска в 60-е годы прошлого века. С целью оценки качества стволовой древесины были заложены пробные площади, на которых определялись таксационные показатели, дефекты ствола и кроны. Закладка пробных площадей проводилась по ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» [2]. Одна пробная площадь является фоновой, пробной, заложена в лесном массиве на расстоянии более 50 км от городской черты. На каждой пробной площади выбирались наиболее характерные модельные деревья, на которых проверялась относительная плотность стволовой древесины с использованием прибора Resistograph® методом оценки сопротивления древесины сверлению. Согласно оценкам некоторых специалистов [3] современное оборудование, основанное на данном методе, не уступает в точности рентгенографии. Лидером в этой области является немецкая компания Rinntech и ее оборудование Resistograph® [4]. Всего было обследовано 80 модельных деревьев, сделано 131 исследование методом сверления. Были обработаны данные резистограмм модельных деревьев. Для некоторых деревьев с целью увеличения точности получаемых данных было проведено сверление ствола в двух перпендикулярных направлениях. Высота сверления 1,3 м. Полученные результаты обрабатывались в прикладной программе DECOM.R.

Лесоводственно-таксационная характеристика пробных площадей приведена в табл. 1.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика пробных площадей

№ п/п	Площадь п/п, га	Видовой состав	Биометрические показатели сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.)			
			Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Высота начала кроны, м	Средний возраст, лет
1	0,5	9С1Б + Л	30,21 ± 0,6	19,2 ± 0,4	7,2 ± 0,14	123,0 ± 6,3
2	0,1	10С + О + Б	26,24 ± 0,5	13,4 ± 0,3	7,0 ± 0,14	147,8 ± 7,3
3	1,9	10С	21,60 ± 0,4	11,1 ± 0,2	5,3 ± 0,1	141,1 ± 7,4
4	3,9	8С1Л1Б + О	38,62 ± 0,8	13,7 ± 0,3	7,3 ± 0,25	157,1 ± 8,2
5	1,0	6С2Л1О1Б	15,91 ± 0,3	13,8 ± 0,3	2,5 ± 0,05	114,1 ± 5,1
6	1,25	4С4О1Л1Б	21,52 ± 0,4	19,0 ± 0,4	3,5 ± 0,07	129,3 ± 5,9
7	3,1	4С2Л2Б2О	19,33 ± 0,4	14,7 ± 0,3	4,9 ± 0,04	90,2 ± 3,9
8 (фон)	1,4	5С4Б1Л	33,0 ± 0,7	25,1 ± 0,5	17,5 ± 0,35	167,2 ± 8,2

Как видно из табл. 1 средние таксационные показатели сосны обыкновенной в условиях городской среды довольно однородны и сопоставимы. Исключение составляет фоновая пробная площадь, которая имеет несколько больший возраст и значительно большую высоту, чем городские участки сосновых насаждений. Диаметр деревьев на пробных площадях зависит от возраста, абсолютно одновозрастных древостоев на пробных площадях нет. Хотя, как и в целом по Иркутской области, древостои можно назвать одновозрастными лишь условно, так как имеют естественное происхождение. На рисунке представлена зависимость среднего диаметра деревьев и их возраста.

Как видно из рисунка, диаметр и возраст взаимосвязаны, коэффициент корреляции составляет 0,735. По результатам обработки материалов резистограмм получены следующие средние показатели по модельным деревьям на пробных площадях: средняя ширина годичного слоя в мм, количество годичных слоев в 1 см, средняя относительная плотность по данным резистографа, средняя плотность древесины в кг/м³. Полученные данные исследований сопоставлялись со справочными данными для древесины сосны обыкновенной, произрастающей в Восточной Сибири [5]. Полученные данные представлены в табл. 2.

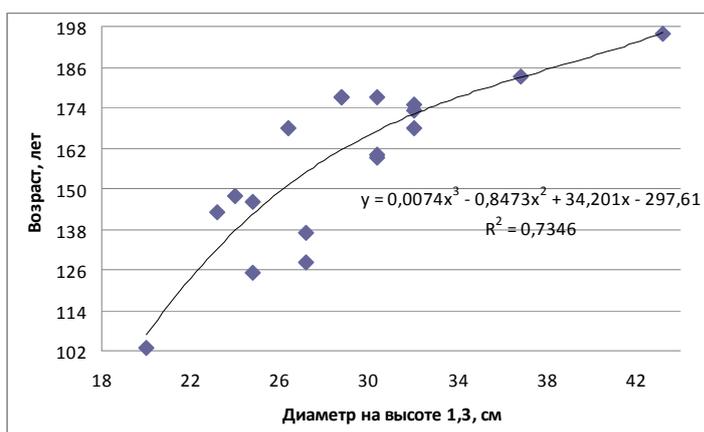


Рис. Зависимость диаметра деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробных площадях

Таблица 2

Средние показатели свойств древесины сосны на пробных площадях

№ п/п	Среднее количество годовичных слоев в 1 см	Средняя ширина годовичного слоя, мм	Относительная плотность по данным Resistograph®, %	Средняя плотность по данным Resistograph®, кг/м ³	Средний процент гнили в стволе в % от диаметра	Стандартные данные		
						Среднее количество годовичных слоев в 1 см	Средняя ширина годовичного слоя, мм	Средняя плотность, кг/м ³
1	4,23	2,36	13,3	101,2	14,1	11,2	0,89	465
2	4,22	2,26	18,7	139,7	53,0			
3	6,05	1,65	15,0	113,2	26,4			
4	5,41	1,84	14,9	103,8	49,9			
5	5,04	1,98	14,4	107,6	31,9			
6	4,73	2,11	13,4	100,4	36,7			
7	3,84	2,60	14,0	104,4	34,6			
8	5,50	1,82	14,8	111,4	45,4			

Как видно из представленных результатов исследований и статистической обработки, практически все обследованные деревья имеют гниль и пониженную плотность в средней или сильной стадии развития. Наименьший процент гнили наблюдается на 1 пробной площади (14,1 %), наибольший – на второй (53,0 %). Средняя ширина годовичного слоя на счет лучшего светового режима, чем в лесу довольно большая – 1,65...2,60 мм, что почти в 2,4 раза выше, чем для стандартных данных, также плотность древесины за счет значительного процентного содержания гнили ниже стандартной в 4,2 раза.

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать выводы, что в городских условиях деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) вступают в стадию естественной спелости, которая характеризуется наличием гнилей, болезней и приводит к гибели растений примерно в 2 раза быстрее за счет повышенных рекреационных нагрузок, большого количества механических повреждений, высокого уровня загрязнения воздуха, чем сосна, произрастающая в естественных условиях роста. Показатели состояния древесины ствола требует отнесения деревьев к опасным или аварийным, требующих постепенной замены на более молодые деревья.

Список литературы

1. Рунова Е. М., Гаврилин И. И. Зеленые насаждения в условиях урбоэкосистемы и перспективы озеленения г. Братска // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск, 2010. № 25. С. 153–156.
2. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. ОСТ 56-69-83. Издание официальное. Утвержден и введен в действие приказом Государственного комитета СССР по лесному хозяйству от 23 мая 1983 г., № 72. М., 1983. 69 с.
3. Шарапов Е. С., Чернов В. Ю. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. Т. 18. № 2. С. 89–95.
4. Rinn F. EineneueBohrmethodezurHolzuntersuchung // Holz-Zentralblatt. 1989. № 15(34). S. 529–530.
5. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине / под ред. Б. Н. Уголева. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.

УДК 630*232.311.3

В. А. Сиволапов,

к. с.-х. н. директор филиала ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Воронежской области», г. Воронеж, РФ,
Vladimir-Sivolapov@yandex.ru

А. И. Сиволапов,

к. с.-х. н. профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет», г. Воронеж РФ,
Aleksey-Sivolapov@yandex.ru

Т. А. Благодарова,

к. с.-х. н., с. н. с. селекции и семеноводства ФГБУ «Всероссийский НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии», г. Воронеж, РФ,
Tana-Blagodarova@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТКАНИ В ДРЕВЕСИНЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ТОПОЛЕЙ К СЕРДЦЕВИННОЙ ГНИЛИ

*Устойчивость тополей к сердцевинной гнили зависит от содержания механической ткани в древесине отдельных биотипов. Проведены анатомо-гистологические исследования у отобранных форм тополей подрода *Leuce Duby*. Установлено, что темно-грубокорая форма тополя белого (*Populus alba*), исполинская и крупнолистная форма тополя сереющего (*Populus canescens Sm.*) содержат более 60 % механической ткани и, тем самым, эти формы более устойчивы к ложному осиновому трутовику (*Fomes orientalis*). Эти формы отличаются также увеличенным древесинным волокном, достигающим до 1,7 мм длины. Отобранные формы рекомендуется использовать для защитного и плантационного лесоразведения.*

Ключевые слова: темно-грубокорая форма тополя белого, исполинская и крупнолистная форма тополя сереющего, механическая ткань древесины, древесинное волокно.

V. A. Sivolapov,

k. of agr. sc., branch Manager FBI «Branch of the Russian Centre for Forest Protection»-«Centre for Forest Protection of Voronezh Region»,
Vladimir-Sivolapov@yandex.ru

A. I. Sivolapov,

k. of agr. sc., Professor of the Department of Forest Plantations, Breeding and Forest Melioration, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov»,
Aleksey-Sivolapov@yandex.ru

T. A. Blagodarova,

k. of agr. sc. Senior researcher breeding and seed production «All-Russian Research Institute of Forest, Genetics, Breeding and Biotechnology»,
Tana-Blagodarova@yandex.ru

CONTENT OF MECHANICAL TISSUE IN WOOD AND RESISTANCE OF POPLARS TO HEART ROT

*The resistance of poplars to heart rot depends on the content of mechanical tissue in the wood of individual biotypes. Anatomical and histological studies of the selected poplar forms of the subgenus *LeuceDuby* were carried out. It was found that the dark coarse form of the white poplar (*Populus alba*), the gigantic and large-leaved form of the gray poplar (*Populus canescens Sm.*) contain more than 60 % mechanical tissue and, thus, these forms are more resistant to the false aspen tinder fungus (*Fomes orientalis*). These shapes are also distinguished by increased wood fiber, reaching up to 1.7 mm in length. The selected forms are recommended to be used for protective and plantation afforestation.*

Keywords: dark-coarse-brown form of white poplar, gigantic and large-leaved form of gray poplar, mechanical tissue of wood, wood fiber.

Отбор на устойчивость к сердцевинной гнили, вызываемой ложным осиновым трутовиком (*Fomes orientalis*) необходимо исследовать гистологический состав тканей, который зависит от генотипа, его возраста и условий произрастания [6, 9, 10]. При селекционном отборе тополя большое значение имеет изучение анатомо-гистологических особенностей древесины, так как строение древесины зависит в первую очередь от биологии вида и его наследственных особенностей. На строение древесины влияют условия произрастания, возраст дерева и другие факторы [6–8, 10].

Известно, что более сильное развитие механической ткани в древесине тополей повышает их устойчивость к сердцевинной гнили [6, 8, 9 и др.]. Наши исследования по Сычевкой осине [6] подтверждают это положение. Гистологический состав ткани определялся по Хестеру и Спринг [1–3, 11]. Для этого на срезах, сделанных микротомом определяли состав тканей (сосуды, либриформ, сердцевинные лучи) с помощью точечного интеграционного окуляра и специальных суммирующих машин. Этот метод отличается высокой эффективностью и точностью (около 1 %). Поперечные срезы изучали под биологическим микроскопом при увеличении окуляра × 12,5, объектива × 10. Все изученные деревья

произрастают в поймах рек Хопра и Дона на свежих и влажных почвах и являются эталонами отобранных форм (табл.).

Т а б л и ц а

Гистологический состав тканей древесины на поперечных срезах периферийных слоев плюсовых деревьев тополя белого и сереющего

Название тополя, № дерева	Форма тополя	Сосуды, %	Либриформ, %	Сердцевинные лучи, %	Сумма, %
Хоперский заповедник					
Сереющий № 1	Крупнолистная	34	57	9	100
Сереющий № 6	Осиноподобная	41	51	8	100
Белый № 9	Темно-грубокорая	26	65	9	100
Белый	Гребенчатокорая	41	52	7	100
Белый № 8	Типичная	43	51	6	100
Богучарское лесничество					
Сереющий № 4	Типичная	46	44	10	100
Сереющий № 5	Крупнолистная	32	57	11	100
Сереющий № 6	Узкокронная осиноподобная	28	63	9	100
Сереющий № 8	Узкокронная	32	55	13	100
Белый	Узкокронная	32	56	12	100
Давыдовское лесничество					
Сереющий № 3	Исполинская	29	64	7	100

Деревья тополя белого № 1, 3, 9 (Хоперский заповедник) имеют близкий между собой возраст (около 80 лет), произрастают в одинаковых условиях. Различия в гистологическом составе древесины обусловлены, по-видимому, генотипическим влиянием. Эти деревья отличаются по рисунку коры. Наибольшее содержание механической ткани у темно-грубокорой формы тополя белого (65 %). Деревья тополя сереющего в Хоперском заповеднике и Богучарском лесничестве имеют возраст 42–60 лет и только одно дерево № 3 в Давыдовском лесничестве имеет возраст 43 года. По А. С. Яблокову [9, с. 153], устойчивые против гнили формы осины имеют более плотную древесину, состоящую преимущественно из механической ткани (либриформа), содержание которой от 64 % и выше. Малоустойчивые против сердцевинной гнили формы осины имеют, как правило, рыхлую, мягкую древесину, в годичных слоях которых механической ткани имеется лишь 50 %. Повышенный иммунитет к заболеваниям сердцевинной гнилью у форм осины, обладающих более плотной древесиной, А. С. Яблоков [9, с. 153] объясняет тем, что из-за меньшего количества сосудов и сердцевинных лучей в их древесине создаются значительно менее благоприятные условия для распространения грибницы.

Наши исследования гистологического состава древесины на примере плюсовых деревьев показали, что узкокронная и темно-грубокорая форма тополя белого имеют высокий процент либриформа – соответственно 56 и 65 %. Морфологические особенности этих форм, быстрый рост выделяют их среди белых тополей в лучшую категорию деревьев, перспективных для разведения. Тополь сереющий узкокронной формы также отличается повышенным содержанием механической ткани. Тополь сереющий №3 исполинской формы (тополь Приярский) и № 6 узкокронной формы имеют в составе древесины 63–64 % либриформа. В связи с этим они отличаются высокой плотностью древесины и устойчивостью к гнили.

Изучалась также толщина стенок и диаметр древесинного либриформа. Результаты изучения показывают, что наблюдается некоторая корреляция между плотностью древесины и толщиной стенок либриформа: чем толще стенки древесинного волокна, тем выше плотность древесины.

Древесинные волокна тополя белого имеют меньшую толщину стенки либриформа, чем тополь сереющий. Однако гребенчатокорая форма тополя белого, у которой свилеватая древесина представляет исключение, имеет очень толстые стенки либриформа (6,5 мкм), приближаясь по этому показателю к дубу. Крупнолистная форма тополя сереющего также имеет большой диаметр и толстые стенки либриформа. Тополь сереющий №1 (исполинской формы) уже в 23 года имеет высокие показатели древесинного волокна.

Диаметр волокна колеблется у тополя белого от 29,4 мкм до 33,7 мкм; у тополя сереющего от 27,0 мкм до 35,5 мкм. Об использовании древесины тополей для производства картона, целлюлозы и бумаги сообщается в ряде работ [4–8, 9, с. 153 и др.]. А. А. Яценко-Хмелевский [10] придавал большое значение определению длины волокна как одному из показателей пригодности древесины для бумажной и гидролизной промышленности. Н. Günther [1, 6] подчеркивал, что этот вопрос недостаточно изучается, хотя он имеет большое значение для производства картона и бумаги. Длина волокна у осины изучалась по методике Яценко-Хмелевского [6, 9, 10 и др.]. П. Л. Богданов отмечал, что то-

поля по сравнению с елью имеют короткое волокно, равное в среднем 1,0–1,3 мм. По его данным, древесина спелых деревьев тополя белого имеет в среднем длину волокна 1,02, осокоря – 1,06, осокоря – 1,28, ели – 3,02 мм [6]. Однако еще Комаров и Яковлев в своих опытах показали, что целлюлоза из некоторых видов тополей получается довольно хорошая и может быть применена при производстве бумаги [6].

Существуют длиноволокнистые и коротковолокнистые формы тополей. Нами изучалась длина волокна у плюсовых деревьев тополя белого, осокоря и ивы в Хоперском заповеднике в различных годовичных слоях ствола [6, с. 79].

При сравнении отдельных видов семейства Salicaceae в одном и том же возрасте, больших различий в длине волокна не наблюдается: так, в 19–20 лет у тополя белого длина либриформа равна 1,04 мм, у ивы белой – 0,94 мм, у осокоря – 0,82 мм; в 50 лет у тополя белого – 1,08 мм, у ивы белой – 1,00 мм, у осокоря – 1,10 мм. У осокоря в 20 лет длина волокна несколько меньше, чем в этом возрасте у тополя белого и ивы. К 50 годам длина либриформа выравнивается, и у осокоря в 50 лет она значительно больше, чем у тополя белого в 81 год. У отдельных деревьев (тополь белый № 2 и № 7) имеются различия в длине волокна; так у дерева № 7 в 20 лет длина волокна 1,04 мм, а у дерева № 2 в 38 лет длина волокна – 0,87 мм. Образцы для анализа брались из слоев, относящихся к одному и тому же календарному году. С возрастом длина либриформа увеличивается [6–8 и др.]. Наши исследования показывают, что длина либриформа резко увеличивается до 10–15 лет, а затем идет незначительное увеличение. Поэтому отбор тополя сереющего на длину волокна можно достоверно проводить с возраста 20–30 лет, когда последнее достигает типичной для дерева длины. Отобранные плюсовые деревья тополя сереющего в пойме рек Хопра и Дона имеют более длинное волокно, чем у тополя белого.

Отобранные формы рекомендуется использовать для защитного и плантационного лесоразведения.

Список литературы

1. Косиченко Н. Е. Анатомо-гистохимический метод ранней диагностики зимостойкости гибридных тополей // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород. Воронеж : ЦНИИЛГиС, 1975. Вып. 2. С. 162–168.
2. Леонтьев Н. Л. Таблицы физико-механических свойств древесных пород СССР : техн. бюлетьень. М. : ЦНИИМОД, 1940. 88 с.
3. Леонтьев Н. Л. Техника испытания древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1970. 160 с.
4. Перелыгин Л. М., Уголев Б. Н. Древесиноведение. М. : Лесн. пром-сть, 1971. 286 с.
5. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Сиволапов А. И. Тополь сереющий: генетика, селекция, размножение : монография. Воронеж : ВГУ, 2005. 157 с.
7. Ширнин В. К. Проблемы и перспективы развития исследований по селекции на качество древесины // Генетика и селекция в лес-ве. Воронеж : ЦНИИЛГиС ; М., 1991. С. 177–185.
8. Ширнин В. К. Развитие и перспективы селекции на качество древесины // Строение, свойства и качество древесины – 2004 : тр. IV междунар. симпозиума. 13–16 сент. 2004. Секция 1 – Анатомия, физиология, дендрохрон. СПб. : СПбГЛТА, 2004. Т. 1. С. 145–149.
9. Яблоков А. С. Селекция древесных пород. М. : Сельхозиздат, 1962. 488 с.
10. Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1954. 338 с.
11. Höster H.-R. und Spring Ch. Zur Bestimmung von Zellartenanteilen im Holzgewebe // Mikroskopie. 1971, bd. 27. S. 220–225.

УДК 581.524.346

О. Н. Тюкавина,

к. с.-х. н., доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова», г. Архангельск, РФ,
o.tukavina@narfu.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ

В статье рассматривается влияние характеристик древесины ствола сосны на скорость прохождения звукового импульса в нем. Скорость звукового импульса в здоровой древесине стволов сосны в насаждении относительно стабильна. Снижение скорости звука в поперечном сечении ствола на 23 % способствует увеличению радиального прироста на 48 % и снижению плотности древесины на 22 %. Высокая значимая теснота связи скорости прохождения звука в поперечном сечении ствола с радиальным приростом и плотностью древесины позволяет использовать ее в качестве интегрального показателя качества древесины сосны. Скорость звука в древесине сосны менее 1000 м/с может указывать на наличие в ней деструкции.

Ключевые слова: качество древесины, сосна, скорость прохождения звуковых импульсов, акустическая томография.

О. N. Tyukavina,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation,
o.tukavina@narfu.ru

EVALUATION OF THE PINE STEM WOOD QUALITY BY ACOUSTIC TOMOGRAPHY

The article deals with the influence of the pine trunk wood characteristics on the velocity of sound impulse. The velocity of sound impulse in the healthy pine trunks wood in the stand is a relatively stable. Reducing the velocity of sound in the cross section of the trunk by 23 % contributes to an increase in radial growth by 48 % and a decrease in the density of wood by 22 %. The high significant tight connection between the velocity of sound impulse in the cross-section of the trunk with the radial growth and density of the wood allows us to use it as an integral indicator of the quality of pine wood. The velocity of sound in pine wood less than 1000 m/s may indicate the presence of destruction in it.

Keywords: wood quality, pine, velocity of sound, acoustic tomography.

Исследования скорости звука в древесине актуальны в лесном хозяйстве, так как позволяют оценить состояние дерева, а также в лесопромышленном комплексе – для выявления скрытых дефектов в древесине. Акустическая томография оказалась одной из эффективных и успешно примененных технологий для выявления внутренних дефектов древесины [1–3]. Учитывая, что звуковая волна распространяется быстрее в древесине с большей плотностью [2] акустическая томография может найти применение для оценки качества древесины.

Цель исследования – оценка влияния характеристик древесины ствола сосны на скорость прохождения в нем звукового импульса.

Исследования проводилось в Архангельском лесничестве, где охватывались наиболее распространенные типы леса (ПП № 1 – ПП № 4), в Березниковском (ПП № 5) и Верхнетоемском (ПП № 6 – ПП № 8) лесничестве. Древостои приспевающие и спелые с примесью ели и березы в черничном, кисличном типах леса, чистые в сосняке брусничном и сфагновом. Пробная площадь № 1 – сосняк черничный средняя высота 22 м, средний диаметр 23 см, относительная полнота 0,7. Пробная площадь № 2 – сосняк черничный, средняя высота 22 м, средний диаметр 24 м, относительная полнота 0,57. Пробная площадь № 3 – сосняк кустарничково-сфагновый осушенный, средняя высота 16 м, средний диаметр 18 см, относительная полнота 0,65. Пробная площадь № 4 – сосна по верховому болоту, средняя высота 10 м, средний диаметр 15 см, относительная полнота 0,3. Пробная площадь № 5 – сосняк черничный, средняя высота 21 м, средний диаметр 32 см, относительная полнота 0,35. Пробная площадь № 6 – сосняк черничный, средняя высота 23 м, средний диаметр 28 см, относительная полнота 0,58. Пробная площадь № 7 – сосняк брусничный, средняя высота 22 м, средний диаметр 30 см, относительная полнота 0,49. Пробная площадь № 8 – сосняк кисличный, средняя высота 21 м, средний диаметр 28 см, относительная полнота 0,6.

Внутреннюю диагностику состояния деревьев проводили с помощью импульсного томографа Арботомна высоте 1,3 м у 15–20 модельных деревьев. Расстояние между сенсорами составляло не более 10 см. Скорость звука в древесине определяли по плоскостной графике, построенной по усредненным встречным значениям, с набором цветов «Радуга». Более широкая цветовая гамма данной опции позволяет более точно показать изменения значений скорости звуковых импульсов в плоскостной графике. На этой же высоте с северной стороны бурили керн.

Средний радиальный прирост в сосняках черничных северной подзоны тайги значимо не отличается (табл. 1), скорость звука составляет в среднем 1755 м/с.

В средней подзоне в аналогичных насаждениях радиальный прирост на 48 % больше по сравнению с северной подзоной тайги, что привело к снижению плотности древесины на 22 % и снижению скорости звука в древесине на 23 %.

Отмечается очень высокая обратная значимая теснота связи между скоростью прохождения звука в древесине и радиальным приростом ($r = -0,94$ при $t = 32,2$) и очень высокая значимая теснота связи между скоростью прохождения звука в древесине и её плотностью ($r = 0,92$ при $t = 24,9$). Следовательно, скорость прохождения звука в древесине сосны может выступать интегральным показателем качества древесины сосны.

В сосняках черничных подбирали деревья с различными патологиями. Наличие патологий проверяли по кернам. Скорость звукового импульса в древесине с различными патологиями оценивали по двумерным томограммам, полученным с помощью Арботома. Согласно полученным материалам можно составить примерную шкалу, приведенную в таблице 2.

Таблица 1

Радиальный прирост и скорость прохождения звука в древесине сосны

Показатели	Северная подзона тайги				Средняя подзона тайги			
	С. чер*	С. чер	С. куст.-сф. ос.	С. по болоту	С. чер	С. чер	С. бр.	С. кис.
Радиальный прирост, мм	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,5 ± 0,1	2,4 ± 0,2	2,5 ± 0,3	2,0 ± 0,3	3,0 ± 0,5
Скорость прохождения звука в древесине, м/с	1762 ± 66	1748 ± 66	1725 ± 46	2191 ± 61	1495 ± 102	1359 ± 28	1484 ± 88	1378 ± 44
Условная плотность, г/см ³	0,49 ± 0,013	0,44 ± 0,014	0,4 ± 0,012	0,58 ± 0,009	0,38 ± 0,012	0,38 ± 0,018	0,4 ± 0,015	0,39 ± 0,022

* С. чер – сосняк черничный; С. куст.-сф.ос. – сосняк кустарничково-сфагновый осушенный; С. бр. – сосняк брусничный, С. кис. – сосняк кисличный.

Таблица 2

Скорость звукового импульса в древесине сосны с патологиями

Состояние древесины	Скорость звука, м/с
Древесина без патологий	1200–1900
Засмоление	более 1900
Сучки	более 1000
Древесина с 1-й стадией гнили	900–1000
2-й стадией гнили	800–900
3-й стадией гнили	менее 800
Раковая рана, морозобойная трещина	600–1000

У здорового дерева на плоскостной графике поперечного сечения ствола сосны отмечается равномерная окраска. Скорость звука 1300 м/с. Скорость звукового импульса в древесине выше 1300 м/с указывает на отсутствие в ней гнили. Скорость звука в древесине сосны менее 1000 м/с может указывать на наличие в ней деструкции, но необходимо дополнительное подтверждение.

Однако участки деструкции небольшой площади не отражаются на плоскостной графике. Это может происходить в случае, если гниль развивается выше по стволу и спускается «языками», распространяясь в отдельных годичных кольцах. Участок деструкции располагался кольцом протяженностью в радиальном направлении 1,5 см. При этом скорость звукового импульса в поперечном сечении ствола составляла 1200–1400 м/с.

Скорость звукового импульса в древесине сосны, относящейся к категории состояния свежий сухостой, не поврежденной грибницей составляет 1300 м/с. Участок древесины со скоростью звука 730 м/с характеризуется наличием процессов деструкции.

Скорость звукового импульса в здоровой древесине стволов сосны в пределах насаждения относительно стабильный показатель. Снижению скорости звука в поперечном сечении ствола на 23 % способствует увеличение радиального прироста на 48 % и снижение плотности древесины на 22 %. Высокая значимая теснота связи скорости прохождения звука в поперечном сечении ствола с радиальным приростом и плотностью древесины позволяет использовать ее в качестве интегрального показателя качества древесины сосны. Скорость звука в древесине сосны менее 1000 м/с может указывать на наличие в ней деструкции.

Список литературы

1. Liang S., Fu F. Relationship analysis between tomograms and hardness maps in determining internal defects in euphrates poplar// Wood Research. 2012. 57 (2). P. 221-230.
2. Wang L., Xu H., Zhou C., Li L., Yang X. Effect of sensor quantity on measurement accuracy of log inner defects by using stress wave // Journal of Forestry Research. 2007. 18 (3). P. 221-225.
3. Yang X., Luo J. Study on stress wave non-destructive testing of bending resistance characteristics of logs // World Automation Congress Proceedings. 2012. No 6321170. P. 496-502.

УДК 57.045

Е. А. Тюткова,

к. б. н., научный сотрудник лаборатории ФХБДР, ФГБНУ «Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН», г. Красноярск, РФ,
tyukatie@gmail.com

И. А. Петров,

к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории мониторинга леса ФГБНУ «Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН»,
г. Красноярск, РФ,
petrovilsoran@gmail.com

С. Р. Лоскутов,

д. х. н., зав. лабораторией ФХБДР, ФГБНУ «Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН», г. Красноярск, РФ,
lsr@ksc.krasn.ru

ОТКЛИК *BETULA TORTUOSA* LEDEB И *LARIX SIBIRICA* LEDEB, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЭКОТОНЕ АЛЬПИЙСКОЙ ЛЕСОТУНДРЫ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ, НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

*Приведены результаты сравнительного анализа физико-химических свойств древесины лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb) и березы (*Betula tortuosa* Ledeb) на изменение климата в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау, полученные с использованием метода термогравиметрии на примере десяти последовательных годовичных колец. Анализ корреляционной связи термических параметров и климатических факторов (температура, осадки) показал, что целлюлоза и лигнин ранних и поздних трахеид у березы извилистой оказались более чувствительными к климатическим изменениям, чем таковые у лиственницы сибирской. Выявлено, что главным образом погодные условия июня-августа определяют компонентный состав ранней и поздней древесины березы. Температура воздуха оказывает заметное влияние на компонентный состав при синтезе клеточных стенок ранней и поздней древесины, осадки – поздней.*

Ключевые слова: термогравиметрия, древесина, *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, климат.

Е. А. Tyutkova,

Candidate of Biological Sciences, Researcher, Laboratory of Woody Plant Physical and Chemical Biology, V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation,
tyukatie@gmail.com

I. A. Petrov,

Candidate of Biological Sciences, Researcher, Forest Monitoring Laboratory, V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation,
petrovilsoran@gmail.com

S. R. Loskutov,

Doctor of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Woody Plant Physical and Chemical Biology, V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation,
lsr@ksc.krasn.ru

RESPONSE OF *BETULA TORTUOSA* LEDEB AND *LARIX SIBIRICA* LEDEB FOUND IN THE EKOTONE OF THE ALPINE FOREST-TUNDRA ECOTONE OF KUZNETSK ALA TAU TO CLIMATE CHANGE

We applied thermogravimetric analysis to ten successive growth rings of Siberian larch and the same number of mountain birch individuals sampled in the alpine forest-tundra ecotone of Kuznetsk Ala Tau mountain ridge to compare physical and chemical responses of the species wood to climate change. Our analysis of the correlation of the wood thermal parameters with air temperature and precipitation revealed that early and latewood cellulose and lignin in the birch were more sensitive to climatic changes as compared to the larch. June-August weather conditions appeared to largely control the chemical composition of the birch early and latewood. Air temperature had a marked influence during synthesis of both early and latewood cell walls, whereas precipitation influenced only latewood.

Keywords: thermogravimetry, wood, *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, climate.

Быстрое и значительное текущее потепление климата и его влияние на растительные сообщества вызывает множество дискуссий во всем мире. Особое внимание привлекает экотон альпийской лесотундры, где воздействие климата на рост древесной растительности является наиболее выраженным [1–3]. В литературе до настоящего времени не был получен ответ на вопрос, как при межсезонном и внутрисезонном изменении погодных условий роста модифицируются свойства самих клеточных стенок.

Цель работы: сравнительный анализ физико-химических свойств древесины лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb) и березы (*Betula tortuosa* Ledeb) на изменение климата в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау.

Методы исследования

Исследования выполнялись в экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау. Кузнецкий Алатау включает несколько ориентированных с севера на юг хребтов длиной до 300 км с максимальными высотами до 2200 м [4].

Датировка годовых слоев на взятом с деревьев спилах проводилась на измерительном комплексе LINTAB v6.0. Раннюю и позднюю древесину в годовых слоях разделяли под микроскопом при десятикратном увеличении. Экстрактивные вещества образцов древесины лиственницы удаляли по методу настаивания с использованием спирто-толуольной смеси [5]. Приготовленные экспериментальные образцы (10 образцов ранней и 10 поздней древесины) кондиционировали до равновесной влажности с окружающей средой, влажность которой была близка к 65 % при температуре 20 ± 2 °С.

Термический анализ образцов древесины осуществлялся с помощью методов термогравиметрии (ТГ/ДТГ) с использованием прибора TG 209 F1 (“NETZSCH”, Германия) [6–9].

Результаты и их обсуждения

Из рисунка 1 видно, что показатель термодеструкции целлюлозы ($\Delta m_{\text{целл}}$) в ранней древесине у березы извилистой положительно связан с температурой июня ($r = 0,77$ при $P \geq 0,99$), а в поздней $\Delta m_{\text{целл}}$ положительно связан с сентябрьскими температурами ($r = 0,83$ при $P \geq 0,99$). Термодеструкция лигнина ($\Delta m_{\text{лиг}}$) в ранней древесине у березы отрицательно связана с июльскими температурами ($r = -0,71$ при $P \geq 0,99$), а $\Delta m_{\text{лиг}}$ в поздней древесине положительно связана с августовскими температурами ($r = -0,73$ при $P \geq 0,99$).

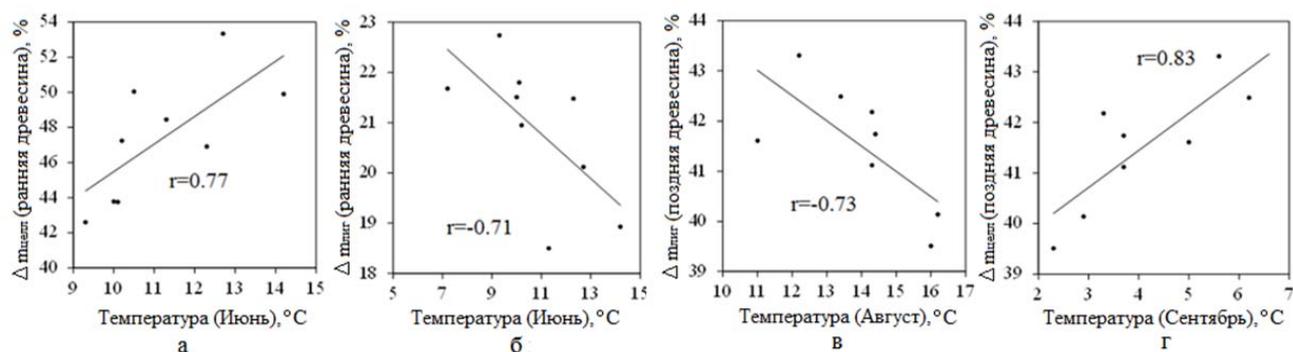


Рис. 1. Зависимость показателей потери массы древесинного вещества у *Betula tortuosa* Ledeb от температуры воздуха:

а – целлюлоза в ранней древесине, июнь; б – лигнин в ранней древесине, июль; в – лигнин в поздней древесине, август; г – целлюлоза в поздней древесине, сентябрь

$\Delta m_{\text{целл}}$ в поздней древесине березы отрицательно связан с апрельскими осадками ($r = -0,72$ при $P \geq 0,99$), у поздней древесины показатель $\Delta m_{\text{лиг}}$ «чувствителен» к августовским осадкам, связь отрицательная ($r = -0,82$ при $P \geq 0,99$) (рис. 2).

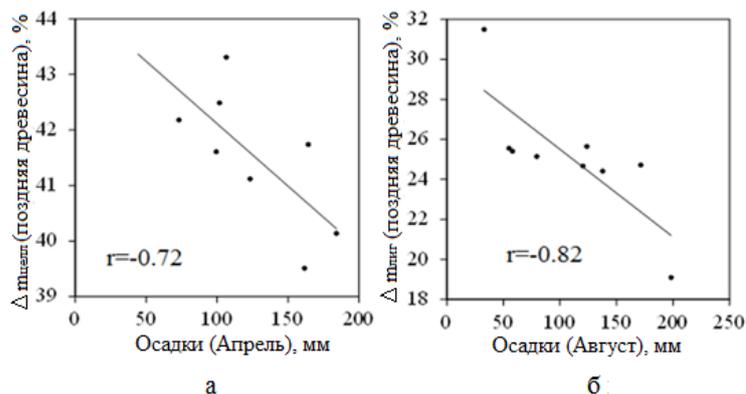


Рис. 2. Зависимость показателей потери массы древесинного вещества у *Betula tortuosa* Ledeb от среднемесячного количества осадков:

а – целлюлоза в поздней древесине, апрель; б – лигнин в поздней древесине, август

Термические показатели испарения влаги ($\Delta m_{\text{вода}}$), связанной в стенках поздних трахеид лиственницы сибирской, достоверно коррелируют с температурой воздуха: в июне $\Delta m_{\text{вода}}$ положительно связан с температурой воздуха ($r = 0,84$ при $P \geq 0,99$), в июле отрицательно ($r = -0,70$ при $P \geq 0,99$) (рис. 3).

Выводы

Предложен новый подход к решению одной из актуальных научных задач – установления влияния климатических факторов на физико-химические показатели древесины видов *Betula tortuosa* Ledeb и *Larix sibirica* Ledeb в экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау на основе использова-

ния метода термогравиметрии. Практическая значимость полученных результатов заключается в открывающейся возможности количественного прогнозирования последствий современного потепления: оценки экологической пластичности строения и свойств стволовой древесины у деревьев, образующих экотон горной лесотундры. Совместное применение современных высокоинформативных и экспрессных физико-химических методов исследования и методов дендроклиматического анализа позволит детализировать картину влияния изменяющихся климатических факторов на рост основных лесообразующих видов таежных лесов.

Погодные условия сезона роста исследованных видов по-разному влияют на соотношение основных полимерных компонентов в клеточных стенках ранних и поздних трахеид у березы извилистой и лиственницы сибирской.

Береза извилистая:

1. В **апрельский** период предсезонной реактивации камбия при обильных осадках уменьшается массовая доля целлюлозы у березы извилистой.

2. Повышение температуры в **июне** ведет к ускорению процесса образования целлюлозы и замедлению лигнификации.

3. При повышенной температуре **июля** процесс лигнификации клеточных стенок замедляется.

4. **Августовские** осадки так же определяют пониженное содержание лигнина в клеточных стенках.

5. При повышенной температуре **сентября** ускоряется образование целлюлозы.

Лиственница сибирская:

1. Повышение температуры воздуха в **июне** ведет к аккумуляции связанной воды в поздней древесине.

2. Высокие значения температуры воздуха **июля** ведут к уменьшению массовой доли влаги в клеточных стенках поздней древесины.

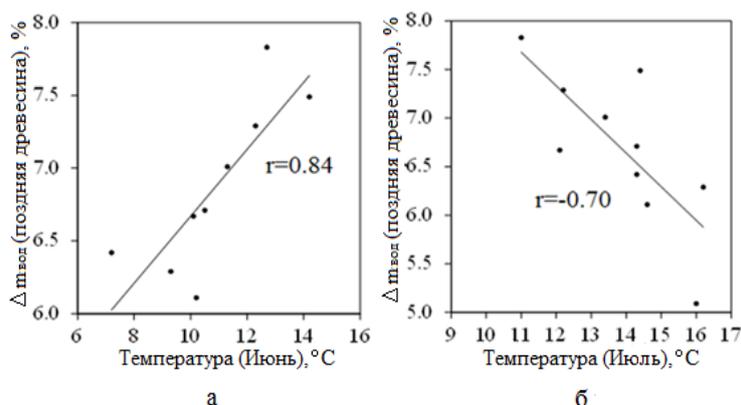


Рис. 3. Зависимость показателей потери массы древесинного вещества у *Larix sibirica* Ledeb от температуры воздуха: а – связанная вода в поздней древесине, июнь; б – связанная вода в поздней древесине, июль

Список литературы

- Holtmeier F.-K. Mountain Timberlines: Ecology, Patchiness, and Dynamics. Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2009. 437 p.
- Гамалей Ю. В. Клеточные системы растений // Физиология растений. 2008. № 2. С. 300–311.
- Гамалей Ю. В. Кривофиты Евразии: происхождение и структурно-функциональная специфика // Ботанический журнал. 2011. № 12. С. 1521–1546.
- Петров И. А., Двинская М. Л., Им С. Т. Реакция хвойных экотона альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау на изменение климата // Сибирский экологический журнал. 2011. № 4. С. 518–527.
- Poletto M., Dettenborn J., Pistor V, Zeni M., Zattera A. J. Materials Produced from Plant Biomass. Part I: Evaluation of Thermal Stability and Pyrolysis of Wood // Materials Research, 2010. № 13. P. 375–379.
- Speer J. H. Fundamentals of tree-ring research. Tucson: University of Arizona Press, 2010. 360 p.
- Poletto M., Zattera A. J., Forte M. M. C., Santana R. M. C. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size // Bioresource Technology, 2012, № 109. P. 148–153.
- Jin W., Singh K., Zondlo J. Pyrolysis kinetics of physical components of wood and wood-polymers using isoconversion method // Agriculture. 2013. № 3. P. 12–32.
- Лоскутов С. Р., Шапченкова О. А., Анискина А. А. Термический анализ древесины основных лесообразующих пород Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 12–32.



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.049.3

Г. С. Варанкина,

д. т. н., профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», Санкт-Петербург, РФ,
varagalina@yandex.ru

К. Г. Каунов,

магистрант 2 года обучения, кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», Санкт-Петербург, РФ,
kaunovspbgtu@yandex.ru

Д. С. Русаков,

к. т. н., доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», Санкт-Петербург, РФ,
dima-ru25@mail.ru

ТЕРМОМОДИФИКАЦИЯ КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФАНЕРЫ

В настоящее время проблема уменьшения водопоглощения древесины решается ее модификацией – либо путем создания защитной плёнки на поверхности, либо глубокой автоклавной пропиткой древесины мономерами с последующей термообработкой, либо ацетилизацией. Длительный эффект гидрофобизации древесины может быть обеспечен за счет блокировки гидроксильных групп, изменяя плотность сшивки лигноуглеводного комплекса, наполнения капиллярно-пористой структуры древесины гидрофобизаторами. Модификация древесины применяется и для того, чтобы сделать древесину более устойчивой к изменению размеров и прочности без использования средств защиты. В ходе работы установлен положительный эффект влияния маслотермообработки на снижение разбухания и водопоглощения фанеры при сохранении ее прочности. Предварительно определены параметры маслотермообработки, относительно которых может быть проведена оптимизация условий маслотермообработки.

Ключевые слова: строительная фанера, термомодификация фанеры, пропитка фанеры, водопоглощение фанеры.

G. S. Varankina,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Structures Made of Wood, St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, RF,
varagalina@yandex.ru

K. G. Kaunov,

2-year undergraduate student, department of technology of materials, structures and structures made of wood, St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, RF,
kaunovspbgtu@yandex.ru

D. S. Rusakov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Structures from Wood, St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, RF,
dima-ru25@mail.ru

THERMOMODIFICATION AS A METHOD OF PROTECTION CONSTRUCTION PLYWOOD

At present, the problem of reducing the water absorption of wood is being solved by modifying it – either by creating a protective film on the surface, or by deep autoclave impregnation of wood with monomers followed by heat treatment, or by acetylation. The long-term effect of hydrophobization of wood can be ensured by blocking hydroxyl groups, changing the density of cross-linking of the ligno-carbohydrate complex, filling the capillary-porous structure of wood with water repellents. modification of wood is also used to make wood more resistant to dimensional changes and strength without the use of protective equipment. in the course of the work, a positive effect of the influence of oil heat treatment on the reduction of swelling and water absorption of plywood was established while maintaining its strength. The parameters of oil heat treatment have been preliminary determined, in relation to which the optimization of the conditions of oil heat treatment can be carried out.

Keywords: construction plywood, thermal modification of plywood, impregnation of plywood, water absorption of plywood.

Увеличение объёмов малоэтажного жилищного строительства стимулирует развивать направление создания новых материалов, особенно из древесины, способных эксплуатироваться в условиях с переменной влажностью и температурой. В этих условиях древесина – материал нестабильный:

особенности химического и структурного строения древесины обуславливают ее гигроскопичность. Увеличение влажности древесины приводит к ее загниванию, сокращению срока службы изделий и конструкций из древесины [1]. Без своевременно и правильно проведенной защиты такие изделия и конструкции не долговечны.

В настоящее время проблема уменьшения водопоглощения древесины решается ее модификацией – либо путем создания защитной пленки на поверхности, либо глубокой автоклавной пропиткой древесины мономерами с последующей термообработкой, либо ацетилизированием. Длительный эффект гидрофобизации древесины может быть обеспечен за счет блокировки гидроксильных групп, изменяя плотность сшивки лигноуглеводного комплекса, наполнения капиллярно-пористой структуры древесины гидрофобизаторами [1]. Модификация древесины применяется и для того, чтобы сделать древесину более устойчивой к изменению размеров и прочности без использования средств защиты [2]. В последние 10–15 лет бурно развивались и достигли стадии практического применения технологии термической модификации древесины (ТМД).

Промышленное значение термообработка приобрела после 90-х годов XX века: новые исследования в данной области начали проводить в Финляндии, Германии, Франции, Нидерландах. Известные на сегодняшний день технологии, по которым работает ряд зарубежных и российских предприятий: Barkett; Thermowood; West-Wood; BuaPezdyuz; ProcessPlato. Общий объем производимой термодревесины составляет 150 тыс. м³ в год, причем рынок сбыта непрерывно растет [3]. В процессе термообработки, используемой указанными фирмами, древесина теряет свою природную прочность. Это делает ее непригодной для использования в качестве несущего конструкционного строительного материала. Такой материал применяют для изготовления декоративных обшивок, наружных дверей, погонажно-строительных изделий, садовой мебели, транспортных поддонов и напольных покрытий.

В Санкт-Петербургском лесотехническом университете разработан способ термообработки массивной древесины, предварительно пропитанной модифицированным талловым маслом (МТМ) лиственных пород [3]. Обнаружен эффект химического взаимодействия МТМ с древесиной, позволяющий получать водоотталкивающий материал без потери прочностных свойств. Эта технология имеет существенные преимущества перед используемыми в настоящее время в промышленности способами ТМД. Ее отличительная черта – повышение гидрофобности, биостойкости и получение нетоксичного материала. Разбухание массивной древесины уменьшается в три раза и составляет 4 %, водопоглощение почти в пять раз и составляет – 10 % [3]. Данный способ защиты является поверхностным, поэтому его можно использовать для готовых деталей из массивной и слоистой древесины.

Фанера является одним из широко применяемых материалов для строительства, как в качестве обшивки, так и несущих элементов конструкций благодаря ее экономичности, сокращению сроков строительства и окупаемости капиталовложений [4]. Однако и фанере присущи все указанные отрицательные свойства древесины, проявляющиеся при температурно-влажностных воздействиях на нее [5, 6]. В связи с этим, вопрос её защиты от атмосферных воздействий является актуальным.

Задачей, рассматриваемой на данном этапе работы, явилось выяснение взаимодействия между МТМ и древесным комплексом в процессе маслотермообработки, а также влияния процесса маслотермообработки на разбухание и водопоглощение фанеры. Для обработки фанеры были выбраны следующие условия: длительность термообработки варьировалось от 2 до 8 часов с шагом 2 часа, температура термообработки оставалась постоянной – 160 ± 5 °С.

Разбухание и водопоглощение определяли согласно ГОСТ 9621–72. Для исследований использовали образцы размерами 100 × 100 мм фанеры из шпона древесины лиственницы, склеенного фенолоформальдегидной смолой марки СФЖ-3014. Толщина образцов фанеры в зависимости от слоистости составила: 3-слойной – 4 мм; 7-слойной – 15 мм.

Минимальные значения водопоглощения и разбухания при сохранении достаточной прочности при скалывании – 1,0–1,2 МПа согласно ГОСТ 3916.2–2018 (1,0 МПа) имели образцы фанеры, прошедшие маслопропитку при температуре 140 °С в течение 90 мин и термообработку в течение 6 ч (табл.). К примеру, для образцов 7-слойной фанеры (толщина 15 мм) они составили за 24 ч пребывания в воде соответственно 14 % и 3 %. Образцы 7-слойной фанеры, прошедшие маслопропитку при температуре 110 °С в течение 30 мин и термообработку в течение 2 ч, разбухли на 6 %, а воды поглотили 20 %.

Таким образом, в ходе работы установлен положительный эффект влияния маслотермообработки на снижение разбухания и водопоглощения фанеры при сохранении ее прочности. Предварительно определены параметры маслотермообработки, относительно которых может быть проведена оптимизация условий маслотермообработки.

Изменение водопоглощения и разбухание образцов фанеры в зависимости от длительности пребывания в воде

Объект	Длительность выдержки в воде, сут							
	1		5		10		14	
	$\Delta W_{вд}$	P_o	$\Delta W_{вд}$	P_o	$\Delta W_{вд}$	P_o	$\Delta W_{вд}$	P_o
Толщина фанеры 4 мм, слойность 3								
Фанера (контрольный образец)	41	12	58	15	61	16	64	18
Фанера маслотермообработанная – режим А	30	10	45	14	47	14	61	15
Фанера маслотермообработанная – режим Б	26	9	39	12	42	13	59	14,3
Толщина фанеры 15 мм, слойность 7								
Фанера (контрольный образец)	22	7	35	9	40	9,7	46	15
Фанера маслотермообработанная – режим А	18	4,2	30	7	32	7,5	43	9
Фанера маслотермообработанная – режим Б	14	3	25	6	27	7	41	8

Примечание. $\Delta W_{вд}$ – водопоглощение в %; P_o – разбухание в %.

Режим маслопропитки:

А: температура – 110 °С, длительность – 0,5 ч; Б: температура – 140 °С, длительность – 1,5 ч.

Режим термообработки: температура – 160 ± 5 °С, длительность – 6 ч.

Список литературы

1. Покровская Е. Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений : монография. М. : Изд-во АСВ, 2003. 104 с.
2. Прието Дж., Кине Ю. Древесина. Обработка и декоративная отделка / пер. с немецкого к. х. н. М. В. Поляковой. М. : Пейнт-Медиа, 2008. 392 с.
3. Чубов А., Царев Г. По стопам древних викингов. Маслотермомодификация древесины // ЛесПром-Информ. 2008. № 4(53). С. 156–157.
4. Орлов А. Т., Стрижев Ю. Н. Новое в технологии слоистой клееной древесины. М. : Лесная промышленность, 1980. 144 с.
5. Матюшенкова Е. И., Чубов А. Б., Царев Г. И. Термохимическая защита древесины // Леса России в XXI веке : материалы второй международной научно-практической интернет-конференции. Ноябрь 2009 г. / под ред. авторов ; Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С. М. Кирова. СПб., 2009. С. 66–67.
6. Хрулев В. М. Модифицированная древесина в строительстве. М. : Стройиздат, 1986. 112 с.

УДК 674.815

Т. Н. Вахнина,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома, РФ, t_vachnina@mail.ru

И. В. Сусоева,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома, РФ, i.susoeva@yandex.ru

К. А. Кураленок,

студентка ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома, РФ

ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫЕ ПЛИТЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Рассмотрен способ повышения физико-механических свойств ДСтП путем использования модифицированного фенолоформальдегидного связующего (ФФС). В работе изготавливались плитные материалы на основе модифицированного ФФС. Использованным комплексным модификатор «сульфосалициловая кислота $C_7H_7O_7S$ + хлорид железа $III FeCl_3$ ». Для изготовленных образцов определялись показатели: предел прочности при статистическом изгибе, предел прочности при растяжении пласти плиты, разбухание по толщине после 24 ч пребывания в воде. Для плитных материалов оценена длительная водостойкость после трех недель пребывания в воде.

Ключевые слова: древесно-стружечные плиты, стружка, связующее, модификатор, прочность, разбухание, водостойкость.

T. N. Vakhnina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, t_vachnina@mail.ru

I. V. Susoeva,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
i.susoeva@yandex.ru

K.A. Kuralenok,

student Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation

WOOD CHIPS WITH IMPROVED PERFORMANCE INDICATORS

A method for improving the physical and mechanical properties of particle board by using a modified phenol-formaldehyde binder (PFB) is considered. In the work, plate materials were manufactured based on modified PFB. The complex modifier "sulfosalicylic acid $C_7H_7O_7S$ + iron III chloride $FeCl_3$ " was used. For the manufactured samples, the following indicators were determined: ultimate strength in statistical bending, ultimate tensile strength of the plate layer, swelling in thickness after 24 h in water. For board materials, long-term water resistance was assessed after three weeks in water.

Keywords: chipboard, shavings, binder, modifier, strength, swelling, water resistance.

Древесно-стружечные плиты (ДСтП) нашли широкое применение в мебельной промышленности и в небольшой степени – в строительстве. Это объясняется тем, что строительство предъявляет повышенные требования к физико-механическим показателям плит.

Водостойкость – один из главных факторов, определяющий область применения ДСтП. Высокая гидрофобность плит препятствует широкому применению их в качестве материала для настила полов, обшивки помещений, устройства встроенной мебели и других строительных целей. Без дополнительных воздействий для повышения водостойкости ДСтП на фенолоформальдегидном связующем (ФФС) не имеют длительной стойкости к переменным влажностным воздействиям [1].

Существуют различные способы повышения водостойкости плит. Высокую водостойкость придает использование гидролитически устойчивых связующих. Так, в работе М. да С. Бертолини и Ф. А. Рокко использовано полиуретановое связующее с добавкой касторового масла, оксидов хрома, меди и бора [2]. Однако следует отметить, что стоимость полиуретанового связующего значительно выше, чем фенолоформальдегидного. В отечественной практике научных исследований применяются в качестве модификаторов для повышения водостойкости шунгитовый наполнитель [3], фурфууролацетоновый мономер ФА [4].

Для модификации ФФС необходимо использовать добавки, которые могут встраиваться в структуру отвержденного связующего, а также химические соединения, обладающие свойствами комплексообразователей. Одной из таких добавок является сульфосалициловая кислота. При нагревании выше температуры плавления сульфосалициловая кислота разлагается с образованием фенола и салициловой кислоты. Для сульфосалициловой кислоты характерны реакции как в ядро, так и по функциональным группам.

В работе была выдвинута гипотеза, что возможно путем введения в композицию ФФС сульфосалициловой кислоты повысить водостойкость плит за счет изменения структуры отвержденного связующего.

Имеется практический опыт использования сульфосалициловой кислоты в качестве добавки к карбамидоформальдегидному связующему [5]. В XX в. Л. Ф. Физер проводил экспериментальные исследования с использованием добавки сульфосалициловой кислоты к карбамидоформальдегидному связующему 80–90 %-ной концентрации.

Структура сульфосалициловой кислоты $C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$ представлена на рис. 1.

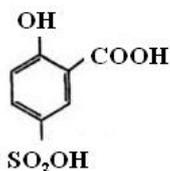


Рис. 1. Структура сульфосалициловой кислоты

При нагреве сульфосалициловой кислоты она разлагается с выделением фенола и салициловой кислоты [5], которые участвуют в процессе отверждения связующего с образованием большого числа поперечных связей. Чем больше поперечных связей в сетке отвержденного связующего, тем выше прочность и стойкость полимера [6, 7], а следовательно, и древесно-стружечной плиты на его основе.

Однако, применение сульфосалициловой кислоты в чистом виде при одном и том же составе связующего для внутреннего и наружных слоев плит, может вызвать ситуацию, когда связующего в наружных слоях ДСтП будет отверждено полностью, а во внутреннем слое недоотверждено.

Выдвинутые теоретические предположения были проверены экспериментально. Изготавливались плиты с разным составом клеевой композиции: 1 – на КФС; 2 – на КФС с добавкой парафиновой эмульсии (ПЭ); 3 – на ФФС; 4 – на ФФС с сульфосалициловой кислотой $C_7H_7O_7S$; 5 – на ФФС с ком-

плексным модификатором (сульфосалициловая кислота $C_7H_7O_7S+$ хлорид железа $III FeCl_3$). Средние арифметические определения показателей плит представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Среднее арифметическое показателей плит

Партия плит	Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$, МПа	Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти $\sigma_{р}$, МПа	Разбухание ДСтП по толщине, %
1	18,9	0,34	26,0
2	10,5	0,27	17,6
3	19,45	0,35	14,9
4	23,37	0,42	16,2
5	25,67	0,38	9,1

Было выполнено исследование влияния состава связующего на длительную водостойкость плит. Образцы плит измерялись и помещались в воду, извлекались из воды и повторно замерялись через 2, 24, 48, 72, 96 и 504 ч. Определялось разбухание плит по толщине после пребывания в воде, график изменения показателя представлен на рис. 2.

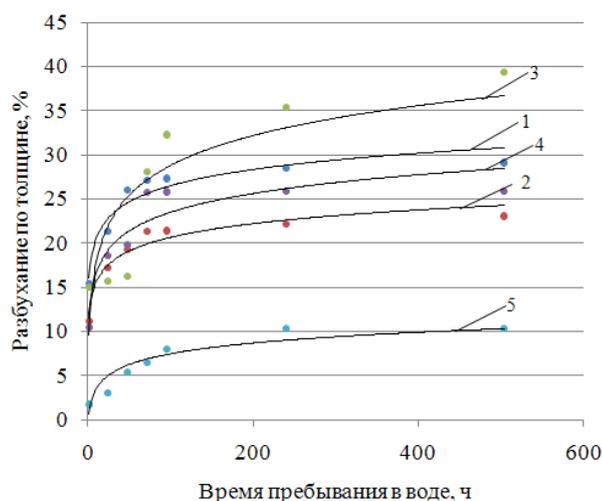


Рис. 2. Изменение разбухания плит по толщине:

1 – плиты на КФС с ПЭ; 2 – на ФФС с сульфосалициловой кислотой; 3 – на КФС; 4 – на ФФС; 5 – на ФФС с комбинированным модификатором

Исследование показало, что модификаторы сульфосалициловая кислота (ССК) и комбинированный «ССК + хлорид железа» придают длительную водостойкость, в варианте с комбинированным модификатором – повышенную. Сформирована устойчивая структура связующего, дальнейшее разбухание остановлено.

Плиты имеют повышенную прочность и водостойкость, что дает возможность применять их для производства изделий строительного назначения, эксплуатирующихся при колебаниях влажности.

Список литературы

1. Susoeval. V., Vahmina T. N., Titunin A. A., Asatkina J. A. The performance of composites from vegetable raw materials with changes in temperature and humidity // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 3(71). С. 39–50.
2. Bertolinia M. da S., Lahra F. A. R., Nascimentoa M. F. do, Agnellib J. A. M. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated pinussp. and castor oil resin // Materials Research. 2013. № 16(2). P. 293–303.
3. Панов Н. Г., Рожков С. С., Питухин А. В. Повышение водостойкости трехслойных древесно-стружечных плит на основе карбамидоформальдегидной смолы при введении наноразмерного шунгитового наполнителя в связующее // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 8(121). С. 88–91.
4. Угрюмов С. А., Осетров А. В. Древесно-стружечные плиты на основе модифицированных фенол-формальдегидных связующих // Строительные материалы. 2016. № 7. С. 74–79.
5. Физер Л., Физер М. Реагенты для органического синтеза. М. : Мир, 1970. Т. 3. 445 с.
6. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб. : Лань, 2010. 624 с.
7. Тагер А. А. Физикохимия полимеров. М. : Химия, 1978. 544 с.

УДК 674

А. Н. Гончар,

зам. директора по научной работе, СООО «СинерджиКом», г. Минск, РБ,
agonchar@synergyhorizon.com

В. А. Литвиненко,

нач. испытательной лаборатории, СООО «СинерджиКом», г. Речица, РБ,
vlitvinenko@synergyhorizon.com

А. А. Кожемяко,

аспирант 2 года, зам. ген. директора по производству, ОАО «Витебскдрев», г. Витебск, РБ,
kozhenyako.a@wood.by

Е. В. Дубоделова,

к. т. н., доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, РБ,
katedubodelova@tut.by

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ

Предложено использование продуктов окислительной деструкции гидролизного лигнина в виде поверхностно-активных веществ на основе очищенного поликарбоксилатного лигнина S-Drill™ CL марка А производства СООО «СинерджиКом» для повышения эффективности связующих для древесных плит. Использование кислой модификации лигниновых реагентов в качестве ускорителя отверждения позволяет обеспечить повышение производительности плитных производств до 9 % путем увеличения пресс-фактора за счет снижения времени желатинизации величину от 20 до 50 %, снизить расход карбамидоформальдегидных олигомеров при сохранении требуемого межгосударственными и европейскими стандартами уровня физико-механических показателей древесных плит.

Ключевые слова: карбамидоформальдегидные смолы, гидролизный лигнин, очищенный поликарбоксилатный лигнин, древесные плиты, отвердитель.

A. N. Gonchar,

R&D chief, SynergyCom SOOO, Minsk, Republic of Belarus,
agonchar@synergyhorizon.com

V. A. Litvinenko,

head of the testing laboratory, SynergyCom SOOO, Rechitsa, Republic of Belarus,
vlitvinenko@synergyhorizon.com

A. A. Kazhamiaka,

postgraduate student 2 years, Deputy General Director for producing, JSC Vitebskdrev, Vitebsk, Republic of Belarus,
kozhenyako.a@wood.by

Ye. V. Dubodelova,

PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Woodworking Technology, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,
katedubodelova@tut.by

USE OF HYDROLYSIS OXIDATION PRODUCTS LIGNIN TO INCREASE EFFICIENCY BINDERS FOR WOOD BOARDS

It has been proposed to use the products of oxidative destruction of hydrolysis lignin in the form of surfactants based on purified polycarboxylic lignin S-Drill™ CL grade A produced by SynergyCom SOOO to improve the binders efficiency for wood-based panels. It has been found that the utilization of an acidic modification of these lignin reagents as hardening accelerators makes it possible to increase the productivity of board production up to 9 % by increasing the press factor due to reducing the gelatinization time by a decrease of 20 to 50 %, to reduce the consumption of urea-formaldehyde oligomers while maintaining the required interstate level and European standards of physical mechanical indicators for wood-based panels.

Keywords: urea-formaldehyde resins, hydrolysis lignin, purified polycarboxylic lignin, wood-based panels, hardener.

В процессе получения гидролизного спирта из биомассы древесины образуется технический лигнин, который можно охарактеризовать в связи со сложностью его природы, многовариантностью структурных звеньев и связей между ними, нестойкостью, высокой степенью загрязненности как сложное для промышленной переработки сырье [1]. Несмотря на то, что гидролизный лигнин является ценным источником химического сырья, его в настоящее время в основном сжигают в энергетических установках или захоранивают в могильниках. СООО «СинерджиКом» организовало производство по глубокой переработке отвалов гидролизного лигнина, скопившихся при функционировании гидролизного завода в г. Речица (РБ), в целях его валоризации. В то же время, в ряде зарубежных научных изданий, например работе, подготовленной коллективом авторов под руководством проф. М. Ю. Балакшина (Aalto University, Финляндия), отмечены возможности широкого применения продуктов валоризации технических лигнинов в деревообрабатывающей промышленности [2]. Исходя из химического состава

лигниновых реагентов линейки S-Drill™ CL производства ООО «СинерджиКом», характеризующихся значительным количеством активных функциональных групп с высокой склонностью к поликонденсации [1, 3], а именно метоксильных ($-\text{OCH}_3$), гидроксильных ($-\text{OH}$), карбоксильных ($-\text{COOH}$) и фенольных ($-\text{PhOH}$), нами было принято решение о проведении исследований по изучению возможности их применения в композиции древесных плит (древесностружечные, древесноволокнистые плиты, OSB).

В настоящее время для производства древесных плит широкое применение нашли связующие на основе карбамидоформальдегидных смол (КФС), что связано с их низкой стоимостью по сравнению с другими синтетическими клеями при хорошей адгезионной способности, быстром переходе в отвержденное состояние при нагреве, низкой вязкости при высокой концентрации, возможности регулирования вязкости и концентрации при введении в композицию. Для ускорения процесса отверждения карбамидоформальдегидных олигомеров используют кислые соли аммония (сульфат, персульфат, нитрат аммония и др.), а также слабые органические кислоты (например, щавелевая), которые вводятся как индивидуально, так и в смеси, в том числе с акцепторами формальдегида (карбамид, карбамидо-аммиачные удобрения). Данная смесь носит название связующее [4]. В то же время эти связующие в связи со значительными расходами (до 14 % к массе абс. сух. древесины) являются источником свободного формальдегида из листовых древесных материалов, также они обладают средней водостойкостью и образуют достаточно жесткое клеевое соединение. Все это требует поиска способов повышения эффективности связующих на основе карбамидоформальдегидных олигомеров. Поэтому интересны работы по модифицированию смол в процессе синтеза, их физическому совмещению с высоко реакционноспособными олигомерами, позволяющих получить более шитую структуру в системе связующее – древесина и, следовательно, сократить расход карбамидоформальдегидных смолы выделение свободного формальдегида при производстве древесных плит.

Для достижения поставленной цели нами был использован прием физического совмещения КФС с кислой модификацией лигнинового реагента «S-Drill™ CL» марка А, представляющего собой поверхностно-активное вещество на основе очищенного поликарбоксилатного лигнина (ТУ ВУ 490850780.008-2016), при выполнении им функции отвердителя (ускорителя отверждения).

Для оценки скорости отверждения использовали показатель времени желатинизации связующего, который определяли по методике, изложенной в ГОСТ 14231–88 «Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия». Для оценки адгезионной способности связующего проводили определение предела прочности при растяжении поклеевого шва размером 15×15 мм, сформированного из полосок березового шпона размером 15×200 мм.

Результаты типичного поведения лигнинового реагента «S-Drill™ CL» марка А при его использовании в качестве отвердителя в сравнении с классически применяемым в технологии древесных плит сульфатом аммония приведены на рис. 1 и 2.

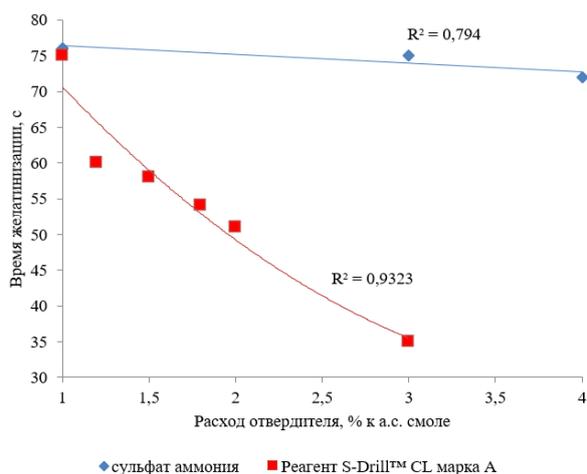


Рис. 1. Зависимость времени желатинизации карбамидоформальдегидной смолы от расхода отвердителя

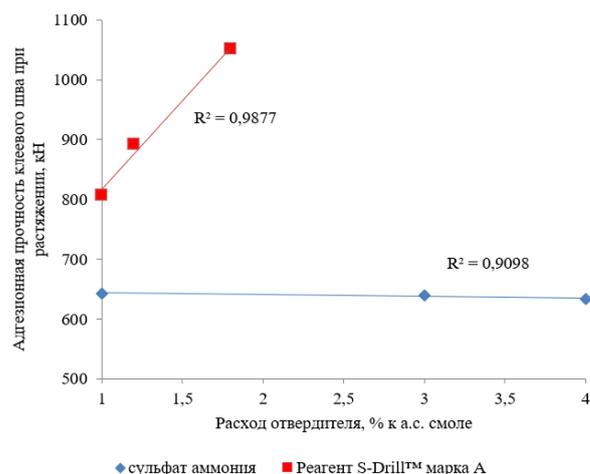


Рис. 2. Зависимость адгезионной прочности клевого шва при растяжении от расхода отвердителя

Из рис. 1 видно, что в интервале расходов от 1 до 3 % наблюдается снижение времени желатинизации от 70 до 35 с, что значительно ниже значений, получаемых на сульфате аммония. Это связано с кислой природой функциональных групп лигнинового реагента «S-Drill™ CL», который катализирует реакцию поликонденсации смолы, что может обеспечить повышение производительности

плитных производств до 9 % за счет увеличения пресс-фактора. При этом (см. рис. 2), значительное повышение адгезионной прочности клеевого шва, наблюдаемое для лигнинового реагента (800–1050 кН) в интервале расходов от 1 до 2 %, по сравнению с достигаемыми величинами на КФС, отвержденной сульфатом аммония (порядка 650 кН), позволит, по нашему мнению, уменьшить расход смолы при сохранении требуемого уровня физико-механических показателей древесных плит и, следовательно, снизить выделение из них свободного формальдегида.

Результаты исследований находятся на стадии опытно-промышленной апробации в условиях работы цехов по производству древесноволокнистых плит сухого способа производства ОАО «Витебскдрев», древесностружечных плит – ОАО «Речицадрев».

Список литературы

1. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров : учебник. 2-е изд., испр. СПб. : Лань, 2010. 624 с.
2. Balakshin M. Yu. and et. New Opportunities in the Valorization of Technical Lignins // CemSuSChem. Volume 14, Issue 4, February 18, 2021. pp. 1016–1036. URL: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cssc.202002553> (дата обращения: 26.02.2021).
3. Божелко И. К., Янушкевич А. А., Дубоделова Е. В. Технология деревообработки : учеб.-метод. пособие. Минск : БГТУ, 2019. 210 с.
4. Терентьева Э. П., Удовенко Н. К., Павлова Е. А. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров : учебное пособие / СПбГТУРП. СПб., 2015. Ч. 2. 83 с.

УДК 691.14

А. А. Лукаш,

докт. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, РФ, mr.luckasch@yandex.ru

Н. П. Лукутцова,

докт. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, РФ, natluk58@mail.ru

К. П. Колотвин,

магистрант 1 года, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, РФ, k.kolotvin33@mail.ru

К. В. Разрезов,

магистрант 1 года, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, РФ, razrezowkirill@gmail.com

А. Феллух,

аспирант 1 года, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, РФ, fellouhabdo@gmail.com

КОМПОЗИТ ИЗ ОТХОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВСИНЫ МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

В статье установлено, что обширные запасы древесины мягких лиственных пород и низкая стоимость сырья обуславливают перспективность ее выращивания и применения в малоэтажном домостроении. Показано, что лучшим способом отходов от механической обработки является использование для производства композитов строительного назначения. Выявлены недостатки существующих технологических способов уменьшения отрицательного влияния содержащихся в древесине сахаридов на прочность древесно-цементных композиций. Предложено новое техническое решение по устранению негативного влияния экстрагируемых веществ на процесс твердения композитов из древесины мягких лиственных пород за счет применения карбамидоформальдегидного клея. В результате исследований установлено влияние расходов клея и дробленки, продолжительности выдержки после формования на прочность стружечно-клеявого композита. Решена оптимизационная задача при ограничениях с учетом технико-экономических факторов процесса, установлены рациональные условия получения стружечно-клеявого композита марки М10. Определены основные эксплуатационные показатели стружечно-клеявого композита прочность при сжатии, теплопроводность, коэффициент водопоглощения.

Ключевые слова: древесные композиты, структурообразование, сахариды, дробленка, расход клея, прочность при сжатии, коэффициент водопоглощения.

A. A. Lucas,

Doct. tech. Sciences, Associate Professor, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russia, mr.luckasch@yandex.ru

N. P. Lukutsova,

Doct. tech. Sciences, Professor, Bryansk state engineering-technological University, Bryansk, Russia, natluk58@mail.ru

K. P. Kolotvin,

master's degree student 1 year, Bryansk state engineering-technological University, Bryansk, Russia,
k.kolotvin33@mail.ru

K. V. Razrezov,

master's degree student 1 year, Bryansk state engineering-technological University, Bryansk, Russia,
razrezowkirill@gmail.com

A. Fellah,

graduate student 1 year, Bryansk state engineering-technological University, Bryansk, Russia,
fellouhabdo@gmail.com

COMPOSITE FROM WASTE OF MECHANICAL PROCESSING OF SOFT DECIDUOUS WOOD

The article shows that the vast reserves of soft deciduous wood and the low cost of raw materials determine the prospects of its cultivation and use in low-rise housing construction. It is shown that the best way of waste from mechanical processing is to use it for the production of composites for construction purposes. The disadvantages of existing technological methods for reducing the negative impact of saccharides contained in wood on the strength of wood-cement compositions are revealed. A new technical solution is proposed to eliminate the negative impact of extractable substances on the hardening process of composites made of soft hardwood wood by using urea-formaldehyde glue. The results of studies on the influence of the consumption of glue and crushing, the duration of exposure after molding on the strength of the chip-glue composite are presented. The optimization problem is solved under constraints, taking into account the technical and economic factors of the process, and the rational conditions for obtaining a chip-glue composite of the M10 brand are established. The main performance indicators of the chip-glue composite compressive strength, thermal conductivity, and water absorption coefficient are determined.

Keywords: wood composites, structure formation, saccharides, crushing, glue consumption, compressive strength, water absorption coefficient.

При механической переработке древесины образуются отходы в количестве от 40 до 60 % от объема перерабатываемого сырья. Наилучшим вариантом переработки отходов является производство композитов для домостроения. Вторичное использование отходов механической обработки позволяет также решить и экологические проблемы.

Чаще всего из мелких древесных частиц получают арболит. При его производстве необходимо учитывать химическое строение древесины. В состав клеточной стенки входят водорастворимые сахара, содержание которых составляет до 23 % в хвойной древесине и в лиственной древесине – до 38 %. Щелочная среда цементного теста способствует экстракции из древесины этих веществ. Установлен механизм структуро-образования древесных композитов в зависимости от вида вяжущего вещества, способа обработки древесного заполнителя и последовательности ввода компонентов. Спектрометром в березовой дробленке идентифицирована д-эритроза, относящаяся к экстрагируемым мономерным сахаридам [1, с. 38].

Предложено новое техническое решение по устранению негативного влияния экстрагируемых веществ на процесс твердения композитов из древесины мягких лиственных пород [2, с. 12]. Применение быстротвердеющего органического вяжущего – карбамидоформальдегидного клея ослабляет влияние сахаридов на процесс твердения.

Водостойкие карбамидоформальдегидные клеи имеют хорошую адгезию к древесине и низкую стоимость. Для ускорения процесса твердения связующего применяют слабые органические кислоты – щавелевую или лимонную кислоту в количестве 4–6 м. ч. на 100 м. ч. смолы.

Проведены исследования и установлено влияние расходов клея и дробленки, продолжительности выдержки после формования на прочность стружечно-клеявого композита. Уровни и интервалы варьирования переменных факторов представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Уровни и интервалы варьирования переменных факторов

Факторы	Обозначения		Интервал варьирования	Уровни варьирования		
	натур. вид	кодир. вид		нижн. –	основ. 0	верхн. +
Расход древесины, кг/м ³	Д	X ₁	29	175	204	233
Расход клея, кг/м ³	К	X ₂	59	262	321	380
Продолжительность выдержки после формования, сут	Т	X ₃	3	3	6	9

Получены математические зависимости прочности стружечно-клеявого композита от расхода клея и дробленки, продолжительности выдержки после формования в натуральном виде:

$$U = -0,912 - 0,015D + 0,0118K + 0,079T + 0,000047 D^2 - 0,00001 K^2 - 0,004T^2,$$

$$175 \leq D \leq 233; 262 \leq K \leq 380; 3 \leq T \leq 6.$$

Влияние факторов режима на прочность композита показано на рисунке.

Установление рациональных условий получения стружечно-клеевого композита марки М10, сделано как решение оптимизационной задачи при ограничениях с учетом технико-экономических факторов процесса.

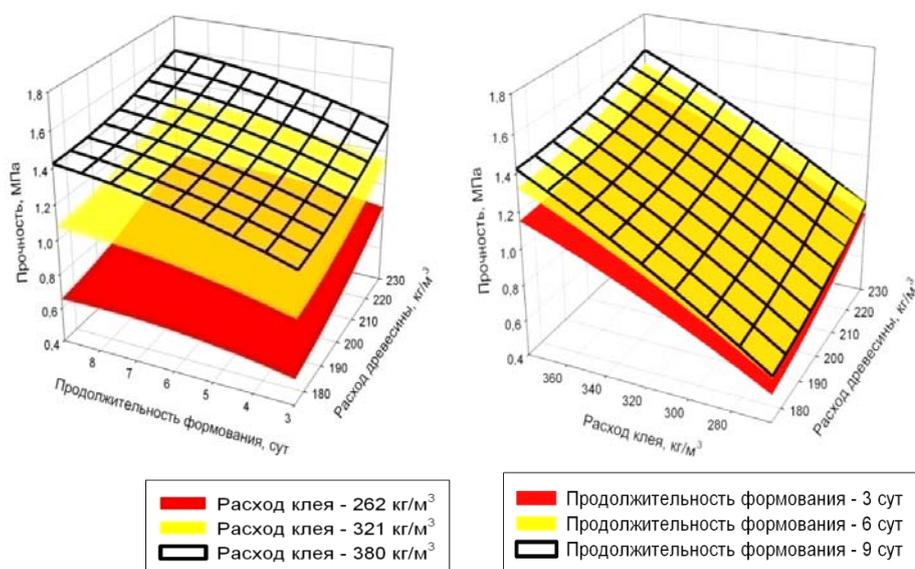


Рис. Зависимость прочности стружечно-клеевого композита при сжатии:

а – от продолжительности формования и расхода древесины мягких лиственных пород;
б – от расхода клея и древесины

На основе исследования влияния расхода древесины, клея и продолжительности выдержки после формования на прочность клееного арболита получены уравнения, которые адекватно описывают процесс. Фактор выдержки после формования T фиксируется на основном уровне, т. к. при увеличении времени выдержки после формования с 6 до 9 суток прочность клееного арболита возрастает всего на 3 %. Расход клея исследуемом диапазоне должен быть минимальным, т. к. стоимость клея значительно превосходит стоимость мелких древесных отходов. Поэтому второй фактор – расход клея фиксируется на нижнем уровне. В качестве ограничения целевой функции принимаем значение прочности арболита при сжатии (Y) для марки М10 составляет 1 МПа. Рациональными условиями получения клееного арболита клееного арболита Марки М10 являются: расход древесины – 190–195 кг/м³, расход карбамидоформальдегидного клея – 262–270 кг/м³, время выдержки после формования – 6 сут. Положительным фактором является также значительное снижение времени выдержки в форме до достижения расплубочной прочности (0,5 ча). При использовании низковязких карбамидоформальдегидных клеев с вязкостью менее 90 с по ВЗ-4 нет необходимости применения дополнительного количества воды. В результате этого влажность клееного арболита после склеивания составляет от 15 до 20 %, что практически соответствует эксплуатационной влажности.

Определены основные эксплуатационные показатели стружечно-клеевого композита: клееного арболита: плотность – 500 кг/м³, прочности при сжатии – 1 МПа коэффициент теплопроводности – 0,095 Вт/(м·К), водопоглощение – 45 %.

Таким образом, установлено следующее.

1. Предложено техническое решение по устранению негативного влияния экстрагируемых веществ на процесс твердения композитов из древесины мягких лиственных пород применением быстротвердеющего органического вяжущего – карбамидоформальдегидного клея.

2. Определены основные эксплуатационные показатели стружечно-клеевого композита: клееного арболита: плотность – 500 кг/м³, прочности при сжатии – 1 МПа коэффициент теплопроводности – 0,095 Вт/(м·К), водопоглощение – 45 %.

Список литературы

1. Лукаш А. А., Лукутцова Н. П. Повышение экологической безопасности композиционных строительных материалов из древесины // Вестник Белгород. госуд. технол. ун-та им. В. Г. Шухова, 2016. № 8. С. 37–41.
2. Пат. 2642757. Российская Федерация, МПК С04В26/00, С04В18/26. Теплоизоляционный клеевой арболит / А. А. Лукаш ; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». № 2016131324; заявл. 28.7.2016; Опубл. 25.1.2018, Бюл. № 3.

УДК 674-419.32

В. О. Манжула,

магистрант 1 курса, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ, v.manzhula@mail.ru

А. И. Криворотова,

к. т. н., доцент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ, tkmkai@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Участие в конференции поддержано Красноярским краевым фондом науки <http://www.sf-kras.ru>

Полученные в результате термомодифицирования положительные изменения свойств массивной древесины стали основой для дальнейшего изучения влияния процесса термомодифицирования древесных полуфабрикатов (шпона, стружки и т. п.) на свойства клееных материалов на их основе. Клееные древесные материалы в современных условиях являются наиболее востребованными как в строительной отрасли и мебельной промышленности, так и в наружной и внутренней отделке. Для изготовления клееных материалов из древесины ее чаще всего перерабатывают до состояния шпона, волокна, стружки или муки. Применение методики термомодифицирования древесных полуфабрикатов для изготовления клееных материалов позволяет улучшить показатели водопоглощения и разбухания, расширить область их применения.

Ключевые слова: клееные древесные материалы, фанера, древесностружечная плита, шпон, стружка, волокно, термомодифицирование.

V. O. Manzhula,

1st year master's student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation, v.manzhula@mail.ru

A. I. Krivorotova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation, tkmkai@mail.ru

RESEARCH OF PROPERTIES AND DEVELOPMENT OF MODES OF THERMAL MODIFICATION OF WOOD RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF GLUED MATERIALS

The positive changes in the properties of solid wood obtained as a result of thermal modification became the basis for further study of the influence of the process of thermal modification of wood semi-finished products (veneer, chips, etc.) on the properties of glued materials based on them. Glued wood materials in modern conditions are the most popular in the construction industry and the furniture industry, as well as in the exterior and interior decoration. For the production of glued materials from wood, it is most often processed to the state of veneer, fiber, shavings or flour. The use of the method of thermal modification of wood semi-finished products for the manufacture of glued materials allows to improve the water absorption and swelling indicators, to expand the scope of their application.

Keywords: glued wood materials, plywood, particle board, veneer, shavings, fiber, thermal modification.

Термомодифицирование является одним из методов модификации древесины, используемых для изменения таких ее свойств, как стабильность геометрических размеров, водостойкость, биологическая стойкость [4]. Полученные в результате термомодифицирования положительные изменения свойств массивной древесины стали основой для дальнейшего изучения влияния процесса термомодифицирования древесных полуфабрикатов (шпона, стружки и т. п.) на свойства клееных материалов на их основе [5].

На кафедре технологии деревообработки СибГУ им. М. Ф. Решетнева для изучения процессов термомодифицирования древесных материалов была разработана и смонтирована экспериментальная установка. Для обеспечения равномерного и устойчивого расположения образцов и их защиты от тепловых излучения с поверхности стенок установки использована специальная теплоограждающая конструкция. Для контроля температуры термообработки предусмотрен регулятор температуры. Парообразование внутри экспериментальной установки обеспечивается через подведенную систему увлажнения. Дополнительно для исключения неравномерного распределения температурного поля внутри пространства установки был применен осевой вентилятор.

Для исследований на деревоперерабатывающих предприятиях Красноярского края были отобраны пробы древесной стружки, волокна и лущеного шпона. Термомодифицирование выбранных древесных полуфабрикатов проводилось при температуре 160, 180, 20 °С продолжительностью 180 мин.

Древесную стружку влажностью 75–80 % предварительно высушивали в соответствии с выбранным режимом до влажности 20–25 %, выдерживали в течение 24 ч и осуществляли термомодифицирование. Древесное волокно и лущеный березовый шпон подвергались термообработке без дополнительной предварительной подготовки. Термообработанные материалы для охлаждения и нейтрализации возможных напряжений перед дальнейшими исследованиями выдерживались в течение 48 ч.

Изготовление образцов фанеры, древесностружечных и древесноволокнистых плит производилось по стандартным методикам в соответствии с общепринятыми режимами прессования. Параллельно были изготовлены образцы материалов из нетермообработанного сырья. Испытание образцов на физико-механические свойства также проводилось по стандартным методикам [1–3].

Сравнительный анализ физико-механических свойств древесностружечных плит на основе двух видов стружки показал, что древесностружечная плита, изготовленная из термообработанной стружки, имеет меньшую прочность при статическом изгибе в сравнении с плитой на основе нетермообработанной стружки. Прочность при статическом изгибе образцов плиты толщиной 12 мм из термообработанной стружки составила от 10,93 до 12,16 МПа, что соответствует значениям, требуемым ГОСТ 10632-2014, плита на основе нетермообработанной имеет значительно большую прочность от 19,8 до 21,6 МПа. Однако, разбухание по толщине древесностружечной плиты, изготовленной из обычной стружки составило около 21 %, что значительно выше показателя разбухания плиты на основе термообработанной стружки – 12 %.

Физико-механические испытания образцов фанеры, изготовленной на основе карбамидоформальдегидной смолы, показали результаты в значительной степени зависящие от режима термообработки лущеного шпона. Наибольшие показатели прочности при статическом изгибе отмечаются у образцов фанеры изготовленной из шпона модифицированного при температуре 160 °С. Данные образцы имеют прочность практически не отличающуюся от прочности образцов на основе исходного шпона. Средний предел прочности составляет около 78 МПа. Наименьшее значение прочности при статическом изгибе у образцов фанеры изготовленной из шпона модифицированного при температуре 200 °С. Средний предел прочности составляет около 56 МПа. Показатель прочности при скалывании по клеевому слою имеет зависимость аналогичную пределу прочности при статическом изгибе. Наименьшее значение прочности при скалывании по клеевому слою имеют образцы фанеры на основе шпона термомодифицированного при температуре 200 °С (около 1,4 МПа). Это объясняется формированием в результате термообработки на поверхности шпона плотного слоя, препятствующего смачиванию поверхности шпона клеем, снижением шероховатости и, следовательно, снижением адгезионного контакта между клеем и древесиной. Водопоглощение образцов фанеры на основе термомодифицированного шпона по сравнению с образцами фанеры общего назначения снижается на величину от 5,4 до 26,6 %. Разбухание снижается на величину от 8,8 до 43,4 %.

Образцы древесноволокнистых плит на основе термомодифицированного древесного волокна не показали существенных отличий при сравнительном анализе физико-механических свойств с древесноволокнистыми плитами на основе волокна, не подвергавшегося процессу термомодифицирования. Исходя из этого, был сделан вывод о необходимости отдельного подбора параметров режима термомодифицирования для древесного волокна.

Высокотемпературная обработка древесных полуфабрикатов вне зависимости от степени их измельчения является одним из способов повышения физико-механических свойств клееной продукции на их основе. Подбор параметров термомодифицирования, не приводящих к снижению прочностных характеристик клееной продукции, позволяет снизить показатели водопоглощения и разбухания клееных материалов и расширить область их применения.

Список литературы

1. ГОСТ 3916.1–2018. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.
2. ГОСТ 10632–2014. Плиты древесно-стружечные. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 14 с.
3. ГОСТ 32274–2013. Плиты древесные моноструктурные. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 9 с.
4. Ахметова Д. А., Сафина А. В., Степанова Т. О. Обзор исследований по термомодифицированию // Вестник Деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 4. С. 28–35.
5. Сафин Р. Р., Сафина А. В., Шаяхметова А. Х. Исследование физико-механических свойств термомодифицированной древесины березы // Вестник Технологического университета, 2015. Т. 18. № 4. С. 213–217.

УДК 621.822.001.02

Г. А. Пилюшина,

д. т. н., доцент кафедры ТМиТМ, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск, РФ,
gal-pi2009@yandex.ru

Е. А. Памфилов,

д. т. н., зав. кафедрой ТМиТМ, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск, РФ,
epamfilov@yandex.ru

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

В настоящее время среди композиционных материалов, применяемых в узлах трения машин, особое место занимают материалы из древесины. Однако древесные матрицы обладают низкой теплопроводностью, что отрицательно сказывается на эксплуатационных параметрах подшипников. При недостаточной диссипации зоны трения возможна термическая деструкция древесного материала, приводящая к разрушению функциональных поверхностных слоев и выходу подшипникового узла из строя. Для исключения этих недостатков и улучшения термомеханических характеристик узлов скольжения необходимо добавление базовую антифрикционную матрицу металлических наполнителей, обладающих высокой теплопроводностью. Этим достигается повышение совокупных эксплуатационных характеристик, вследствие проявления синергетического эффекта. В результате можно улучшить прочность, жесткость, теплостойкость, коррозионную стойкость и другие триботехнические свойства подшипников скольжения.

Ключевые слова: композиционные материалы, подшипники скольжения, модифицированная древесина, металлический наполнитель, износостойкость, трение, смазка.

G. A. Pilyushina,

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation,
gal-pi2009@yandex.ru

E. A. Pamfilov,

Doctor of Technical Sciences, Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation,
epamfilov@yandex.ru

COMPOSITE MATERIALS FOR NODES FRICTION OF FOREST COMPLEX MACHINES

Currently, among the composite materials used in the friction units of machines, a special place is occupied by materials made of wood. However, wood matrices have low thermal conductivity, which negatively affects the performance parameters of bearings. With insufficient dissipation of the friction zone, thermal destruction of the wood material is possible, leading to the destruction of the functional surface layers and the failure of the bearing assembly. To eliminate these disadvantages and improve the thermomechanical characteristics of the sliding units, it is necessary to add metal fillers with high thermal conductivity to the basic antifriction matrix. This is achieved by increasing the overall performance characteristics, due to the manifestation of a synergistic effect. As a result, the strength, rigidity, heat resistance, corrosion resistance and other tribotechnical properties of plain bearings can be improved.

Keywords: composite materials, sliding bearings, modified wood, metal filler, wear resistance, friction, lubrication.

Возможность использования композиционных материалов в узлах трения машин лесного комплекса представляет практический интерес. Во многом это связано с тем, что традиционные материалы, используемые для опор скольжения не всегда способны обеспечить долговечность их деталей. Работа подшипников скольжения при высоких удельных нагрузках, при недостаточной смазке, вибрации и реверсивно-вращательном движении вызывают быстрое разрушение вкладышей. Такие условия эксплуатации требуют использования в подшипниковых опорах материалов, сочетающих высокие антифрикционные и разночастотные демпфирующие показатели.

Из материалов, используемых в узлах трения скольжения, значительный интерес представляют композиты на основе модифицированной древесины и металлического наполнителя различной формы и дисперсности, выполненные как в виде отдельных включений, так и в виде армирующей сетки [1–4].

Такие подшипники скольжения хорошо зарекомендовали себя в многофункциональных опорах скольжения, так как обладают рядом достоинств: высокой износостойкостью, уменьшенным шумом, способностью поглощать вибрации, высокой работоспособностью в условиях недостаточной смазки и при ее отсутствии, в абразивной и загрязненной среде. Кроме того, такие материалы позволяют значительно снизить расход дорогостоящих антифрикционных металлических сплавов (бронзы, латуни) обладающих к тому же низкими диссипативными свойствами.

Для создания композиционных материалов древесину модифицируют, пропитывая в различных составах из органических кислот, щелочей, легкоплавкими металлами или растворами их оксидов. Учитывая, что древесина имеет низкий коэффициент теплопроводности, использование в каче-

стве наполнителей металлических материалов, обладающих хорошей теплопроводящими свойствами обеспечивает более интенсивный отвод тепла из зоны фрикционного контакта.

Анализ антифрикционных и виброгасящих свойств этих материалов показал, что более перспективным является применение в конструкциях узлов трения скольжения композиционных материалов, выполненных на основе прессованной модифицированной древесины, и имеющих в своей структуре базовый материал и элементы каркасного металлического наполнителя, что позволяет обеспечить хорошее сочетание необходимых триботехнических характеристик подшипника. Важной особенностью является использование в узле трения смазочного материала в виде водной эмульсии, обеспечивающего такую же работоспособность, как при смазывании минеральными и синтетическими маслами. При изготовлении древесно-металлических материалов кроме химического состава металлической фазы важно учитывать свойства матрицы: породы древесины, направление волокон, технологию модификации, а также соотношение древесной, металлической и упругой составляющих. Немаловажное значение для обеспечения теплофизических характеристик вкладышей имеет плотность композита, то есть плотностью контакта наполнителя и древесной основы.

Из разработанных и испытанных нами конструкций подшипников скольжения хорошую работоспособность показали древесно-металлические вкладыши, имеющие послойное размещение в объеме древесной матрицы сферического наполнителя. Металлические частицы наполнителя имели разные размеры: ближе к рабочей поверхности располагались частицы более крупного диаметра, которые уменьшались по мере удаления от зоны фрикционного контакта. Для исследований функциональных характеристик указанных подшипниковых материалов выбиралась древесина различных пород и способы ее модификации [2].

Поглощение тепловыделения внутри слоев матрицы можно создать используя металлический наполнитель из легкоплавких металлов, в которых значительная часть выделяемого при трении тепла затрачивается на плавление. Температура такого наполнителя при эксплуатации сначала повышается до значения равного температуре плавления металлического наполнителя, а затем выделяемая энергия затрачивается на плавление металла капсулы. Оптимальная температура в зоне трения может регулироваться путем увеличения количества дисперсных частиц, и достижения аккумуляции тепловой энергии при плавлении металла. Оболочка капсулы, изготовленная из меди, алюминия, серебра или бронзы, препятствует растеканию жидкого металла. Оболочка наносится на капсулу химическим или электроискровым методом [2, 3].

Более технологичная конструкция древесно-металлического вкладыша состоит из древесных и металлических чередующихся слоев (рис. а). В данном подшипнике металлический слой представляет собой армирующий элемент, выполненный в виде сплошной металлической полосы или со сквозными отверстиями. Возможно использование в качестве металлического наполнителя мелкоячеистой сетки. Для изготовления вкладыша металлическая полоса навивается на технологическую оправку и чередуется с проклеенными слоями шпона, изготовленного из древесины различных пород. Изменяя толщину древесного шпона и металлических полос можно добиться необходимых триботехнических характеристик композиционного материала. При создании других конструкций металлическая полоса была заменена металлической сеткой или пружиной [4].

С учетом опыта создания древесно-металлических антифрикционных подшипниковых материалов обоснована новая конструкция вкладышей скольжения, обладающая повышенными триботехническими характеристиками. В данном подшипнике металлический наполнитель представляет собой армирующий элемент в виде растянутой пружины, навитой между слоями проклеенной древесины (рис. б).

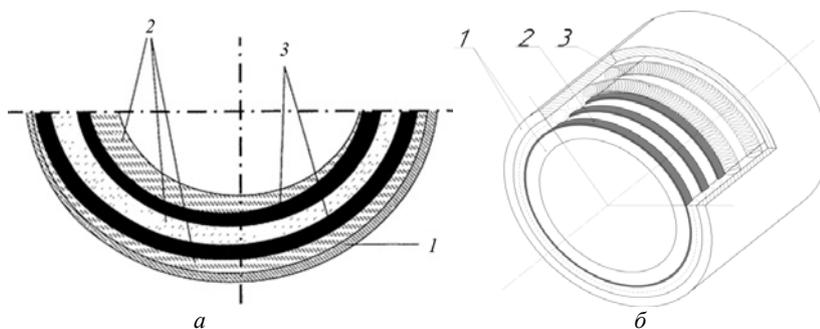


Рис. Древесно-металлические вкладыши подшипника скольжения:

а – схема подшипника из древесных и металлических чередующихся слоев:

1 – опорная втулка; 2 – древесные слои; 3 – металлическая полоса;

б – схема подшипника с металлической лентой и пружиной: 1 – слои древесины; 2 – металлическая лента; 3 – пружина

Пружина обеспечивает сжимающий эффект, что увеличивает прочностные и демпфирующие характеристики вкладыша, а также увеличивает площадь отвода тепла во вкладыше. Количество металлической фазы в объеме композиционного материала и расстояние между витками в древесной матрице формируют температурный режим работы подшипника скольжения и уровень остаточного напряженного состояния.

Результаты экспериментальных исследований эксплуатационных параметров различных конструкций композиционных древесно-металлических материалов показали хорошие результаты применительно к условиям работы узлов трения скольжения машин лесного комплекса [3].

Представленные конструкции композиционных материалов, сочетающие в себе модифицированную древесину и металлический наполнитель, обеспечивают достижение повышенных, антифрикционных, триботехнических и демпфирующих характеристик, а также возможность управления показателями температурного режима работы древесно-металлических вкладышей, что способствует значительному повышению долговечности подшипниковых узлов машин лесного комплекса.

Список литературы

1. Пилюшина Г. А., Памфилов Е. А., Шевелева Е. В. Подшипники скольжения из армированных композиционных материалов // Вестник БГТУ. 2019. № 6. С. 56–64.
2. Пилюшина Г. А., Памфилов Е. А., Прусс Б. Н., Алексеева Е. В. Новые антифрикционные материалы на основе модифицированной древесины // Материаловедение. Москва, 2009. № 4. С. 36–39.
3. Памфилов Е. А., Шевелева Е. В., Пилюшина Г. А. Антифрикционные армированные древесно-металлические материалы // Трение и износ. 2019. Т.40. № 1. С. 121–128.
4. Патент РФ № 177912, МПК F16C 33/04, 33/24. Подшипник скольжения : № 177912 : заявл. 13.06.2017 : опубл. 15.03.2018, Бюл. № 8 / Памфилов Е. А., Пилюшина Г. А., Осипов А. А.

УДК 674.093

Д. С. Русаков,

к. т. н., доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», Санкт-Петербург, РФ, dima-ru25@mail.ru

С. Г. Башкиров,

магистрант 2 года обучения, кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», Санкт-Петербург, РФ, kaynovspbgtu@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СКЛЕИВАНИЯ ФАНЕРЫ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ КЛЕЯМИ

Модернизация фанерных предприятий предъявляет новые требования к клеям, которые можно удовлетворить, в основном, путём модификации существующих смол и клеев на их основе. Модификация фенолоформальдегидных смол способствует увеличению их пластичности, биостойкости, повышению скорости и степени отверждения при условии образования полимера пространственной структуры. Это может обеспечить материалу новый комплекс свойств. Введение в клеящие составы на основе фенолоформальдегидной смолы относительно дешёвых побочных продуктов сульфатно-целлюлозного производства, позволило не только улучшить свойства клеев и снизить себестоимость готовой продукции, но и утилизировать отходы целлюлозно-бумажной промышленности тем самым, разрешая актуальные задачи в области экологии.

Ключевые слова: шпон, фанера, модификация, отходы сульфатно-целлюлозного производства, физико-механические свойства фанеры.

D. S. Rusakov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Structures from Wood, St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, RF, dima-ru25@mail.ru

S. G. Bashkirov,

2-year undergraduate student, department of technology of materials, structures and structures made of wood, St. Petersburg State Forestry University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, RF, kaynovspbgtu@yandex.ru

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL MODES FOR GLUING PLYWOOD WITH MODIFIED ADHESIVES

The modernization of plywood mills imposes new demands on adhesives, which can be met mainly by modifying existing resins and adhesives based on them. Modification of phenol-formaldehyde resins contributes to an increase in their plasticity, biostability, an

increase in the rate and degree of curing, provided that a polymer with a spatial structure is formed. This can provide the material with a new set of properties. The introduction of relatively cheap by-products of sulfate-cellulose production into adhesives based on phenol-formaldehyde resin made it possible not only to improve the properties of adhesives and reduce the cost of finished products, but also to dispose of waste from the pulp and paper industry, thereby solving urgent problems in the field of ecology.

Keywords: veneer, plywood, modification, sulfate-cellulose production waste, physical and mechanical properties of plywood.

Фенолоформальдегидные смолы (ФФС) и клеи на их основе совмещаются почти со всеми смолами и клеями, применяемыми для склеивания древесины с различными древесными и не древесными материалами. Их применяют для модифицирования, когда необходимо повысить прочность, надежность склеивания, тепло- и морозостойкость, антифрикционные и диэлектрические свойства.

Современная отечественная промышленность в области производства полимерных материалов не удовлетворяет в настоящее время всех потребностей в клеевых материалах, что, наряду с дефицитностью сырья и высокой их стоимостью, является сдерживающим фактором в развитии производства клееной продукции. Поэтому одной из актуальных задач является поиск путей производства смол с новым комплексом свойств, для целенаправленного изменения и улучшения, используемых в деревообработке ФФС.

Результаты экспериментальных исследований по склеиванию фанеры смолой, модифицированной пектолом (побочный продукт при производстве целлюлозы сульфатным способом) [1–3], явились основанием для дальнейших исследований по разработке оптимальных режимов склеивания. Основной целью настоящей работы являлось исследование технологии склеивания фанеры композициями на основе фенолоформальдегидных смол.

Данная клеевая композиция должна удовлетворять современным требованиям производства и эксплуатации. Эта задача решается, если в результате принятых мероприятий достигается улучшение физико-механических свойств соединений.

В соответствии с целью, в работе ставились следующие задачи:

1. Определить вид и количество модифицирующего компонента для улучшения эксплуатационных свойств ФФС.
2. Исследовать влияние модифицирующего компонента на свойства получаемого продукта.
3. Оптимизировать технологический режим изготовления фанеры на модифицированной клеевой композиции.

С целью оптимизации режимов прессования фанеры модифицированной смолой в данной работе предусмотрена разработка регрессионной модели, обеспечивающей возможность управления технологическими режимами.

С этой целью в процессе эксперимента изменялись параметры режима прессования и содержания пектола в смоле, устанавливалась количественная взаимосвязь переменных факторов эксперимента с выходными параметрами.

Входные параметры:

- процентное соотношение пектола к смоле (удельный расход), г/м²;
- продолжительность прессования, мин;
- температура прессования, °С.

Выходные параметры:

- предел прочности при статическом изгибе ($\sigma_{изг}$, МПа);
- предел прочности при скалывании ($\sigma_{ск}$, МПа).

Постоянные и переменные факторы эксперимента представлены, соответственно, в табл. 1, 2.

Режимы прессования контрольной запрессовки фанеры: продолжительность прессования – 7,5 мин, температура прессования – 115 °С, давление прессования – 1,25 МПа.

Математическая обработка экспериментальных данных [4], позволила получить уравнения регрессии (1), (2) адекватно описывающие исследуемый процесс.

$$Y^{изг} = 73,085 - 1,009X_3 - 2,95X_2^2 + 0,3375X_2X_3, \quad (1)$$

$$Y^{скал} = 2,205 - 0,019X_1 + 0,039X_2. \quad (2)$$

В результате исследований установлены следующие оптимальные режимы прессования: $n = 5 \%$, $\tau = 6,5$ мин, $t = 108$ °С. При этих параметрах были получены наилучшие показатели прочности при статическом изгибе и скалывании по клеевому слою после кипячения фанеры в течение 1 часа. Сравнивая полученные данные со значениями контрольной запрессовки фанеры, а также данными фанерного завода можно говорить о том, что введение в смолу пектола позволяет повысить эффективность фанерного производства за счет повышения качества продукции, снижения расхода связующего и уменьшения продолжительности и температуры прессования.

Также, получены регрессионные уравнения, выражающие зависимость между прочностью клеевых соединений и основными параметрами склеивания: количеством модифицирующего компонента и продолжительностью прессования. С использованием регрессионных уравнений сформулирована многокритериальная задача оптимизации и определены оптимальные параметры режима прессования на модифицированной клеевой композиции.

Таблица 1

Постоянные факторы эксперимента

Наименование фактора	Единица измерения	Значение
Порода древесины (шпона)	-	Сосна
Толщина фанеры	мм	9
Температура окружающей среды	°С	20
Давление прессования	МПа	1,25
Концентрация модифицированной смолы	%	41
Вязкость модифицированной смолы	с	82
Толщины шпона	мм	2,0; 2,2

Таблица 2

Переменные факторы эксперимента

Наименование фактора	Единица измерения	Код обозначения	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
				X _{min}	X _{cp}	X _{max}
Процентное соотношение пектола к смоле (удельный расход)	г/м ²	X ₁	10	5	15	25
Продолжительность прессования	мин	X ₂	1	6,5	7,5	8,5
Температура прессования	°С	X ₃	7	108	115	122

Так, показатели эффективности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели эффективности

Наименование	Единица измерения	Код обозначения	Методы и средства контроля
Предел прочности при изгибе	МПа	Y ₁	Испытательная машина
Предел прочности при скалывании после кипячения в течение часа	МПа	Y ₂	Испытательная машина

Выводы:

1. Исследования технологических и термодинамических свойств клеевых композиций подтвердили предположение, что промежуточный продукт лесохимии – пектол обладает свойствами реакционного поверхностно-активного вещества по отношению к фенолоформальдегидному олигомеру. Установлено, что максимальное содержание вводимого модификатора не должно превышать 15 % от жидкой фенолоформальдегидной смолы.

2. Установлено, что на кинетику и уровень прочности клеевых соединений существенное влияние оказывает порода древесины.

3. Введение в клеящие составы на основе феноло-формальдегидной смолы относительно дешёвых побочных продуктов сульфатно-целлюлозного производства, позволило не только улучшить свойства клеев и снизить себестоимость готовой продукции, но и утилизировать отходы целлюлозно-бумажной промышленности тем самым, разрешая актуальные задачи в области экологии.

Список литературы

1. Денисов С. В., Русаков Д. С. Эффективная технология склеивания хвойной фанеры модифицированными клеями // Труды Братского государственного технического университета. Т. 2. Братск : БрГТУ, 2004. С. 192–195.
2. Русаков Д. С., Чубинский А. Н., Трошкин С. Н. Оптимизация процесса склеивания шпона // Труды Братского государственного технического университета. Т. 2. Братск : БрГУ, 2017. С. 218–222.
3. Трошкин С. Н., Новоселова О. И. Применение побочных продуктов целлюлозного производства для модификации феноло- и карбамидоформальдегидных смол // Труды Братского государственного технического университета. Т. 2. Братск : БрГУ, 2017. С. 210–215.
4. Пижурин А. А., Розенблит М. Е. Исследование процессов деревообработки. М. : Лесная промышленность, 1984. 231 с.

УДК 674.812-419

А. В. Свиридов,

к. т. н., доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома, РФ,
avsviridov09@mail.ru

А. А. Федотов,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома, РФ,
aafedotoff@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАЦИИ СОПОЛИМЕРОМ ЛАКРОТЭН Э-21 КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ НА СВОЙСТВА ФАНЕРЫ ФК

Предложена модификация карбамидоформальдегидного связующего водной дисперсией стирол-акрилового сополимера Лакротэн Э-21 для производства фанеры. Исследованы физико-механические свойства фанеры на основе модифицированного связующего. Установлено, что наилучшие значения показателей фанеры наблюдаются при введении в карбамидоформальдегидное связующее 4 % сополимера-модификатора. Выдвинута гипотеза, объясняющая улучшение свойств фанеры благодаря введению Лакротэна Э-21.

Ключевые слова: карбамидоформальдегидное связующее, модификация, Лакротэн Э-21, прочность, водостойкость.

A. V. Sviridov,

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
avsviridov09@mail.ru

A. A. Fedotov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
aafedotoff@yandex.ru

INVESTIGATION EFFECT OF LACROTEN E-21 COPOLYMER MODIFICATION OF UREA-FORMALDEHYDE RESIN ON THE PROPERTIES OF FC PLYWOOD

Modification of urea-formaldehyde binder by water dispersion of the styrene-acrylic copolymer Lacroten E-21 for the production of plywood is proposed. Physical and mechanical properties of plywood based on a modified binder are investigated. It is established that the best values of plywood parameters are observed when 4% of the modifier copolymer is introduced into the urea-formaldehyde binder. Hypothesis is put forward that explains the improvement in the properties of plywood due to the introduction of Lacrotin E-21.

Keywords: urea-formaldehyde binder, modification, Lacroten E-21, strength, water resistance.

В настоящее время перед производителями фанерной продукции стоит непростая задача – выдержать конкуренцию альтернативных древесных материалов со схожим технологическим назначением. Это должно выражаться в повышении свойств материала и одновременном сохранении (либо незначительном повышении) их себестоимости. Наиболее эффективный экономический и технологический вариант решения проблемы – использование добавок модификаторов к основному связующему.

Работа в этой области активно ведется российскими и зарубежными учеными. Предлагаются различные модификаторы и наполнители: лигносульфонаты, шунгиты, черные сланцы, алюмосиликаты [1], кислотообработанная древесная мука [2], наноцеллюлоза и микроцеллюлоза [3], пентаборат аммония [4].

В настоящем исследовании предлагается использование водной дисперсии стирол-акрилового сополимера Лакротэн Э-21 (ТУ 2241-014-51769914–2004 с изм. 1) в качестве модификатора карбамидоформальдегидного связующего. Основными областями его использования является изготовление водно-дисперсионных красок для наружных и внутренних работ, пастообразных клеев строительного назначения, шпатлевочных масс, рельефных штукатурок, грунтовок-преобразователей ржавчины [5].

Изготавливалась пятислойная фанера с применением лущеного шпона номинальной толщиной 1,5 мм (ГОСТ 99–2016). Модификатор вводился в жидкое карбамидоформальдегидное связующее после добавления отвердителя (хлористого аммония) в количестве 1 % от массы жидкой смолы. Доля добавки Лакротэна Э-21 варьировалась от 2 до 8 % (с шагом 2 %) от массы жидкой смолы. Горячее прессование выполнялось при температуре 105 °С, время выдержки составляло 5 минут, удельное давление прессования 1,6 МПа, расход связующего – 120 г/м². Для сравнения был изготовлен контрольный образец фанеры без модификатора. Результаты исследований представлены на рис. 1–4.

Из представленных рисунков видно, что при использовании предложенной добавки в целом улучшаются показатели фанеры ФК. Наилучшие значения показателей достигаются при введении 4 % Лакротэна Э-21 в карбамидоформальдегидную смолу. При этом предел прочности при скалывании после вымачивания в течение суток выше на 7,6 %, а предел прочности при статическом изгибе

на 22,1 % в сравнении с контрольным образцом. Значения показателей разбухания и водопоглощения ниже соответственно на 10,4 % и 21,8 % по сравнению с контрольным образцом.

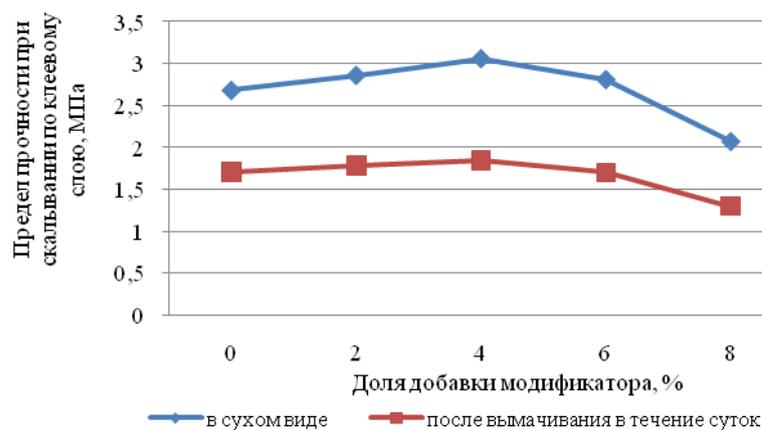


Рис. 1. Влияние доли добавки модификатора на предел прочности фанеры при скалывании по клеевому слою

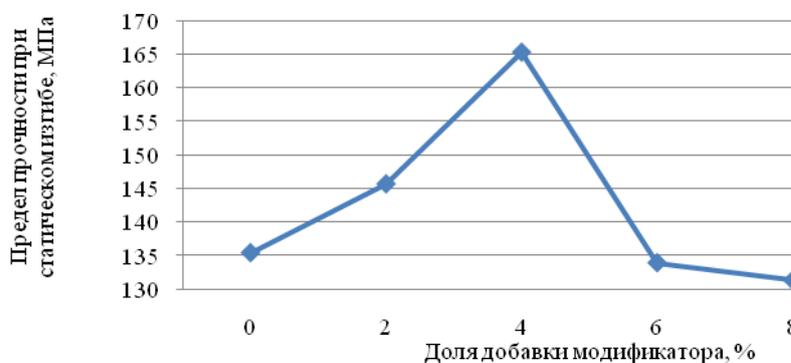


Рис. 2. Влияние доли добавки модификатора на предел прочности фанеры при статическом изгибе

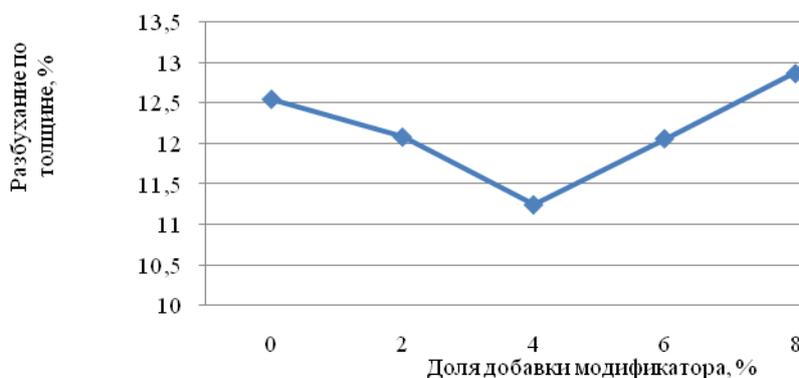


Рис. 3. Влияние доли добавки модификатора на разбухание фанеры по толщине

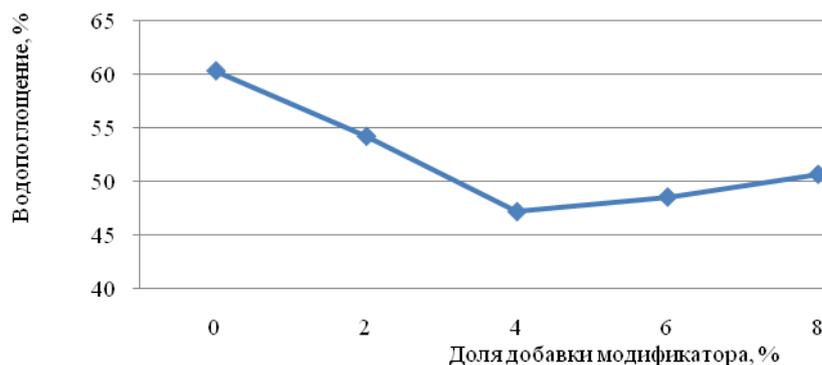


Рис. 4. Влияние доли добавки модификатора на водопоглощение фанеры

Положительный эффект Лакротэна, по-видимому, обусловлен образованием водородных связей с участием свободных и этерифицированных карбоксильных групп макромолекул Лакротэна с одной стороны и оксиметиленовых групп макромолекул карбамидоформальдегидной смолы – с другой (рис. 5). Кроме того, при прессовании фанеры возможно образование простых эфирных связей между макромолекулами смолы и молекулами Лакротэна (рис. 6).

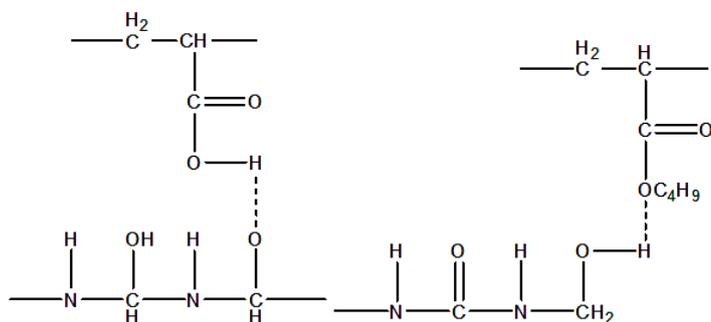


Рис. 5. Образование водородных связей

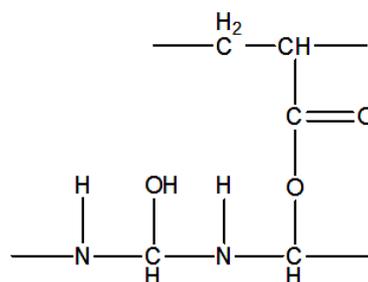


Рис. 6. Образование простой эфирной связи

Список литературы

1. Чубинский А. Н., Русаков Д. С., Варанкина Г. С., Русакова Л. Н. Исследование свойств модифицированных карбамидоформальдегидных клеев для изготовления фанеры // Лесной Вестник. 2018. Т. 22. № 5. С. 103–112.
2. Лавлинская О. В., Ищенко Т. Л., Самойленков В. С. Исследование возможности использования ки-слоотообработанной древесной шлифовальной муки в качестве наполнителя карбамидо-формальдегидных клеев для производства фанеры // Лесотехнический журнал. 2014. № 4. С. 100–105.
3. Kawalerczyk J., Dziurka D., Mirski R., Szentner K. Properties of Plywood Produced with Urea-Formaldehyde Adhesive Modified with Nanocellulose and Microcellulose // Drvna Industrija, 2020, Vol. 71. No. 1. pp. 61-67.
4. Gao W., Du G., Kamdem P. Influence of Ammonium Pentaborate (APB) on the Performance of Urea Formaldehyde (UF) Adhesives for Plywood // European Journal of Marketing, 2015, Vol. 91, No. 3. pp. 186-196.
5. Дисперсия Лакротэн Э-21. URL: http://orghimsib.ru/lakroten_e21 (дата обращения: 16.03.2021).

УДК 630.812:691.11

А. А. Титунин,

д. т. н., зав.кафедрой ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
a_titunin@ksu.edu.ru

Т. Н. Вахнина,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
t_vachnina@mail.ru

И. В. Сусоева,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
i.susoeva@yandex.ru

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА С УЧЕТОМ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ

Рассмотрена структурная модель теплоизоляционного материала на основе отходов переработки древесины, льна и хлопка. Представлена упрощенная модель композита для решения задачи теплопроводности с учетом размеров и количества пор в материале. Дано описание принятых допущений. Показаны возможные варианты распределения температуры по толщине материала. Приведены основные математические зависимости, характеризующие условия изменения температуры при теплопередаче.

Ключевые слова: теплоизоляционные композиты, растительные отходы, уравнение теплопроводности, моделирование.

A. A. Titunin,

Doctor of Technical Sciences, Head of Woodworking Department, Kostroma State University, Kostroma,
a_titunin@ksu.edu.ru

T. N. Vakhnina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
t_vachnina@mail.ru

I. V. Susoeva,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
i.susoeva@yandex.ru

PHYSICAL AND MATHEMATICAL FORMULATION OF THE PROBLEM OF THERMAL CONDUCTIVITY OF A WOOD COMPOSITION TAKING INTO ACCOUNT THE FORM AND SIZE OF FILLER PARTICLES

The article deals with the structural model of a heat-insulating material based on wood, flax and cotton processing wastes. A simplified model of a composite is presented for solving the problem of thermal conductivity, taking into account the size and number of pores in the material. A description of the accepted assumptions is given. Possible variants of temperature distribution over the material thickness are shown. The main mathematical dependences characterizing the conditions of temperature change during heat transfer are given.

Keywords: heat-insulating composites, vegetable waste, thermal conductivity equation, modeling.

Вопросам повышения энергоэффективности зданий и сооружений в настоящее время уделяется достаточно большое внимание, при этом многие авторы справедливо отмечают, что современные здания при этом должны быть ресурсосберегающими и отвечать требованиям экологичности [1–3]. В этой связи возрастает роль используемых строительных материалов, в первую очередь теплоизоляционных. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на расширение сырьевой базы производства теплоизоляционных композитов на основе природных биополимеров. Большим ресурсным потенциалом для производства теплоизоляционных строительных материалов обладают мягкие отходы деревообработки и неиспользуемые отходы прядильных производств, содержащие значительное количество пылевидной фракции и загрязнений, обусловленных сбором данных отходов в процессе производства растительных волокон. Данные отходы относятся к возобновляемым источникам сырья, а также они благодаря своей мелкодисперсной структуре могут обеспечивать требуемую теплоизоляцию при определенных условиях.

При теоретическом обосновании возможности создания теплоизоляционного композита на основе комбинированного наполнителя из растительных отходов и синтетических поликонденсационных или неорганических клеев с необходимыми физико-механическими и эксплуатационными показателями авторами была разработана физико-математическая модель теплопроводности, базирующаяся на ранее выполненных исследованиях. Согласно этим исследованиям коэффициент теплопроводности материала зависит от химического состава, физического строения вещества, его температуры, влажности и ряда других факторов [4–7].

Теплоизоляционный материал на основе целлюлозосодержащих отходов рассматривается как плоская пластина с неоднородной структурой. Кроме того принимается ряд допущений: во-первых, теплоизоляционный материал имеет идеальный контакт с ограждающей конструкцией; во-вторых, с наружной поверхности утеплителя имеет место воздухообмен; в-третьих, все воздушные поры в материале закрытые и располагаются во внутренних слоях (поз. 1 на рис. б); в-четвертых, влага находится в связанном состоянии, равномерно распределена в структуре клеточных стенок наполнителя и не содержится в свободном состоянии внутри полостей клеток и пустот в структуре наполнителя. При принятии этих допущения, модель композита (см. рис. а) может быть упрощена до вида трехслойной конструкции.

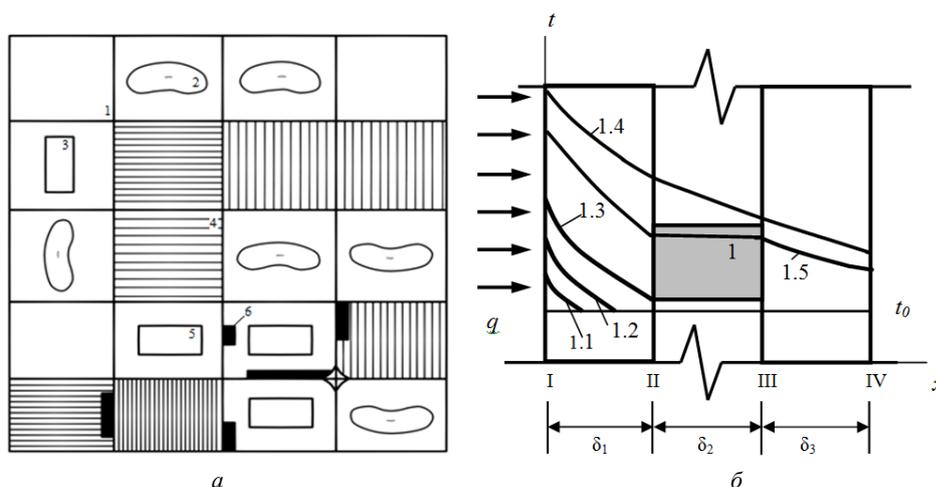


Рис. Структурная (а) и упрощенная (б) модель теплоизоляционного композита на основе многокомпонентного наполнителя:

1 – воздух; 2, 3, 5 – наполнитель (отходы хлопкового волокна, отходы льняного волокна, отходы древесины);
4 – вода; 6 – связующее

Первый слой толщиной δ_1 теплоизоляционного материала граничит с ограждающей конструкцией здания, через которую к нему подается тепловой поток мощностью q . В этом случае задача о теплопередаче при нестационарном режиме (суточные и сезонные колебания температуры) состоит в определении изменений температуры $t(x, \tau)$ и тепловых потоков $q(x, \tau)$ во времени t и в пространстве по толщине ограждения x .

Для единственности решений дифференциальные уравнения теплопроводности должны быть дополнены краевыми условиями, или условиями однозначности, которые включают геометрические, физические, временные и граничные условия.

Граничные условия I рода устанавливают распределение температуры на внутренней поверхности теплоизоляционного материала, а именно $-t_w = \text{const}$.

Граничные условия II рода определяют распределение теплового потока на поверхности, граничащей с ограждающей конструкцией $q_w = \text{const}$.

Граничные условия III рода определяют условия теплообмена с окружающей средой:

$$q = \alpha(t_w - t_f) = -\lambda \frac{\partial t_w}{\partial x} \Big|_{x \rightarrow 0}.$$

Граничные условия IV рода, которые определяют характер теплообмена на поверхности при контакте двух тел. Принимается, что тепловые потоки, проходящие через поверхность контакта двух смежных слоёв теплоизоляционного материала, равны между собой. В определенный момент времени τ_0 с левой стороны подается тепловой поток q , под влиянием которого первый слой утеплителя начинает прогреваться. Изменение полей температур можно представить в виде кривых 1.1 и 1.2 на рис. б. При этом второй и третий слои сохраняют температуру t_0 .

Для первого слоя уравнение теплопроводности запишется в виде

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_e \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (0 \leq x \leq \delta_1);$$

начальное условие $t(x, 0) = t_0(x)$ и граничные условия I рода, характеризующие постоянство температуры на границе II первого и второго слоев: $t(\delta, \tau) = t_\delta$.

В тот момент времени τ_1 , когда тепловой поток достигнет границы II, (кривая 1.3 на рис. б) условия теплопроводности могут измениться, так как во втором слое расположена полость с воздухом (закрашенный прямоугольник на рис. б), а теплопроводность воздуха много ниже, чем теплопроводность наполнителя или связующего. Если тепловая волна при прохождении по второму слою не пересекает полость с воздухом (кривая 1.4), то математическое выражение теплопроводности имеет вид, аналогичный уравнению для первого слоя.

В случае, если тепловая волна после пересечения границы II встречает полость с воздухом (кривая 1.5, рис. б), то следует учитывать граничные условия I рода, характеризующие распределение температуры на границе воздушной полости $t_i = f(\delta_{2i}, \tau)$. В этом выражении величина δ_{2i} зависит от размеров полости, которые в свою очередь определяются размерами и формой частиц наполнителя.

Для третьего слоя имеет место теплоперенос с комбинированными граничными условиями второго рода на поверхности III и третьего рода на поверхности IV и неравномерными начальными условиями:

$$\text{начальное условие } t(x, 0) = f(\delta_{2i}, \tau); \text{ граничные условия } -\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_{3i}; \quad -\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_n [t(\delta, \tau) - t_c].$$

В момент времени τ_3 , когда тепловая волна достигнет внешней границы третьей ламели, в процессе теплообмена будут участвовать все три слоя – кривые 1.4–1.5 на рис. б.

В результате даже при постоянном тепловом потоке на границе IV из-за неравнозначности условий прохождения теплового потока через второй слой с воздушной полостью формируется неравномерное температурное поле.

Если будут известны значения температур на границах I и IV, можно определить коэффициент теплопроводности λ для теплоизоляционного композита в зависимости от общего количества замкнутых воздушных прослоек, количество которых зависит от размеров и формы дисперсных частиц наполнителя.

Список литературы

1. Федосов С. В., Федосеев В. Н., Петрухин А. Б., Опарина Л. А. Энергоэффективность зданий, строений и сооружений промышленного и сельскохозяйственного назначения // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук

- наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году : сб. науч. тр. РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. М., 2020. С. 477–481.
2. Слесарев М. Ю. Инновационные методы формирования систем экологической безопасности строительства // Вестник МГСУ. 2007. № 3. С. 7–12.
 3. Большеротов А. Л. Научные основы и подходы к формированию системы оценки экологической безопасности строительства (СОЭБС) // Жилищное строительство. 2011. № 7. С. 44–47.
 4. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М. : Лесная пром-сть, 1989. 296 с.
 5. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США : пер. с англ. М. : Лесная пром-сть, 1979. 544 с.
 6. Титунин А. А., Вахнина Т. Н., Сусоева И. В. Исследование свойств теплоизоляционных материалов из отходов производства хлопковых и льняных волокон // Научный журнал строительства и архитектуры. Воронеж : ВГТУ, 2017. № 2(46). С. 37–45.
 7. Зайцева К. В., Титунин А. А., Гнедина Л. Ю., Ибрагимов А. М. Тепло- и массоперенос в многослойном деревянном клееном брусе: постановка задачи // Промышленное и гражданское строительство. М., 2015, № 8. С. 21–27.

УДК 674.816.3:620.22

А. А. Титунин (мл.),

аспирант кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
b5225d@yandex.ru

А. Н. Чубинский,

д. т. н., заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», г. Санкт-Петербург, РФ,
a.n.chubinsky@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО КОМПОЗИТА

В работе приведены результаты научных исследований эксплуатационных свойств древесного композита, полученного на основе двухкомпонентного наполнителя. Доказано, что форма и размеры дисперсных древесных частиц значимо влияют на прочность композита при изгибе и его теплопроводность. Представленные результаты дисперсионного анализа подтверждают гипотезу о возможности получения теплоизоляционного композита с требуемой прочностью. Рекомендовано использовать березовую стружку в качестве добавки к основному наполнителю – хвойной стружке от строгальных деревообрабатывающих станков.

Ключевые слова: теплоизоляционные композиты, древесная стружка, прочность, теплопроводность, дисперсионный анализ.

A. A. Titunin (jr),

postgraduate student of the Department of Woodworking, Kostroma State University, Kostroma,
b5225d@yandex.ru

A. N. Chubinsky,

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Technology of Materials, Structures and Wood Buildings, Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russian Federation,
a.n.chubinsky@gmail.com

INFLUENCE OF FILLER STRUCTURE ON PERFORMANCE PROPERTIES OF WOOD COMPOSITE

The paper presents the results of scientific research of operational properties of wood composite obtained on the basis of two-component filler. It is proved that the shape and size of dispersed wood particles significantly influence the bending strength of the composite and its thermal conductivity. The presented results of the dispersion analysis confirm the hypothesis about the possibility of obtaining a thermal insulation composite with the required strength. It is recommended to use birch chips as an additive to the main filler - coniferous shavings from wood planing machines.

Keywords: heat-insulating composites, wood shavings, strength, thermal conductivity, dispersion analysis.

На современном этапе развития индустрии строительных материалов все большую актуальность приобретают исследования, направленные на создание композиционных материалов из различных видов отходов и исследование свойств таких материалов [1–3]. При этом разработчики стремятся уже на этапе проектирования обеспечить получение композиционного материала с требуемыми параметрами и свойствами. На кафедре лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств проводились экспериментальные исследования, в ходе которых изготавливались образцы на ос-

нове матрицы из термореактивного фенолформальдегидного связующего и двухкомпонентного древесного наполнителя в виде стружки хвойных пород от четырехсторонних строгальных станков и специальной резаной березовой стружки, применяемой в производстве древесно-стружечных плит (ДСтП). Расход связующего (от массы сухой стружки) $P_{св} = 25 \%$, удельное время прессования $t_y = 0,6$ м/мм, температура прессования $T = 180$ °С, давление прессования (манометрическое) $P = 40$ кгс/см².

Для оценки влияния структуры наполнителя на эксплуатационные свойства древесного композита на данном этапе исследований использовались два состава наполнителя:

- первый состав – 10 % березовой стружки для ДСтП фракции 10/2, 90 % хвойной стружки от четырехсторонних строгальных станков, в том числе 4,5 % фракции 10/7 и 85,5 % фракции 7/2;
- второй состав – 30 % березовой стружки для ДСтП фракции 10/2, 70 % хвойной стружки от четырехсторонних строгальных станков, в том числе 28 % фракции 10/7 и 42 % фракции 7/2.

Полученные образцы использовались для определения прочности при статическом изгибе $\sigma_{и}$ и коэффициента теплопроводности λ . Для определения предела прочности при изгибе композиционного материала использовалась стандартная методика [4]. Коэффициент теплопроводности древесного композита определялся с помощью прибора ИТП-МГ4-100 (рис.).

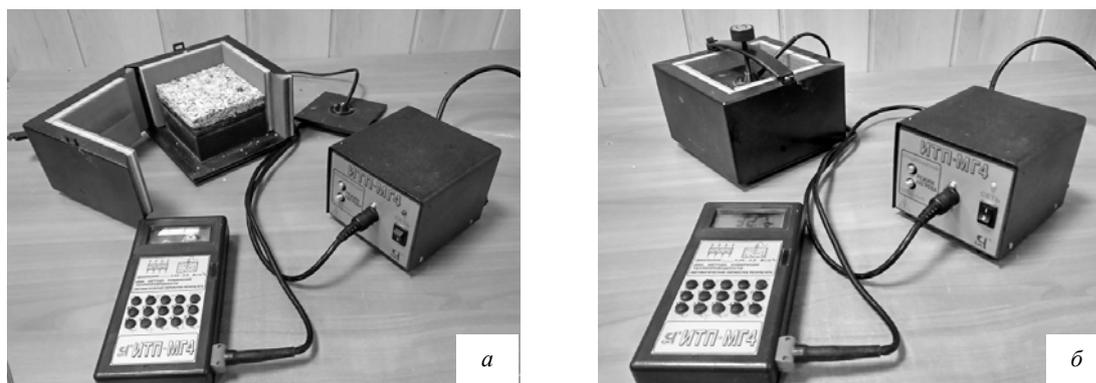


Рис. Определение коэффициента теплопроводности:
 а – подготовка прибора к работе; б – проведение испытаний

Полученные в ходе опытов результаты обрабатывались по методике однофакторного дисперсионного анализа[5], итоги которого приведены в таблице. Уровню фактора a_1 соответствует первый состав наполнителя, уровню фактора a_2 – второй состав.

Таблица

Результаты эксперимента и статистические параметры на уровнях фактора А

Уровни фактора А	Выходная величина	Значения выходной величины	Среднее уровня \bar{Y}_i	Дисперсия			Критерий Фишера	
				уровня S_i^2	фактора S_A^2	остаточная S_n^2	F_P	F_T
a_1	Прочность при изгибе $\sigma_{и}$, МПа	0,45 0,43 0,28 0,36 0,38 0,32	0,358	0,0025	0,1564	0,0016	99,73	4,96
a_2		0,10 0,14 0,16 0,13 0,10 0,15	0,130	0,0006				
a_1	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К	0,074 0,077 0,078 0,075 0,077 0,076	0,076	2,16E-06	0,0015	3,37E-06	431,29	4,96
a_2		0,097 0,098 0,096 0,102 0,097 0,099	0,098	4,57E-06				

Проверка однородности дисперсий S_1^2 и S_2^2 по критерию Фишера F показала, что для прочности при изгибе $F_p = 3,9$, для коэффициента теплопроводности $F_p = 2,12$. Так как оба значения оказались меньше табличного значения F_m ($q = 0,05$; $f = 6 - 1 = 5$) = 5,05, был сделан вывод об однородности дисперсий для обеих выходных величин. Для оценки значимости влияния фактора А (состава древесного наполнителя в композите) на прочность при изгибе и коэффициент теплопроводности проверялась однородность дисперсии фактора S_A^2 , характеризующей рассеяние между средними арифметическими на заданных уровнях и общим средним по всему эксперименту, и остаточной дисперсии S_n^2 , которая характеризует среднее рассеяние в эксперименте между элементами выборки и средним арифметическим по всему эксперименту.

Как видно из табл. 1, для обеих выходных величин выполняется условие $F_p > F_m$, т. е. фактор А – состав композита, значимо влияет на прочность при изгибе и теплопроводность древесного композита. В завершении процедуры дисперсионного анализа с помощью критерия Стьюдента t была дана оценка значимости различий между уровнями фактора А:

- для прочности при статическом изгибе $t_p = 10,04$;
- для коэффициента теплопроводности $t_p = 22,0$.

Поскольку $t_p > t_r$, был сделан вывод, что различия между уровнями фактора А значимы, причем на коэффициент теплопроводности композита состав наполнителя оказывает большее влияние, чем на прочность при изгибе.

В результате проведенных исследований было установлено, что для получения древесного композита с низкой плотностью возможно использование двухкомпонентного наполнителя из березовой стружки для ДСтП и хвойной стружки от четырехсторонних строгальных станков. С увеличением в составе наполнителя доли березовой стружки прочность при изгибе уменьшается, а коэффициент теплопроводности увеличивается. Возможной причиной снижения прочности композита могут быть различия в форме дисперсных частиц двухкомпонентного наполнителя: березовая стружка для ДСтП имеет преимущественно игольчатую форму, а частицы стружки от четырехсторонних станков имеют форму тонких прямоугольных пластинок. Частицы хвойной стружки вследствие особенностей их образования при строгании имеют большее количество –ОН групп аморфных областей макромолекулярных компонентов и при прессовании образуют больше связей с матрицей связующего.

Увеличение коэффициента теплопроводности при введении большего количества березовой стружки объясняется тем, что березовая древесина более плотная, вследствие чего лучше проводит тепло, чем хвойная. Поэтому с точки зрения получения древесного композита теплоизоляционного назначения с требуемыми эксплуатационными показателями рекомендуется использовать березовую стружку от производства ДСтП в виде добавки к основному наполнителю – мягким древесным отходам (хвойной стружки от четырехсторонних строгальных станков).

Список литературы

1. Фрейдин А. С., Вуба К. Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М. : Лесная промышленность, 1980. 223 с.
2. Говядин И. К., Чубинский А. Н. Исследование свойств древесно-полимерного композита на основе PLA // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 2(374). С 129–145.
3. Сусоева И. В., Титуни А. А., Вахнина Т. Н., Грунин Ю. Б., Нармания Б. Е. Анализ влияния структуры композита из целлюлозосодержащих отходов на его эксплуатационные показатели // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 6(390). С. 55–62.
4. ГОСТ 10635–88. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. М. : Изд-во стандартов, 1989. 5 с.
5. Вахнина Т. Н. Методы и средства научных исследований : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2015. 74 с.

УДК 674.817-41

Ю. В. Толстик,

соискатель 1 года, кафедра ТДП, ФЛИД УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь,
yuliya.tolstik@gmail.com

И. К. Божелко,

к. т. н., доцент, заведующий кафедры ТДП, ФЛИД УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь,
bikbstu@mail.ru

А. А. Титунин,

д. т. н., доцент, заведующий кафедрой ЛДП, Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия,
a_titunin@ksu.edu.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫЕ ПЛИТЫ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Теплоизоляционные древесноволокнистые плиты – современный и экологически чистый материал, который широко применяется в странах ЕС в коммерческом и частном строительстве. Использование этого материала имеет свои особенности, связанные с условиями его хранения, применения. Обеспечение эффективности и долговечности материала в том числе заключается в соблюдении технологии его применения и комбинирования с другими материалами. В статье проанализированы основные характеристики теплоизоляционных древесноволокнистых плит (ИДВП) и других теплоизоляционных материалов.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, теплоизоляция, утеплитель.

Y. V. Tolstik,

1st year graduate student, Department of Woodworking Technology, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,
yuliya.tolstik@gmail.com

I. K. Bozhelko,

PhD (Engineering), docent, Head of the Department of Woodworking Technology, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,
bikbstu@mail.ru

A. A. Titunin,

Doctor of Technical Sciences, Head of Woodworking Department, Kostroma State University, Kostroma, Russia
a_titunin@ksu.edu.ru

THERMAL INSULATION WOOD-FIBER BOARDS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MAIN PROPERTIES AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Thermal insulation wood fiberboards are a modern and environmentally friendly material, that is widely used in European countries in commercial and private construction. The use of this material has its own characteristics related to storage and use conditions. Ensuring the efficiency and durability of the material also depends on the technology of its use and combination with other materials. The article analyzes the main characteristics of thermal insulation wood fiber boards (WF) and other heat insulation materials.

Keywords: thermal insulation materials, thermal insulation, insulation.

Под теплоизоляционными древесноволокнистыми материалами (далее – ИДВП) подразумевают промышленные материалы, выполненные из древесного волокна, используемые для теплоизоляции зданий. Изготавливаются в форме рулонов, коврик, листов или плит. Используются в сборной термоизоляции и комбинированных панелях для теплоизоляции в каркасном деревянном домостроении, в узлах кровли, для утепления штукатурных и вентилируемых фасадов, полов, стен и перегородок. Плиты обладают небольшим весом, легко режутся и просты в монтаже.

В Республике Беларусь ИДВП производятся на предприятии ОАО «Мозырский ДОК», под торговой маркой «BELTHERMO». Основной состав ИДВП – древесное волокно из лесоматериалов хвойных пород, смола на полиуретановой основе (MDI 5 %) быстрого отверждения без формальдегида, что позволяет выпускать продукт по самым строгим требованиям к безопасности продукции и парафин (1 %). Производство ИДВП осуществляется на немецком оборудовании фирмы «Siempelkamp». Производственная мощность составляет 200000 м³ в год. Структура рынков продаж производимой продукции: 30 % – рынок СНГ; 70 % – рынок ЕС.

Требования к плитам ИДВП в Республике Беларусь установлены ГОСТ EN 13171–2009, однако без требуемого уровня показателей для конкретной области применения. Требуемый уровень показателей для конкретной области применения устанавливается в руководствах по использованию и сопутствующих стандартах.

Для всех случаев применения обязательными характеристиками являются: тепловое сопротивление и теплопроводность, длина и ширина, толщина, перпендикулярность, плоскопараллельность поверхностей, формоустойчивость, огестойкость, характеристики износостойкости; прочность на отрыв слоев параллельно поверхности. В зависимости от назначения дополнительно устанавливаются требования к характеристикам: формоустойчивость, прочность на сжатие, прочность при растяжении перпендикулярно поверхности, сосредоточенная нагрузка, расширение при сжатии, кратковременная гигроскопичность, паропроницаемость, динамическая жесткость, сжимаемость, звукопоглощение, сопротивление воздушному напору, истинная плотность, удаление опасных веществ, продолжительность тлеющего горения.

В зависимости от параметров выделяют 9 марок ИДВП BELTERMO, имеющих различные области применения, табл. 1.

Таблица 1

Марки ИДВП

Параметр	Марка BELTERMO									
	Top	Kom-bi	Ultra	Multi	Floor	Instal	Room	Safe	Univer-sal	Flex
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, мм	1000–2800	1000–1250	1000–2800	1000–1250	1000–1250	1000–1250	1000–250	1000–1250	1000–2850	1200
Ширина, мм	600	575–600	575–600	575–600	575–600	575–600	575–600	575–600	575–600	580–600
Толщина, мм	20–60	40–240	20–160	30–180	20–160	20–160	30–200	30–180	20–160	40–240
Плотность, кг/м ³	200	110	180	140	160	150	130	140	190	50
Номинальное значение коэффициента Теплопроводности, Вт/м·К	0,042	0,038	0,042	0,039	0,041	0,04	0,038	0,039	0,042	0,038
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, кПа	150	60	150	80	100	100	60	80	100	-
Предел прочности при растяжении перпендикулярно, кПа	15	5	10	5	7,5	7,5	5	5	7,5	-
Кратковременное водопоглощение, кг/м ²	≤ 1	≤ 2	≤ 1	≤ 1	-	-	-	-	-	-

В строительном применении дополнительные свойства направлены на улучшение показателей: водопоглощение, прочность на сжатие, прочность при растяжении, тепло- звукопроводность, огнестойкость, формоустойчивость.

При анализе имеющихся на рынке материалов, определены наиболее близкие по назначению продукты-заменители для сравнения по физико-механическим характеристикам. Определены как аналогичные продукты из древесного волокна, так и продукты, произведенные из иных материалов: каменная вата, синтетические, отходы растениеводства, шерсть, стекловолокно. Перечень продуктов для сравнения представлен в табл. 2, сравнение характеристик продуктов-заменителей – в табл. 3.

Таблица 2

Продукты для сравнения

№ п/п	Наименование производителя Страна производства	Наименование продукта/марки
1	ООО «ЦСП БЗС», РБ	Цементно-стружечная плита (ЦСП)
2	ЗАО «АКОТЕРМ», РБ	Теплоизоляционные плиты из натурального льноволокна и связующего полиэфирного волокна
3	Корпорация «Технониколь», РФ	БАЗАЛИТ ПТ-150 Теплоизоляционные плиты на основе каменной ваты
4	Фабрика Нетканых материалов «Весь Мир», РФ	GreenPlanet, теплоизоляционные плиты на основе овечьей шерсти
5	ОАО «Стеклозавод „Неман“, РБ	«НЕМАН+» П-15, теплоизоляционные плиты из стекловолокна
6	Корпорация «Технониколь», РФ	XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO ТВ, плиты экструдированного пенополистирола
7	STEICO SE, Польша	Therm, ИДВП сухого и мокрого способа производства
8	GUTEX Holzfaserplatten-werk, Германия	GUTEX Thermostal, ИДВП мокрого способа производства

Из табл. 3 видно, что преимуществами ИДВП перед другими видами материалов по основным физико-механическим характеристикам являются: прочность на сжатие (в среднем на 50 % выше); другие материалы имеют преимущества по показателям теплопроводности (в среднем на 10 % выше), прочности на сжатие (продукт № 6 выше на 25 %), прочности при растяжении (продукты № 1 и № 6 в 10 и более раз), группе горючести (продукты № 1–5 на 2 и более группы). Продукты схожи по кратковременному водопоглощению.

Сравнение характеристик продуктов-заменителей

№ п/п	Наименование показателя	Наименование продукта/марки									
		BELTERM O Ultra	BELTERM O Top	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Длина, мм	1000–2800	1000–2800	3200	1000	1000	1000	1200	1180	1350; 1880	1250
2	Ширина, мм	575–600	600	1200	600	500	600	610	580	600	600
3	Толщина, мм	20–160	20–60	08–24	50; 100	50–120	50	50–150	100	20–160	50
4	Плотность, кг/м ³	180	200	1100– 1400	30	137	25	15	26–32	160	150
5	Номинальное значение к теплопроводности, Вт/м·К	0,042	0,042	0,26	0,038	0,041	0,033	0,039	0,034	0,038	0,04
6	Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, кПа	150	150	-	4	40	-	-	200	50	100
7	Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти, кПа	10	15	500	-	6,5	-	-	370	2,5	10
8	Кратковременное водопоглощение, не более кг/м ²	≤ 1	≤ 1		≤ 1	≤ 1	-	≤ 1	-	≤ 2	≤ 1
9	Группа горючести/Еврокласс	Г3 Е	Г3 Е	Г1 Е	Г1 Е	НГ Е	Г1 Е	НГ Е	Г4 Е	Г3 Е	Г3 Е

На основании анализа характеристик ИДВП и продуктов-заменителей установлено: актуальным является предложение решения для улучшения показателей: прочности, формоустойчивости, кратковременного водопоглощения, группы горючести, теплопроводности. Достижение этих показателей возможно при комбинировании ИДВП с другими материалами, обладающими дополнительными свойствами с созданием нового комбинированного строительного материала.

Установлено, что производители многих материалов, приведенных в сравнении, уже имеют доработанные и комбинированные продукты, позволяющие удовлетворять дополнительные запросы покупателей, использовать продукты по другим областям применения.

Список литературы

- ГОСТ EN 13171–2015. Материалы теплоизоляционные для зданий и сооружений. Изделия древесноволокнистые (WF). Технические условия. Введ. 2015. Минск : Госстандарт, 2015. 41 с.
- ГОСТ 9573–2012. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия (Переизд.) – взамен ГОСТ 9573–96; введ. 2013. М.: Стандартинформ, 2013. 9 с.
- СТБ EN 13162–2015. Материалы теплоизоляционные для зданий и сооружений. Изделия из минеральной ваты (MW). Технические условия. Взамен СТБ EN 13162–2012; введ. 2015. Минск : Госстандарт, 2015. 60 с.

УДК 674

В. В. Тулейко,

к. т. н., генеральный директор, ОАО «Речицадрев», г. Речица, РБ,
info.rechitsadrev@wood.by

С. Н. Болачков,

зам. генерального директора – начальник управления качеством, ОАО «Речицадрев», г. Речица, РБ,
info.rechitsadrev@wood.by

А. В. Лёгкий,

ведущий технолог производства синтетических смол, ОАО «Речицадрев», г. Речица, РБ,
chel_fc@mail.ru

Е. В. Дубоделова,

к. т. н., доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, РБ,
katedubodelova@tut.by

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ И ДРЕВЕСНЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для повышения экологической безопасности производства формальдегидных смол и древесных листовых материалов в условиях работы ОАО «Речицадрев» разработана система производственного экологического контроля и система возврата жидких отходов в виде промывных вод и дистиллята в производство, позволяющая снизить периодичность оценки факторов производственной среды и утилизировать до 5232 т/год жидких отходов. В пуско-наладочном режиме находится система очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха от реакторов синтеза смол и складского хозяйства абсорбционно-биохимическим способом при помощи новых штаммов микроорганизмов.

Ключевые слова: формальдегидные смолы, формалин, карбамидоформальдегидный концентрат, производственный контроль, выбросы загрязняющих веществ, утилизация, промывные воды, абсорбционно-биохимический метод.

V. V. Tuleiko,

PhD (Engineering), general manager, JSC Rechitsadrev, Rechitsa, Republic of Belarus,
info.rechitsadrev@wood.by

S. N. Bolachkov,

Deputy General Director – Head of Quality Management, JSC Rechitsadrev, Rechitsa, Republic of Belarus,
info.rechitsadrev@wood.by

A. V. Liogkiy,

leading technologist for the production of synthetic resins, JSC Rechitsadrev, Rechitsa, Republic of Belarus,
chel_fc@mail.ru

Ye. V. Dubodelova,

PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Woodworking Technology, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,
katedubodelova@tut.by

IMPROVING ENVIRONMENTAL SAFETY PRODUCTION OF FORMALDEHYDE RESINS AND WOOD SHEET MATERIALS

To improve the environmental safety of the production of formaldehyde resins and wood-based sheet materials in the operating conditions of JSC Rechitsadrev, a system of industrial environmental control and a system for returning liquid waste in the form of washing water and distillate to production has been developed, which allows reducing the frequency of assessment of production environment factors and disposing of up to 5232 tons/year of liquid waste. In the pre-commissioning mode, the system for cleaning the air released into the atmosphere from the resin synthesis reactors and storage facilities by the absorption-biochemical method with the help of new strains of microorganisms is in operation.

Keywords: formaldehyde resins, formalin, urea-formaldehyde concentrate, production control, emissions of pollutants, disposal, washing water, absorption-biochemical method.

В Евразийском экономическом союзе поддерживается концепция устойчивого развития, принятая на Генеральной Ассамблее ООН, что реализовано техническим регулированием путем создания условий для защиты жизни и (или) здоровья человека, имущества, окружающей среды. В связи с этим целью работы любого производителя продукции, является в том числе выработка экологической политики, направленной на оптимальное использование экологичных – природо-, энерго-, и материалосберегающих технологий. При этом важно отметить, что производство формальдегидных смол и древесных листовых материалов, что относится к видам деятельности ОАО «Речицадрев» согласно учредительным документам, неизбежно связано с высокой экологической нагрузкой на окружающую среду. Завод синтетических смол ОАО «Речицадрев» включает в себя установку по производству формалина и карбамидоформальдегидного концентрата (далее КФК-85) суммарной мощностью 30000 т/год в пересчете на 37 % формалин, а также цех смол суммарной мощностью 31500 т/год. В результате высокого спроса на продукцию завода производительность цеха смол была повышена на 37 % от проектной мощности и достигла 43300 т/год за счет модернизации собственными силами системы охлаждения реакторов синтеза смол. В целях полного обеспечения цеха смол формальдегидом собственного производства был установлен турбокомпрессор с сопутствующим оборудованием, что позволило увеличить мощность производства формалина и КФК-85 на 25 % от проектной мощности и достичь производительности 37500 т/год. По нашему мнению для обеспечения экологической безопасности и охраны окружающей среды необходимо проведение системной работы по сокращению образования отходов производства и поиску направлений по их использованию. Это согласуется с принципами системы менеджмента окружающей среды в соответствии с требованиями ISO 14001–2017, внедренной на ОАО «Речицадрев» (сертификат № ВУ/112 06/01/ 074 00469, выданный аккредитованным органом по экологической сертификации систем управления окружающей средой), и реализовано в системе экологического производственного контроля предприятия.

Разработана система экологического производственного контроля завода синтетических смол в соответствии с ГОСТ 15.309, рационально учитывающая распределение потока опасных для здоровья, наследственности человека и окружающей среды химических соединений и веществ, и включающая входной, операционный и приемочный контроль. Входной контроль осуществляется по таким токсикантам как: метанол в соответствии с ГОСТ 2222–95, карбамид – ГОСТ 2081–2010, формалин –

ГОСТ 1625–2016, едкий натр – ГОСТ 2263–79, КФК-85 – ТУ ВУ 400025915.006–2017, сульфат аммония – ГОСТ 9097–82, диэтиленгликоль – ГОСТ 10136–77, меламина – ГОСТ 7579–76. Приемочный контроль осуществляется по таким токсикантам как: КФК-85 в соответствии с ТУ ВУ 400025915.006–2017, карбамидоформальдегидной смоле – ТУ ВУ 400025915.007–2017 и для продукции проведена оценка опасности в соответствии с согласованной на глобальном уровне системой классификации и маркировки химических веществ, что отражено в паспортах безопасности. Операционный экологический контроль, направленный на санитарно-гигиеническую безопасность производства, включает анализ такого фактора производственной среды как воздух рабочей зоны по формальдегиду, аммиаку и твердым частицам. Разработанные экологические мероприятия, в том числе проведенные в рамках модернизации завода, позволили снизить выбросы загрязняющих веществ на 50 % и более от нормированных значений, установленных в «Разрешение на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух» 02120/03/00.0151, выданных органом государственного санитарного надзора РБ.

Усредненная выборка данных по контролируемым показателям за 2020 г. в соответствии с МУК 1637-77, МВИ.МН. 5842-2017, М 02-02-2005 в воздухе рабочей зоны и сравнение результатов с нормированными значениями, установленными в Санитарных нормах, правилах и гигиенических нормативах «Требования к контролю воздуха рабочей зоны», утвержденных Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11.10.2017 г. № 92, показана в таблице.

Т а б л и ц а

Усредненная выборка данных по контролю воздуха рабочей зоны производства синтетических смол ОАО «Речицадрев» за 2020 г.

Контролируемый показатель	Единица измерения	Значение параметра наблюдений	
		Среднее	Нормированное (ПДК)
Формальдегид	мг/м ³	0,2	0,5
Аммиак	мг/м ³	4,9	20

Результаты анализа вредных веществ II и IV классов опасности (см. табл.) показали низкую интенсивность их выделения, такая же статистика наблюдалась в течение 2 полных лет, что позволило сократить периодичность проведения контроля согласно требованиям белорусского законодательства. В рамках реализации проекта реализовано техническое решение, которое было реализовано в рамках экологической политики ОАО «Речицадрев» (рис.). В процессе синтеза синтетических смол и древесных листовых материалов (ДСП, линия импрегнирования декоративной бумаги) образуется значительное количество жидких отходов в виде промывных вод, содержащих необходимые при синтезе смол и КФК-85 формальдегид и карбамид. Образующие жидкие отходы от промывок реакторов синтеза смол, чистки фильтров грубой и тонкой очистки, промывок емкостей хранения смол необходимо фильтровать и собирать в специально отведённую для этих целей нержавеющей емкость (объем 27 м³). В данную емкость также можно собирать жидкие отходы в виде промывных вод от производств ДСП и импрегнирования. В этой емкости, для исключения возможного выпадения в осадок неотфильтровавшихся мелких частиц, постоянно функционирует перемешивающее устройство. Перед началом синтеза клеевой смолы с использованием промывных вод, из емкости хранения этих отходов необходимо произвести отбор пробы для определения в ней содержания формальдегида, карбамида и установления величины рН, что затем в дальнейшем учесть в расчетах при синтезе смолы. Целесообразно заметить, что при производстве карбамидоформальдегидного концентрата образуется жидкий отход производства – дистиллят, который было предложено частично утилизировать при приготовлении 25 % раствора карбамида (в дальнейшем этот раствор карбамида возвращается в цикл при производстве КФК-85), а оставшуюся часть утилизировать при производстве смол (рис.). Как и при утилизации промывных вод, перед началом синтеза клеевой смолы с использованием дистиллята, из емкости хранения дистиллята отбирается проба в лабораторию для определения в ней содержания формальдегида, карбамида и рН. Полученные результаты в дальнейшем учитываются в расчетах при синтезе смолы (см. рис.).

Для более эффективной очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха от реакторов синтеза смол и складского хозяйства (емкости хранения КФК-85, формалина, клеевых и пропиточных смол), а также во исполнение требований экологических норм и правил ЭкоНиП 17.01.06-001-2017 «Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности» в 2021 г. был реализован проект по замене ранее используемого скруббера на абсорбционно-биохимическую установку.

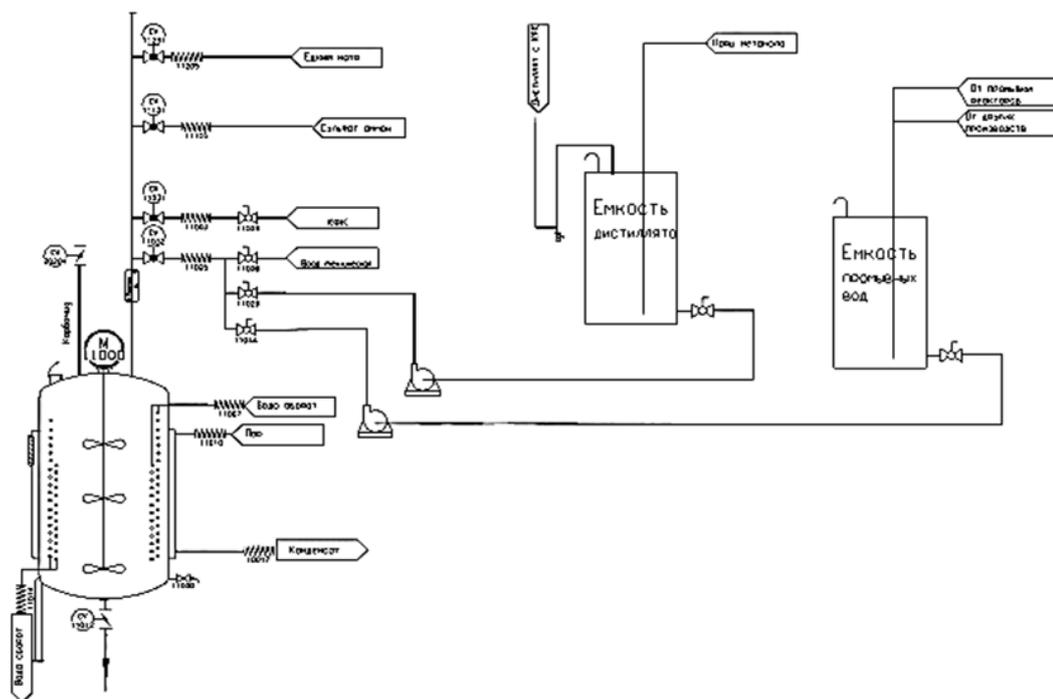


Рис. Схема возврата в производство карбамидоформальдегидных смол промывных вод от линий древесных листовых материалов

Принцип работы данной установки заключается в том, что выбрасываемый в атмосферу воздух поступает на очистку в абсорбер, куда подается водный абсорбент. В результате массообменных процессов происходит очистка воздуха от загрязняющих вредных веществ. Загрязненный раствор из абсорбера поступает в биореактор. В биореакторе происходит биохимическая деструкция растворенных загрязняющих примесей до H_2O и CO_2 при помощи специальных штаммов микроорганизмов, выведенных институтом микробиологии НАН РБ. В настоящее время данная установка находится в режиме пуско-наладочных работ.

Таким образом, для повышения экологической безопасности производства формальдегидных смол и древесных листовых материалов разработана система производственного экологического контроля и система возврата жидких отходов в виде промывных вод и дистиллята в производство, позволяющая снизить периодичность оценки факторов производственной среды и утилизировать до 5232 т/год жидких отходов. В пуско-наладочном режиме находится система очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха от реакторов синтеза смол и складского хозяйства абсорбционно-биохимическим методом при помощи новых штаммов микроорганизмов. Предлагаемые технические решения согласуются с данными информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 8-2015.

УДК 674-419.32

А. А. Федотов,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ, aafedotoff@yandex.ru

Т. Н. Вахнина,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ, t_yachnina@mail.ru

С. А. Котиков,

аспирант, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ, galich1917@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ ФАНЕРЫ ФСФ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Костромской области в рамках научного проекта № 19-43-440001.

В работе исследуется влияние модификации на разбухание фанеры ФСФ по толщине. Вводится девять модифицирующих добавок в фенолоформальдегидное связующее. Наиболее эффективные модификаторы, улучшающие значение показателя – пероксид водорода, железоаммонийные квасцы, диметилглиоксим.

Ключевые слова: фанера ФСФ, фенолоформальдегидное связующее, модификация, разбухание по толщине.

A. A. Fedotov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, aaFedotoff@yandex.ru

T. N. Vakhnina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, t_vakhnina@mail.ru

S. A. Kotikov,

1st year graduate student, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, galich1917@yandex.ru

INVESTIGATION WATER RESISTANCE OF FSF PLYWOOD BASED ON MODIFIED BINDER

The paper investigates the effect of the modification on the swelling of FSF plywood in thickness. Nine modifying additives are added to the phenol-formaldehyde binder. The most effective modifiers that improve the value of the indicator are hydrogen peroxide, iron-ammonium alum, dimethylglyoxime.

Keywords: FSF plywood, phenol-formaldehyde binder, modification, thickness swelling.

Россия является лидером по производству фанеры, ее доля на мировом рынке березовой фанеры составляет 64 %. 30 % производимой фанеры реализуется на внутреннем рынке, остальная продукция отправляется на экспорт (по данным агентства WhatWood) [1]. Однако при положительной динамике производства фанеры существует проблема: глобальный тренд на то, что сырье дорожает быстрее, чем готовая продукция. Этот общий для деревоперерабатывающей промышленности тренд особенно характерен для фанерного производства [2]. Данный фактор требует от фанерного производства появления более экономичных или более производительных технологий.

Рациональный способ уменьшения затрат на производство фанеры – снижение температуры прессования. Проблема заключается в том, что при снижении температуры прессования до 150 °С и ниже фенолоформальдегидное связующее не достигает стадии резита, это негативно влияет на прочность и водостойкость фанеры ФСФ. Решением проблемы может быть введение модифицирующих добавок, повышающих адгезионную и когезионную прочность фенолоформальдегидного связующего. Вследствие этого возможно улучшение комплекса эксплуатационных свойств фанеры ФСФ [3, 4].

Аспекту повышения прочностных характеристик фанеры ФСФ, изготовленной при низкотемпературном режиме производства на основе модифицированного фенолоформальдегидного связующего, уделяется внимание в трудах ученых [5, 6], однако вопрос повышения ее водостойкости остается недостаточно исследованным. Объясняется это, в числе прочего, и положением дел с нормативной документацией на фанеру общего назначения. Как в предыдущей редакции ГОСТ 3916.1, так и в редакции 3916.1–2018 стандарта на фанеру общего назначения показатели влаго- и водопоглощения, а также разбухания по толщине после пребывания в воде не являются нормируемыми. При этом к используемой в качестве опалубки фанере предъявляются по ГОСТ 52752–2007 требования к стойкости при переменных температурно-влажностных воздействиях (ГОСТ 33121–2014)

В настоящей работе исследуется влияние модификации фенолоформальдегидного связующего девятью добавками (табл.) на показатель разбухания фанеры ФСФ по толщине. Для изготовления пятислойной фанеры использовался лущеный березовый шпон (ГОСТ 99–2016) номинальной толщиной 1,5 мм, фенолоформальдегидная смола СФЖ-3014 (ГОСТ 20907–2016) и модифицирующие добавки, представленные в таблице. Доля добавки модификаторов варьировалась от 0,25 до 1,50 % (с градацией 0,25 %).

Т а б л и ц а

Добавки, используемые для модификации ФСФ

Вид модификатора	Химическая формула
Пероксид водорода (3 %-ный водный раствор)	H_2O_2
Сульфат цинка восьмиводный (водный раствор)	$ZnSO_4 \cdot 8H_2O$
Железоаммонийные квасцы (водный раствор)	$NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
Хлорид магния безводный (водный раствор)	$MgCl_2$
Хлорид железа шестиводный (водный раствор)	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$
Хлорид алюминия шестиводный (водный раствор)	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$
Диметилглиоксим (в сухом виде и в виде суспензии)	$C_4H_8N_2O_2$
Сульфат алюминия восемнадцативодный (водный раствор)	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
Сульфосалициловая кислота двухводная (водный раствор)	$C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$

Результаты определения разбухания фанеры по толщине с применением предложенных модификаторов представлены на рис. 1–3. Разбухание фанеры без модификации составило 10,93 %.

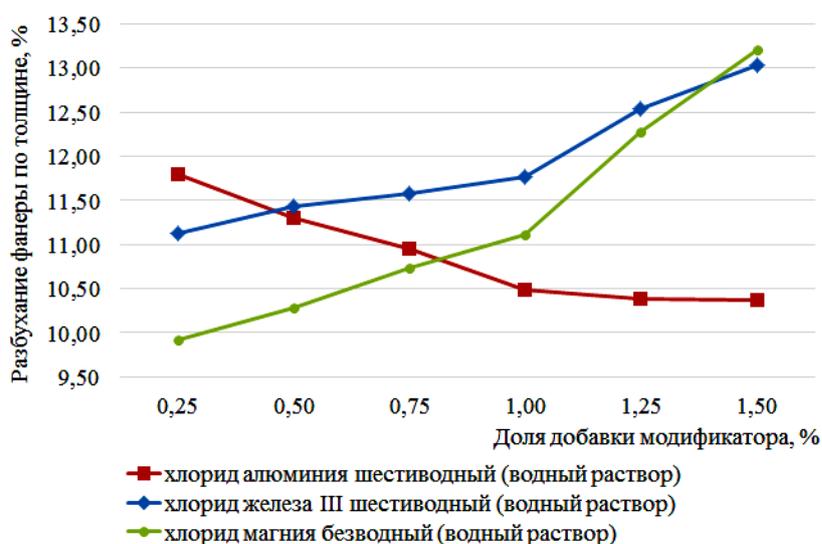


Рис. 1. Зависимость разбухания фанеры от доли добавки хлоридов металлов

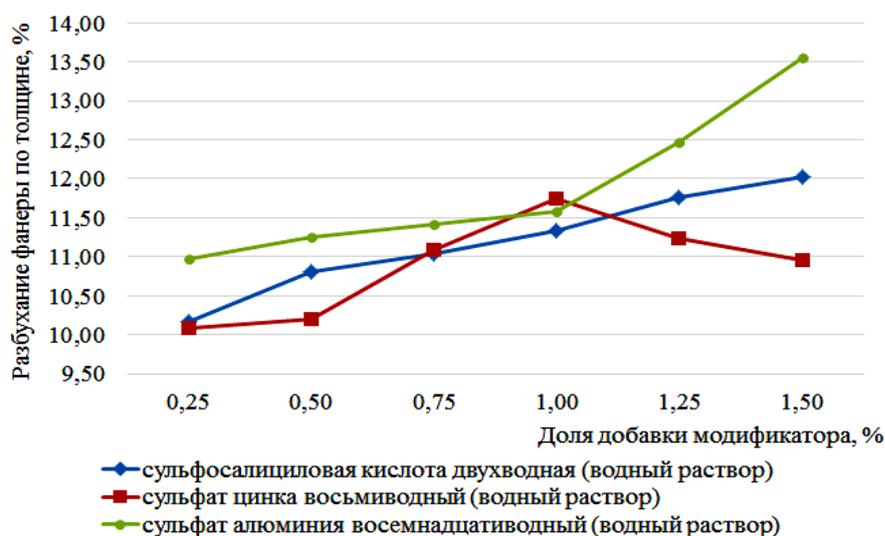


Рис. 2. Зависимость разбухания фанеры от доли добавки сульфатов металлов и сульфосалициловой кислоты

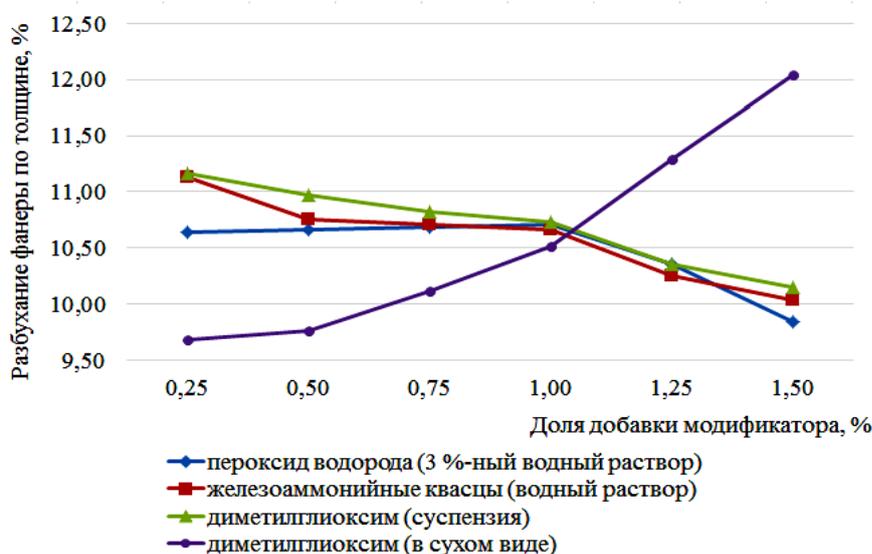


Рис. 3. Зависимость разбухания фанеры от доли добавки модификаторов

Пероксид водорода наиболее эффективно снижает разбухание фанеры по толщине. На уровнях варьирования доли добавки 0,25...1,50 % значение показателя разбухания меньше, чем без данной добавки, а также меньше, чем при добавке железоаммонийных квасцов (0,50...1,50 %), диметилглиоксима (0,25...1,00 % в сухом виде и 0,75...1,50 % в виде суспензии).

Положительное влияние хлорида алюминия (1,00...1,50 %), хлорида магния (0,25...0,75 %) сульфосалициловой кислоты и сульфата цинка (0,25...0,50 %) несколько ниже и наблюдается также в указанных диапазонах варьирования.

При использовании хлорида железа III и сульфата алюминия разбухание фанеры выше, чем без модификации, это позволяет сделать вывод, что данные модификаторы положительно влияют на механические свойства фанеры, но при этом снижают гидролитическую устойчивость связующего.

В целом, можно отметить, что добавка пероксида водорода в качестве модификатора фенолоформальдегидного связующего позволяет при снижении температуры прессования сформировать более гидролитически устойчивую матрицу связующего и улучшить водостойкость фанеры ФСФ.

Список литературы

1. Древесные плиты и фанера сегодня: цифры, факты, проблемы и перспективы развития // ПРОДЕРЕВО. URL: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/drevesnye-plity-i-fanera-segodnya-tsifry-fakty-problemy-i-perspektivy-razvitiya.html> (дата обращения: 02.03.2021).
2. Бесчастнов А. Тенденции замещения и потенциал роста: фанера, OSB, ДСП, MDF // ПРОДЕРЕВО. URL: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/tendentsii-zameshcheniya-i-potentsial-rosta-fanera-osb-dsp-mdf.html> (дата обращения: 02.03.2021).
3. Вахнина Т. Н., Федотов А. А., Сусоева И. В. Влияние модификаторов на время отверждения фенолоформальдегидного связующего для прессования фанеры при низкотемпературном режиме // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 4(36). С. 99–108.
4. Федотов А. А., Вахнина Т. Н., Котиков С. А. Повышение прочностных показателей фанеры ФСФ путем использования модифицирующих добавок к связующему // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1(37). С. 124–135.
5. Mirski R., Dziurka D., Lecka J. Potential of shortening pressing time or reducing pressing temperature for plywood resinated with PF resin modified using alcohols and esters // European Journal of Wood and Wood Products. 2011. Vol. 69. No. 2. Pp. 317–323.
6. Sedliacik J., Bekhta P., Potapova O. Technology of low-temperature production of plywood bonded with modified phenol-formaldehyde resin // Wood research. 2010. Vol. 55(4). Pp. 124–130.
7. ГОСТ 33121–2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям. М. : Стандартиформ, 2019. 14 с.

УДК 666.973.3:674.8; 674.046

В. Ю. Чернов,

к. т. н., доцент кафедры «Стандартизация, сертификация и товароведение», Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия,
chernovvy@volgatech.net

И. Г. Гайсин,

к. т. н., доцент кафедры «Лесопромышленные и химические технологии», Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

А. А. Палкин,

магистрант, ФГБОУ ВО «ПГТУ», Йошкар-Ола, Россия

Е. М. Мальцева,

студент, ФГБОУ ВО «ПГТУ», Йошкар-Ола, Россия

БЕТОН НА ОСНОВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ТМД: ОСОБЕННОСТИ МАТЕРИАЛА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Представлены теплоизоляционные свойства легкого бетона на основе ТМД. Проведены исследования прочности на сжатие и теплопроводность нового материала при использовании различных наполнителей. Результаты исследования показали целесообразность использования наполнителя из ТМД при использовании низкосортной древесины для производства арболита.

Ключевые слова: арболит, бетон на основе ТМД, низкосортная древесина.

V. Yu. Chernov,

Ph. D., Associate Professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation, chernovvy@volgatech.net

I. G. Gaisin,

Ph.D, Associate Professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

A. A. Palkin,

master's degree student, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

E. M. Maltseva,

student, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

THE CONCRETE BASED ON TMW FILLER: FEATURES OF THE MATERIAL AND PROSPECTS OF USE

The thermal insulation properties of lightweight concrete based on TMW are presented. Studies of the compressive strength and thermal conductivity of the new material with the use of various fillers were carried out. The results of the study showed the feasibility of using a TMW filler when using low-grade wood for the production of arbolite.

Ключевые слова: arbolite, concrete based on TMW, low-grade wood.

Одним из распространенных современных материалов бесспорно является бетон. Его область применения обширна, начиная от строительства и заканчивая декоративными работами. Он зарекомендовал себя как прочный относительно неприхотливый материал для гражданского и промышленного строительства. Достаточно широкое распространение приобрел и легкий бетон на основе цементного вяжущего, органических заполнителей и специальных добавок, известный как арболит [1]. Данный материал изготавливается как конструкционным, так и теплоизоляционным. Несмотря на высокие теплоизоляционные свойства (теплопроводность 0,07...0,16 Вт/(м·с)) имеются существенные недостатки, один из которых – это высокая гигроскопичность материала и невысокая марочная прочность [2]. Хорошая впитываемость и сохраняемость влаги создают некомфортные условия проживания или опасность, вызванную образованием плесени или разрушением материала в результате переувлажнения. Основной причиной этого является использование древесной щепы или стружки как основного наполнителя.

Для улучшения эксплуатационных свойств легких бетонов целесообразно использовать в качестве наполнителя термически модифицированную древесину (ТМД) исходя из следующих положений:

1) она обладает существенно меньшей гигроскопичностью и изменчивостью размеров (усушка/разбухание) по сравнению с необработанной древесиной;

2) отсутствие или малое содержание экстрактивных веществ в древесине улучшает процесс образования цементного камня и повышает адгезионные свойства между ним и древесным наполнителем, повышая прочность бетона в целом;

3) снижение плотности древесины в процессе термической модификации улучшает её теплоизоляционные свойства.

Для экспериментального подтверждения указанных преимуществ на базе малого инновационного предприятия «НовЛесТех», занимающегося термической модификации древесины, были разработаны [3], изготовлены и исследованы образцы бетона с различным наполнителем из ТМД (см. табл. 1).

Таблица 1

Характеристики пробных образцов легкого бетона с наполнителем из ТМД

Тип бетона	Состав	Особенности полученного материала
1	Стандартное соотношение портландцемента М500, щепы ТМД хвойных пород и воды	Исследования влагопоглощения и прочности на сжатие показали результат, существенно не отличающийся от обычного арболита. Низкая прочность на сжатие вследствие слабой адгезии между частицами щепы
2	Портландцемент М500, иглообразная стружка ТМД хвойных пород, песок, добавки (силикат натрия и гашеная известь)	Небольшая толщина стружки ТМД 1-1,5 мм придает ей гигроскопичность на уровне необработанной древесины, таким образом теряются преимущества от термической модификации. В процессе производства значительно увеличивается потребление воды при приготовлении смеси, существенно увеличивается время схватывания бетона даже при тепловлажностной автоклавной обработке и, как результат, низкое качество полученного бетона
3	Портландцемент М500, дробленка ТМД хвойных пород, песок, добавки (силикат натрия и гашеная известь)	Использование добавок существенно не улучшило адгезионные свойства и прочность на сжатие. Замечено, что в процессе исследования на сжатие разрушение образца начиналось от заостренных концов дробленки
4	Портландцемент М500, гранулообразный (цилиндрический) наполнитель ТМД ели, песок	Получены существенно более высокие эксплуатационные характеристики в отличие от трех предыдущих типов бетона

Легкий бетон 4 (см. табл. 1) типа содержит наполнитель в виде термически модифицированной древесины сухостойной ели круглого сечения специально изготовленный в виде гранул (цилиндра) диаметром около 20 мм и длиной вдоль волокон 30...35 мм. Перед приготовлением смеси наполнитель отдельно вымачивался в растворе, обладающим способностью обезжиривания. Технология изготовления бетона была стандартной и заключалась в перемешивание смеси цементного вяжущего, мелкого заполнителя в виде песка и крупного заполнителя в виде ТМД, в последующем вибролитье и тепловлажностной автоклавной выдержке.

Априорные исследования прочности на сжатие и теплопроводность данного бетона проводились в сравнении с силикатным кирпичом, газобетонным и полнотелым керамзитобетонным блоками. Всего было подготовлено по 8 образцов каждого из них. Все образцы имели стандартные для кирпича размеры 120×80×250 мм.

Прочность на сжатие исследовалась на универсальной испытательной машине (УИМ) SHIMADZU. Для этого образцы распиливались для получения параллелепипеда с размерами 120×80×120 мм. Средняя максимальная нагрузка на сжатие и предел прочности на сжатие представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты исследования и расчета прочности на сжатие

Материал	Максимальная нагрузка, кН	Предел прочности на сжатие, МПа	Класс прочности
Силикатный кирпич (СК)	более 45*	более 3,13	выше В2,5
Керамзитобетонный блок (КБ)	28,4	1,97	В1,5
Газобетонный блок (ГБ)	28,5	1,98	В1,5
Блок с наполнителями из ТМД ели (легкий бетон 4 типа БТМД)	более 45*	более 3,13	выше В2,5

* максимально возможная нагрузка УИМ.

Силикатный кирпич и блок с наполнителями из ТМД ели показали самые высокие показатели прочности на сжатие. При этом в виду технических возможностей УИМ нагрузка была искусственно ограничена 45 кН, поэтому реальный предел прочности на сжатие определить не удалось. Однако, средний предел прочности кирпичей варьируется от 7,5 до 30,0 МПа.

Для исследования теплопроводности использовалась электрическая плитка мощностью 500 Вт. Образцы материала по очереди укладывались плашмя на нагревательный элемент плитки. Нагрев осуществлялся постоянно в течение 50 мин. В процессе нагрева на противоположной поверхности блока осуществлялось измерение температуры. Температура окружающей среды –15 °С. Результаты измерений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты сравнительного исследования теплопроводности материалов

Время с начала нагрева, мин.	Температура поверхности противоположной поверхности блока, °С			
	СК	КБ	ГБ	БТМД
25	18,7	17,9	меньше 0	3,9
30	31,4	28,5	меньше 0	13,1
35	48,4	39,6	2,6	26
40	55,6	48,9	19,4	35,6
45	64,5	54,3	29,7	47,3
50	75,2	60,6	35,1	50,9

Диаграмма, характеризующая нагрев противоположной стороны блоков с течением времени представлена на рисунке.

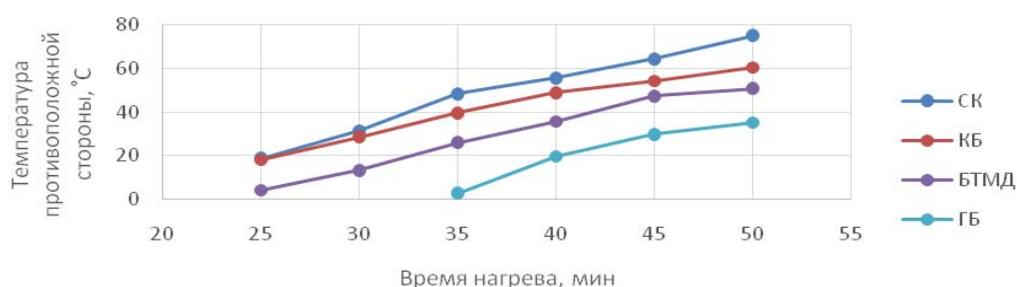


Рис. Температура поверхности противоположной поверхности блока

Легкий бетон 4 типа имеет существенно меньшую теплопроводность, чем керамзитобетон и силикатный кирпич, уступая лишь газобетону.

Учитывая тот факт, что ТМД как материал является не дешевым в изготовлении, его использование может быть целесообразно при использовании низкосортной древесины. Также с целью решения проблем рационального использования лесных ресурсов предлагается для производства наполнителя из ТМД применять древесину сухостойной ели. Следует отметить, что ель среди распространенных в России пород имеет одну из наименьших величин теплопроводности (0,11 Вт/(м·с)).

Несмотря на то, что сами исследования являются упрощенными и выполнены не по стандартным методикам, их результаты получились наглядными и позволяют предположить высокую конкурентоспособность разработанного строительного материала, благодаря сочетанию таких свойств как высокая прочность, низкая гигроскопичность и относительно малая теплопроводность.

Список литературы

1. ГОСТ 19222–2019. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. Введ. 01.01.2020. М. : Стандартинформ, 2019. 36 с.
2. Справочник по производству и применению арболита / П. И. Крутов, И. Х. Наназашвили, Н. И. Склизков, В. И. Савин ; под ред. И. Х. Наназашвили. М. : Стройиздат, 1987. 208 с.
3. Чернов В. Ю., Гайсин И. Г., Мальцева Е. М. Арболитовая смесь. Заявка № 2020142177 от 21.12.2020.

УДК 674.047.3

А. И. Шагеева,

старший преподаватель кафедры АрД, ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», г. Казань, РФ,
sham.adilya@yandex.ru

Р. Р. Сафин,

д. т. н., зав. кафедрой АрД, ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», г. Казань, РФ,
cfaby@mail.ru

П. А. Кайнов,

к. т. н., доцент кафедры АрД, ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», г. Казань, РФ,
petr.k@plastline.org

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СВЧ-ПОЛЕ

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

В данной статье представлена разработанная математическая модель теплопереноса в условиях внутренней задачи в процессе сушки и термической обработки древесины в вакуумной СВЧ-установке. В ходе реализации разработанной модели опытными испытаниями по термомодифицированию пиломатериалов была проведена проверка математической модели на адекватность.

Ключевые слова: *сушка, термомодифицирование, математическое моделирование, теплоперенос, древесина.*

A. I. Shageeva,

assistant of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
sham.adilya@yandex.ru

R. R. Safin,

Doctor of Science in Engineering, Chairs the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
cfaby@mail.ru

P. A. Kaynov,

PhD of Science in Engineering, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
petr.k@plastline.org

MATHEMATICAL MODEL FOR THE PROCESS OF HEAT TREATMENT OF WOOD MATERIALS IN A MICROWAVE ENVIRONMENT

This article presents the developed mathematical model of heat and mass transfer under the conditions of an internal problem in the process of drying and heat treatment of wood in a vacuum microwave installation. During the implementation of the developed model by experimental tests for thermal modification of lumber was carried out verification of mathematical model.

Keywords: drying, thermal modification, mathematical modeling, heat and mass transfer, wood.

Проблеме модификации древесины и в развитие теории и практики вакуумно-высокочастотной сушки посвящено большое количество трудов отечественных и зарубежных ученых [1, 2]. При этом все более актуальным становится вопрос создания способа термической обработки древесины, который позволяет сократить продолжительность и энергозатраты на введение процесса.

Процесс термомодифицирования древесины можно представить, как совокупность стадий прогрева, сушки, непосредственного термического модифицирования и охлаждения [3, 4]. При этом, одним из основных стадий процесса термического модифицирования древесины, определяющих качество пиломатериала, является сушка. Важное преимущество использования СВЧ-излучения заключается в возможности применения избирательного, саморегулирующегося нагрева обрабатываемого материала. Однако, расположив СВЧ-генератор в каком-то одном определенном месте, сложно добиться равномерности нагрева по всему штабелю. В этой связи исследования посвящены именно тому, чтобы выровнять мощность теплового нагрева в разных точках штабеля.

Для повышения эффективности процесса сушки и термомодифицирования древесины разработана установка с использованием импульсного СВЧ-нагрева в вакуумной среде. По сравнению с другими известными способами, у представленного метода минимальная продолжительность процесса, связанная с высокой скоростью переноса тепла, вырабатываемого внутри высушиваемого материала и поглощения СВЧ-энергии по всему объему пиломатериалов (рис.).

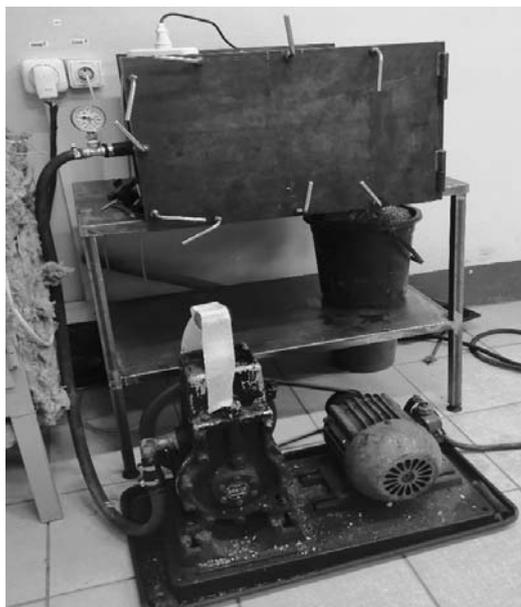


Рис. Экспериментальная установка вакуумной СВЧ-сушки и термомодифицирования пиломатериалов

Установка содержит СВЧ-камеру из листового металла, помещенную в герметичную камеру из нержавеющей стали, закрытую крышкой с эластичной мембраной, состоящий из линии вакуумирования, основного выключателя для регулирования и перекрытия вакуума, вакуумметра, индикатора времени и мощности нагрева. В ходе экспериментов в качестве образцов использовались сосновые пиломатериалы с разными размерами, с базисной плотностью 390 кг/м^3 и начальной влажностью 60 %. Подвод тепловой энергии к пиломатериалу осуществляется электромагнитным СВЧ-полем от микроволнового генератора, который имеет мощность 700 Вт и частоту 2450 МГц. Температура пиломатериала внутри камеры измеряется с помощью пирометра, а температура центра материала с помощью термометра.

Одномерная математическая модель для описания тепломассопереноса в условиях внутренней задачи в процессе сушки может быть представлена, как дифференциальные уравнения переноса энергии, изменения влажности, температуры и давления в материале, выраженные как:

$$c_m \rho_m \frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_m \left(\frac{\partial T_m}{\partial x} \right) \right) + q_{\text{СВЧ}}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a' \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \delta' \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{kp}{\nu_0} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_M}{\partial \tau} = \frac{RT_M}{C_0 \mu} \left[k_p \frac{\partial^2 \rho_M}{\partial x^2} + \bar{\varepsilon} \rho_0 \frac{\partial U}{\partial \tau} \right] + \frac{\rho_M}{T_M} \left(\frac{\partial T_M}{\partial \tau} \right), \quad (3)$$

Решение дифференциальных уравнений (1) и (2) процесса сушки пиломатериалов проводится при следующих начальных и граничных условиях:

$$T_M(0; x) = \text{const},$$

$$U_M(0; x) = \text{const},$$

$$P_M(0; x) = \text{const},$$

$$\alpha(T - T_{\text{пов.м}}) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - rj,$$

$$j = \beta(U_M - U_{\text{равн.}}),$$

$$P_M(\tau; 0) = P_{\text{кам}}.$$

При решении задач по термомодифицированию древесины, математическое моделирование процесса можно осуществлять без учета фильтрационного переноса парогазовой смеси продуктов разложения внутри материала. Тогда для описания тепломассопереноса применяются уравнения переноса энергии (4) и изменения плотности в материале (5), которое в этом случае может быть представлено в следующем виде:

$$c_M \rho_M \frac{\partial T_M}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_M \left(\frac{\partial T_M}{\partial x} \right) \right) - qk\rho_M + q_{\text{СВЧ}}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho_M}{\partial \tau} = -k \cdot \rho_M, \quad (5)$$

Начальным условием для стадии термомодифицирования при решении уравнения (4) является конечное распределение температуры и влагосодержания после стадии сушки, а граничное условие может быть представлено в следующем виде:

$$\alpha(T - T_{\text{пом.м}}) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - jq.$$

Для решения уравнения (5) процесса термомодифицирования пиломатериалов введено следующее начальное условие:

$$\rho_M(0; x) = \text{const},$$

$$q_{\text{СВЧ}} = \frac{P_{\text{уд}}}{\rho_M}.$$

Удельная мощность, определяющая количество тепла, выделенного при СВЧ-нагреве в единице объема материала рассчитывают согласно классическому закону Джоуля-Ленца по формуле:

$$P_{\text{уд}} = 0,556 \cdot 10^{-6} \varepsilon \text{tg} \sigma f E^2, \quad (6)$$

Диэлектрическая проницаемость древесины определяется как

$$\varepsilon = \frac{4\pi \delta C_0}{S_0}, \quad (7)$$

Для описания доли подведенной мощности, которая поглощается древесиной и превращается в теплоту применяют тангенс угла диэлектрических потерь

$$\text{tg} \sigma = \frac{\sigma f}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon}, \quad (8)$$

Напряженность электрического поля, которое создает точечный заряд, определяется законом Кулона:

$$E = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q_3}{r^2}, \quad (9)$$

при этом заряд

$$q_3 = CU, \quad (10)$$

В ходе реализации математической модели была доказана удовлетворительная сходимость опытных и расчетных данных, что говорит об адекватности разработанной модели.

Список литературы

1. Разумов Е. Ю., Сафин Р. Р., Шамсутдинова А. И. Современные российские исследования и разработки в области термомодифицирования пиломатериалов. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2017. № 3. С. 5–12.
2. Кайнов П. А., Мухаметзянов Ш. Р., Шамсутдинова А. И., Мухтарова А. Р. Математическая модель процесса сушки пиломатериалов в вакуумной СВЧ установке. *Деревообрабатывающая промышленность*. 2017. № 4. С. 17–21.
3. Шагеева А. И., Сафин Р. Р., Мухаметзянов Ш. Р., Порфирьева К. М. Математическое моделирование процессов сушки пиломатериалов в СВЧ-среде / Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. В. 57. С. 71–74.
4. Шамсутдинова А. И., Кайнов П. А., Моделирование процесса сушки пиломатериала в вакуумной СВЧ установке // Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции «БУДУЩЕЕ НАУКИ – 2018». 2018. Т. 4. С. 313–316.

УДК674.816.2

В. Д. Эскин,

магистрант 1 курса, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
vladislaweskin@gmail.com

А. И. Криворотова,

к. т. н., доцент кафедры ТКМД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, РФ,
tkmkai@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ И СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ

Участие в конференции поддержано Красноярским краевым фондом науки <http://www.sf-kras.ru>.

Современные тенденции последних десятилетий показывают значительный рост интереса к экологически чистым композиционным материалам на основе древесного сырья. Кусковые отходы деревообработки, опилки, кора – вторичное древесное сырье, применение которого позволяет обеспечить комплексную переработку древесины без увеличения количества ее заготовки. Одним из способов переработки отходов является механоактивация. В работе определены способы и режимы изготовления экологически чистых плотных материалов на основе механоактивированных тонкодисперсионных частиц коры и древесной шишки, исследованы основные физико-механические свойства полученных материалов.

Ключевые слова: механоактивация, древесина, сырье, листовой материал, кавитация, режим, свойства.

V. D. Eskin,

1st yearmaster'sdegree student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation,
vladislaweskin@gmail.com

A. I. Krivorotova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation,
tkmkai@mail.ru

INVESTIGATION OF THE MODES AND PROPERTIES OF SHEET MATERIALS MADE OF MECHANICALLY ACTIVATED WOOD PARTICLES

Modern trends in recent decades show a significant increase in interest in environmentally friendly composite materials based on wood raw materials. Lumpy wood processing waste, sawdust, bark – secondary wood raw materials, the use of which allows for

complex processing of wood without increasing the amount of its harvesting. One of the ways to process waste is mechanical activation. The paper defines the methods and modes of manufacturing environmentally friendly plate materials based on mechanoactivated fine particles of bark and wood cones, and studies the basic physical and mechanical properties of the materials obtained.

Keywords: *mechanical activation, wood, raw materials, sheet material, cavitation, mode, properties.*

Общемировые тенденции последних десятилетий показывают значительный рост интереса к экологически чистым композиционным строительным материалам на основе древесного сырья, в производстве которых не применяются связующие вещества, негативно воздействующие на организм человека в процессе эксплуатации. Традиционные технологии производства строительных материалов не всегда соответствуют требованиям экологической безопасности. Отходы производств таких материалов либо не перерабатываются, либо перерабатываются неэффективно, что также создает угрозу для окружающей среды.

Кусковые отходы деревообработки, опилки, кора – вторичное древесное сырье, требующее дальнейшей переработки. На сегодняшний день все более широкое распространение получают технологии переработки кусковых отходов и опилок в топливные брикеты и гранулы. Такие отходы как кора и шишка хвойных перерабатываются малоэффективно. С 1964 года известна технология производства изоляционных плит из коры, где в качестве связующего выступает бардяной концентрат, который в свою очередь является отходом производства целлюлозы [1]. Кора также используется в качестве основного сырья при изготовлении королита [2]. Известны способы изготовления топливных брикетов из отходов окорки и мелких отходов механической обработки древесины [3]. Отходы древесной шишки, которые образуются на лесозаготовках и семязаготовительных предприятиях не находят широкого применения. Самым известным способом переработки древесной шишки, является производство композиционного материала «Кедропласт». В состав этого материала входит скорлупа кедрового ореха, шелуха кедровой шишки и смола кедра в качестве связующего элемента. Наибольшее распространение кедропласт получил в медицине. Из кедропласта изготавливают лечебные кабины и капсулы [4].

Одним из современных и набирающих популярность способов обработки древесного сырья, целью которого является получение из отходов деревопереработки высококачественных конструкционных, теплоизоляционных или декоративных материалов, является механоактивация. Под механоактивацией понимается метод, основанный на явлении кавитационного воздействия на обрабатываемый древесный материал [5]. В результате такой обработки древесное сырье приобретает активные аутокогезионные свойства, которые обеспечивают полную однородность и высокую слипаемость обработанной древесной массы. Это дает возможность при изготовлении древесных композитов отказаться от введения в состав материала связующих веществ и получать экологически чистые материалы с широким спектром физико-механических свойств.

Для исследования свойств листовых материалов предварительно измельченные отходы древесной коры, шишки и опилок поочередно обрабатывались в установке роторно-пульсационного типа. Результатом обработки являлась водная эмульсия тонкодисперсионных частиц. Под словосочетанием «водная эмульсия тонкоизмельченных частиц» понимается следующее. При циклическом движении измельченного древесного материала в кавитационной установке происходит его дополнительное измельчение за счет гидродинамического удара с одновременным вымыванием из сырья водорастворимых экстрактивных веществ. Последующее фильтрование полученных эмульсий приводит к их разделению на водные экстракты и древесные фракции большой влажности, обладающие высокой пластичностью. Дальнейшие операции подпрессовки и прессования позволяют получать из древесной массы композиционные материалы, обладающие заранее заданными физико-механическими свойствами [6].

Процедура выбора методики прессования плитных композитов без связующих веществ была основана на реализации предварительного эксперимента по изготовлению образцов материала способом холодного и горячего прессования. В результате пробных холодных запрессовок плит на тонкоизмельченной механоактивированной массе было установлено, что изготовленный материал по внешним признакам более подходит к материалам из группы утеплителей на древесной основе [7]. Пробные горячие запрессовки позволили установить, что получаемый материал обладает высокой плотностью и может быть отнесен к группе конструкционных материалов. Изменение режима прессования позволяет изменять физико-механические свойства материала, но при этом не дает возможности изготовить плиты низкой плотности. Плотность материалов на основе механообработанных частиц коры, опилок и шишки варьируется от 800 до 1200 кг/м³.

Оптимальные значения режимов холодного и горячего прессования для листовых материалов из механоактивированных частиц коры хвойных и древесной шишки определялись согласно V³-плану с использованием программного продукта *Statgraphics*. В результате получены следующие значения режимных параметров горячего прессования: для материалов на основе коры хвойных: температура прессования – 200 °С, удельная продолжительность прессования – 2,3 мин/мм, давление прессования –

1,75 МПа (плотность плит 850 кг/м³); для материалов на основе древесной шишки – температура прессования – 230 °С, удельная продолжительность прессования – 3,0 мин/мм, давление прессования – 1,9 МПа (плотность плит 850 кг/м³). Полученные материалы обладали следующими отличительными свойствами: для материалов на основе коры хвойных: предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты – 0,9–1,1 МПа, предел прочности при изгибе – 12,2–15,6 МПа (в зависимости от плотности); для материалов на основе древесной шишки: предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты – 0,6–0,85 МПа, предел прочности при изгибе – 6,2–8,0 МПа (в зависимости от плотности). При проведении исследований полученных материалов на показатели водопоглощения и разбухания по толщине изготовленных образцов было отмечено, что образцы разработанного материала на основе коры хвойных практически не смачиваются водой и впитывают влагу очень медленно. Для достижения незначительных изменений данных параметров образцам материала требуется выдержка в воде в течение не менее 3 суток. Образцы материала, изготовленные на основе древесной шишки, имеют невысокие показатели разбухания за 24 ч – от 4,5 до 16,8 % в зависимости от плотности материала. Наименьшими показателями обладают образцы, изготовленные способом горячего прессования с использованием максимальных значений параметров режима прессования.

По результатам проведенных исследований необходимо отметить, что свойства листовых материалов на основе механоактивированных древесных частиц определяются способом их изготовления и режимными параметрами процесса прессования. Полученные материалы обладают достаточно высокими прочностными характеристиками, имеют низкие показатели водопоглощения и разбухания, полностью экологически безопасны и не содержат токсичных связующих веществ.

Список литературы

1. Цыбульский Л. М. Свойства древесных плит из отходов окорки сосновой древесины // МОД. 1971. № 3. С. 10.
2. Пинджоян М. Л. Королит – новый строительный материал // Лесная промышленность. 1969. № 10. С. 13–14.
3. Зыков Ф. И. Подготовка древесной коры к сжиганию. М. : 1971. 38 с.
4. Патент № 2343078 Российская Федерация, МПК51С2 В44С 5/04(2006.01), В44С 1/24 (2006.01). Способ получения декоративных изделий из отходов кедровых шишек: № 2006125261: заявл. 13.07.2006: опубл. 10.01.2009 / Степченко В. М. 5 с.
5. Перник А. Д. Проблемы кавитации. Л. : Судостроение, 1966. 440 с.
6. Казицин С. Н. Получение древесных плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург : УГЛУ, 2018. 132 с.
7. Технология изготовления теплоизоляционных плит из коры местных пород деревьев // Комплексное использование отходов по материалам тематической выставки и конференции на ВДНХ СССР. М. : Гослесбумиздат, 1961. 70 с.

УДК 674.815

Ю. П. Данилов,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
danilov2135@mail.ru

Е. С. Хохлова,

ст. преп. кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
hohlova_ec@mail.ru

А. А. Федотов,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
aafedotoff@yandex.ru

И. В. Сусоева,

к. т. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
i.susoeva@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПО СЕЧЕНИЮ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ БРУСКОВ ЭКСТРУЗИОННОГО ПРЕССОВАНИЯ

В статье приводятся результаты исследования физико-механических свойств брусков экструзионного прессования, производимых на горизонтальных поршневых прессах.

Ключевые слова: *древесно-стружечная масса, экструзионное прессование, бруски экструзионного прессования, физико-механические свойства брусков экструзионного прессования.*

Yu. P. Danilov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, danilov2135@mail.ru

E. S. Khokhlova,

Art. Rev, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, hokhlova_ec@mail.ru

A. A. Fedotov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, aafedotoff@yandex.ru

I. V. Susoeva,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation, i.susoeva@yandex.ru

RESEARCH OF THE DISTRIBUTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ALONG THE SECTION OF WOOD-CHIP BARS OF EXTRUSION COMPRESSION

The article presents the results of a study of the physical and mechanical properties of extrusion pressing bars produced on horizontal piston presses.

Keywords: *wood-chip mass, extrusion pressing, extrusion pressing bars, physical and mechanical properties of extrusion pressing bars.*

Утилизация отходов производства позволяет существенно повысить экономическую эффективность работы предприятия. Одним из возможных способов использования сыпучих отходов на малых и средних деревообрабатывающих предприятиях является производство брусков, полученных путем прессования древесной массы с использованием или без использования связующего.

Такие брусковые заготовки могут быть использованы для изготовления деталей обвязки и заполнения щитовых дверных полотен, дверных коробок, бобышек поддонов. В связи с малыми объемами отходов изготовление таких брусковых деталей может осуществляться на экструзионных прессах. Однако в настоящее время отсутствуют отработанные технологические режимы производства брусков экструзионного прессования (БЭП). В связи с этим преподавателями кафедры ЛДП КГУ были проведены работы по определению качества БЭП, производимых на одном из предприятий Костромы.

Бруски экструзионного прессования (БЭП) на этом предприятии изготавливаются на экструзионном горячем горизонтальном прессе поршневого типа. При движении поршня в одну сторону древесная масса проталкивается в три «ручья», при движении поршня в другую сторону – в другие три ручья. Все «ручья» снабжены электрическими нагревателями, обеспечивающими возможность регулирования температуры прессования. Производительность пресса регулируется количеством ходов поршня в минуту и длиной хода. В качестве сырья для производства брусков экструзионного прессования используется смесь сыпучих отходов столярного производства, состоящая из древесной стружки, древесных опилок и опилок от раскроя ДВП, а также дробленых отходов ДВП. Сечение получаемых брусков составляет (Т×Ш) 55×110 мм.

С целью снижения затрат на производство БЭП их прессование на предприятии производилось без применения связующего. Однако при этом величины показателей физико-механических свойств продукции были низкими и крайне нестабильными. С целью повышения качества БЭП нами было предложено вводить в древесную массу связующее – смолу КФС с отвердителем хлористым аммонием. Содержание смолы КФС во всех опытах составляло 10 % от массы стружки.

Экспериментальные запрессовки были проведены в производственных условиях одного из предприятий Костромы. Переменные производственные факторы и уровни их варьирования, которые задавались в ходе эксперимента, приведены в таблице.

У всех полученных в ходе проведения производственных испытаний образцов были определены следующие показатели: плотность, распределение плотности по сечению, прочность на статический изгиб, водопоглощение, разбухание, сопротивление выдергиванию шурупов из пласти и кромки.

Для определения величины показателей физико-механических свойств БЭП образцы были раскроены по схеме, представленной на рисунке.

Факторы процесса производства образцов

Номер образца	Температура нагревателя, °С	Давление манометрическое, МПа	Длительность такта прессования, с	Удельный вес отвердителя, %
24	150	5	10	0
25	150	5	10	0
26	150	3	10	1
27	170	3	5	0,7
28	150	5	5	0,5
29.1	150	4	12	0,35
29.2	150	4	12	0,35
30.1	150	4	5	0,35
30.2	150	4	5	0,35
31.1	150	4	10	0
31.2	150	4	10	0

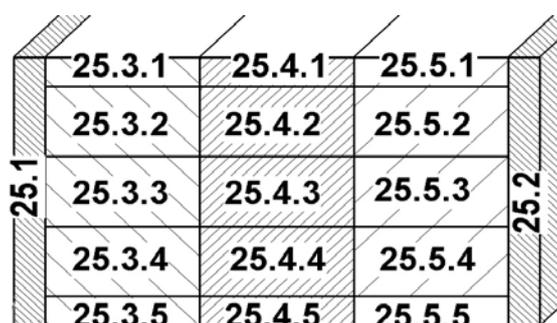


Рис. Схема раскроя образцов для определения распределения плотности по сечению БЭП (пример для образца №25)

Плотность БЭП. Плотность БЭП колеблется в широких пределах от 577 кг/м^3 до 1038 кг/м^3 . Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод об отсутствии зависимости плотности от величины технологических факторов (температуры, давления, длительности такта прессования, удельного веса отвердителя). Некоторые образцы изготавливались одновременно при одинаковых условиях, но в разных «ручьях» пресса. Однако величины плотности этих образцов различаются от 19,7 % до 41,6 %.

Распределения плотности материала по сечению БЭП. С целью определения распределения плотности деталей по сечению, полученные образцы раскраивались в соответствии со схемой, представленной на рисунке.

Проведенные замеры позволили выявить закономерности распределения плотности деталей по их сечению.

1. Плотность деталей уменьшается от поверхности к центру на 3–10 %. Такая закономерность объясняется большей упрессовкой наружных слоев деталей вследствие более длительного воздействия на них высокой температуры.

2. Плотность наружных слоев (верхнего и нижнего) обычно увеличивается от углов детали к их середине на 3–7 %. Однако эта закономерность не стабильна, в некоторых образцах наблюдается снижение плотности к середине наружных слоев, в других изменение плотности наружных слоев не имеет выраженной направленности.

3. Плотность деталей по ширине и толщине в большей части образцов уменьшается от периферии к центру. Однако в других образцах величина этого показателя увеличивается или плавно снижается от одной кромки к другой.

4. По результатам проведенных опытов выявить устойчивые закономерности изменения плотности деталей по их сечению не представляется возможным вследствие нестабильности других технологических факторов. К этим факторам относятся, прежде всего, равномерность подачи древесной массы, равномерность поддержания температуры и давления в процессе прессования.

Прочность БЭП на статический изгиб. С целью определения распределения прочности БЭП на статический изгиб полученные бруски раскраивались по ширине на три образца шириной 27 мм, толщиной равной толщине детали 55 мм и длиной 250 мм.

Из анализа результатов замеров можно сделать следующие выводы.

1. Прочность наружных слоев деталей обычно выше прочности внутренних слоев на 4–15 %.
2. Средняя по сечению прочность деталей на статический изгиб колеблется в пределах от 1,5 МПа до 5,2 МПа. Однако значения этого показателя крайне нестабильны. Прочность деталей, изготовленных одновременно из разных «ручьев» пресса, может отличаться в 1,5–2,5 раза.

Водопоглощение и разбухание БЭП. Из анализа результатов замеров можно сделать следующий вывод.

1. Водопоглощение и разбухание БЭП колеблется в пределах от 8,58 % до 40,68 %. То есть свойства образцов, полученных при одновременном прессовании деталей, но из разных «ручьев» могут отличаться в 1,5–4,7 раза.

Прочность на выдергивание шурупов. Для крепления фурнитуры на ООО «Дифорд» применяются крепеж типа «спакс». Поэтому испытания проводились для этого типа крепежа. Из анализа результатов замеров можно сделать следующий вывод.

1. С увеличением давления прессования прочность БЭП на выдергивание шурупов из пласти ожидаемо возрастает примерно с 85 Н/мм до 97 Н/мм, из кромки – с 92 Н/мм до 102 Н/мм. Однако следует отметить крайнюю нестабильность этого показателя. Прочность на выдергивание шурупов из одного образца может отличаться на 33 %. Прочность деталей на выдергивание шурупов, изготовленных по одним режимам одновременно, но из разных «ручьев» пресса, может отличаться в 1,2–2,4 раза.

Вывод. Величина всех физико-механических свойств деталей экструзионного прессования зависят от плотности материала. Однако результаты проведенных исследований свидетельствуют о неравномерности этого показателя, как по объему детали, так и для различных «ручьев» пресса. Причинами такого положения являются:

1. Находясь в загрузочной воронке, осмоленная древесно-стружечная масса прилипает к ее стенкам. Кроме того, частицы массы слипаются между собой и образуют свод над лопастями ворошителя. Поэтому количество массы, попадающей в загрузочное окно, а затем и под шток пресса, изменяется в широких пределах. Вследствие неравномерности количества осмоленной стружки, подаваемой в загрузочное окно пресса, меняется скорость подачи древесно-стружечной массы в нагреватель и длительность нагревания, а вследствие этого и свойства БЭП.

2. В осмоленной массе часто встречаются крупные лоскуты упаковочной пленки. Если в процессе прессования эти лоскуты оказываются в зоне контакта древесной массы и нагревателя, то они подгорают. В результате подгорания этих лоскутов пленки резко возрастает трение между поверхностями нагревателей и детали. Вследствие этого повышается плотность детали, увеличивается время нагревания, возрастает температура внутренних слоев, начинается термическая деструкция древесных частиц в наружных слоях деталей. При этом все физико-механические свойства БЭП, полученных в разных «ручьях» пресса, будут резко отличаться независимо от заданных уровней температуры, давления, скорости подачи, а также вида, наличия и удельного веса отвердителя.

УДК 674.815

Е. С. Хохлова,

старший преподаватель кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
hohlova_ec@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПО СЕЧЕНИЮ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА ЭКСТРУЗИОННОГО СПОСОБА ПРЕССОВАНИЯ

В статье рассмотрены факторы, оказывающих влияние на показатель плотности древесно-полимерных композитов. Произведен анализ распределения плотности по сечению композиционного материала экструзионного способа производства.

Ключевые слова: *древесно-полимерный композит; экструзионное прессование; профиль плотности; технологические факторы.*

E. S. Khokhlova,

Senior Lecturer, LDP Department, Kostroma State University, Kostroma, RF,
hohlova_ec@mail.ru

INVESTIGATION OF THE DENSITY DISTRIBUTION OVER THE CROSS SECTION OF A WOOD-POLYMER COMPOSITE BY THE EXTRUSION METHOD OF PRESSING

The article discusses the factors influencing the density index of wood-polymer composites. The analysis of the density distribution over the cross-section of the composite material of the extrusion method of production.

Keywords: wood-polymer composite; extrusion pressing; density profile; technological factors.

Древесно-полимерный композит – это современный, востребованный материал, обладающий рядом физико-химических свойств и сочетанием материалов, из которых он состоит. Одним из видов древесно-полимерного композита является материал, полученный способом экструзионного прессования. Наиболее широкое применение этот материал нашёл в производстве межкомнатных дверей, домостроении, погонажных изделий [1].

Процесс экструзионного прессования происходит при проталкивании осмоленной стружки через обогреваемый вертикальный или горизонтальный канал прямоугольного сечения. Частицы, распределенные по всей площади канала проталкиваются вдоль него пуансоном, совершающим возвратно-поступательные движения. Ширина канала определяет ширину получаемого материала, его толщина (промежуток между длинными стенками) – толщину. В экструзионных прессах усилие прессования направлено перпендикулярно плоскости выпускаемого материала, и основная масса древесных частиц внутри него располагается поперечно к этой плоскости. В связи с особенностями получаемого материала и способа прессования технологический процесс его изготовления экструзионным способом несколько отличается от процесса изготовления плит методом плоского прессования. Для производства плит экструзионного прессования применяют стружку длиной не более 10–20 мм, толщиной 0,7–1 мм. При этих размерах древесных частиц создаются наилучшие условия заполнения камеры прессования пресса и обеспечивается его высокая производительность [2].

К основным факторам, определяющим технологический процесс производства плитных материалов относятся вид сырья, порода древесины, размеры и форма древесных частиц, количество связующего, плотность по слоям, распределение влажности в формируемом стружечном пакете. По ранее проведенным исследованиям при прессовании древесно-стружечных плит было выявлено, что плотность различных слоев в плите становится неравномерной при дисбалансе температуры, давления или влагосодержания. При прессовании как только тепло от плит пресса начинает проникать в пакет, происходят следующие явления: тепло передается от наружных слоев к внутренним; имеющаяся влага в пакете превращается в пар, смягчающий древесные частицы, что облегчает процесс сжатия. Такая пластификация происходит сначала на наружных слоях. Плотность слоев может быть неравномерной из-за высокого влагосодержания на наружных слоях ковра. Высокая температура плит пресса способствует увеличению плотности внутреннего слоя и снижает плотность наружного, из-за более быстрой теплопередачи между наружным и внутренним слоями [3].

При экструзионном прессовании предположительно происходят похожие процессы: при продвижении стружечно-клеевой смеси через прямоугольный горизонтальный обогреваемый канал наружные слои прогреваются быстрее, и прессуются до более высокой плотности. Кроме этого процесс более быстрого прогрева частиц происходит и в направлении перпендикулярном плоскости продвижения прессуемого материала, за счет соприкосновения с обогреваемым пуансоном, совершающим возвратно-поступательные движения. В получаемом материале наружные слои 2 и чередующиеся участки в перпендикулярном направлении 3, представленные на рис. 1, имеют более высокую плотность.

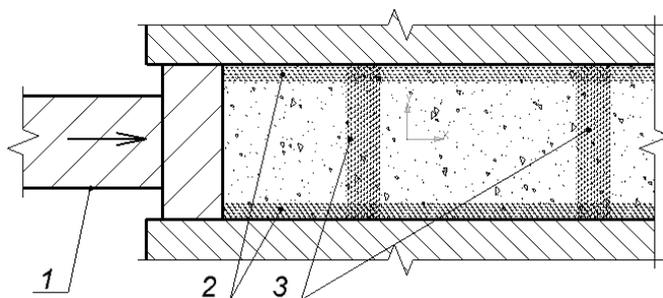


Рис. 1. Схема формирования структуры композита при экструзионном прессовании пульсирующего действия:

1 – пуансон; 2 – наружные слои материала;

3 – уплотненные участки материала в перпендикулярном направлении

На формирование участков разной плотности может оказывать влияние величина усилия, при котором происходит продвижение стружки по обогреваемому каналу. При продвижении осмоленной стружечно-клеевой смеси по каналу возникает сила трения частиц о его стенки. Чем сильнее трение

о стенки и направляющие, тем большее усилие создается пуансоном, следовательно больше плотность получаемых слоев материала [2].

Исследование распределения плотности проводилось на примере бруса экструзионного способа прессования, производимом на одном из предприятий г. Костромы согласно применяемым режимам: температура нагревателя 150 °С, манометрическое давление 5 МПа, длительность такта прессования 10 сек. Подготовка образцов и определение плотности образцов производились согласно общепринятой методике [4]. По результатам замеров были построены профили плотности по толщине и ширине образцов бруса, представленные на рис. 2, 3.

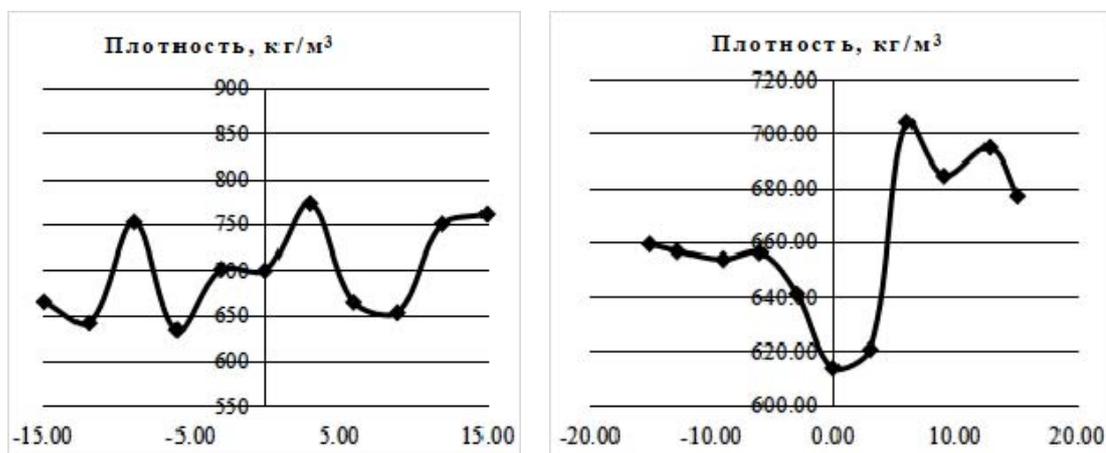


Рис. 2. Распределение плотности по толщине образцов 1, 2

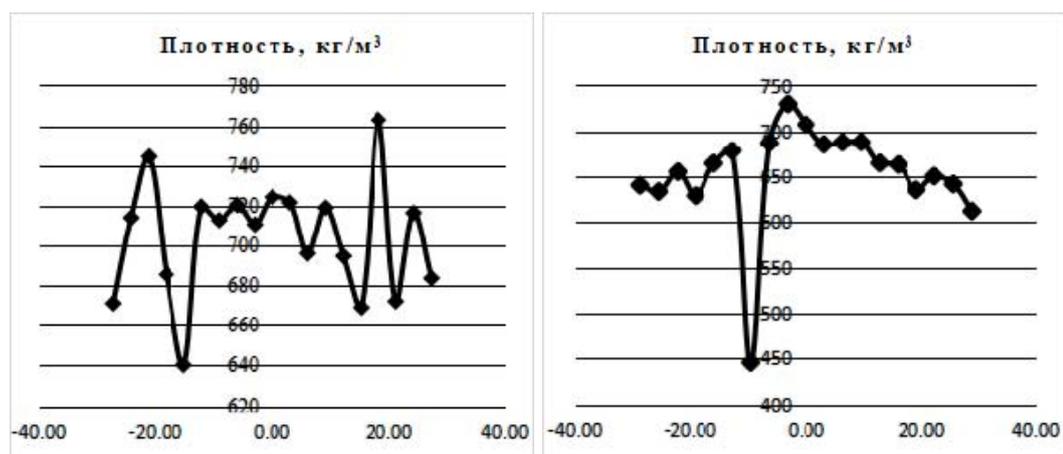


Рис. 3. Распределение плотности по ширине образцов 3, 4

Как видно из графиков, представленных на рис. 2, 3 плотность по сечению образцов распределяется неравномерно, но в то же время достаточно симметрично: в пределах от 650 кг/м³ до 780 кг/м³ во внешних слоях, а центральной части показатель плотности значительно ниже 450–650 кг/м³. Неоднородность профиля плотности древесно-полимерного композита может быть обусловлена рядом факторов, которые могут влиять на качество получаемого материала. Особенности создания удельного давления и характера прилагаемой нагрузки в прессах горизонтального типа пульсирующего действия, а так же неравномерность подачи стружечно-клеевой смеси в горизонтальный канал влияют на неоднородное распределение плотности по длине формируемого материала. Взаимодействие наружных слоев материала со стенками канала в следствие возникающего трения вызывает пригорание и значительное уплотнение снаружи и недостаточную степень отверждения связующего в центральной части композита.

Для сравнения был построен профиль плотности образцов из древесно-стружечной плиты, полученной по традиционной технологии (рис. 4). Как видно из представленного графика плотность образца более однородная. Наибольшее значение плотности 850 кг/м³ имеет нижний слой, по сравнению с верхним – 780 кг/м³, так как при производстве материала смыкание плит пресса и приложение нагрузки происходило снизу вверх.

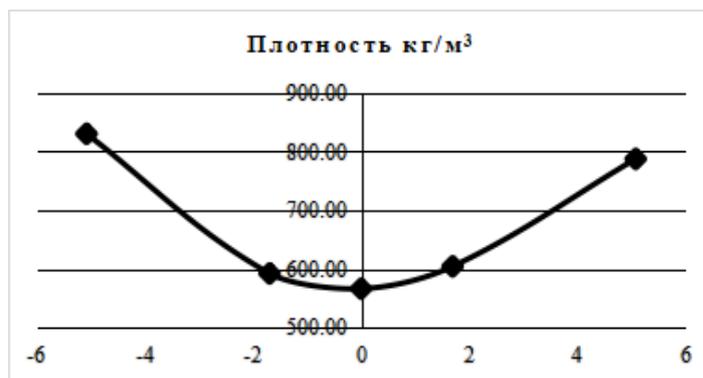


Рис. 4. Распределение плотности образца ДСтП по толщине

Результаты исследования плотности древесно-полимерного композита подтверждают гипотезу о невозможности получения в экструзионных установках с горизонтальным расположением канала строительного материала с равномерными физико-механическими показателями. Более однородная структура профиля плотности композиционного материала может быть получена при классическом способе плоского прессования.

Список литературы

1. Матюшенкова Е. Экструзионные ДСП – легко и изящно // ЛесПромИнформ. 2008. № 6(55). С. 138–139. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4443> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Шварцман Г. М., Щедро Д. А. Производство древесностружечных плит. М. : Лесная промышленность, 1987. 320 с.
3. Мелони Т. Современное производство древесностружечных и древесноволокнистых плит : пер. с англ. М. : Лесная промышленность, 1982. 416 с.
4. ГОСТ 10633–88. Плиты древесно-стружечные. Методы определения физических свойств. Введ. 1988–12–19. М. : Изд-во стандартов, 1991. 6 с.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

УДК 674.815

Н. А. Герман,

к.т.н., ассистент кафедры ХПД, УО «Белорусский государственный технологический университет», РБ,
natalka_wow@mail.ru

С. И. Шпак,

к. т. н., доцент кафедры ХПД, УО «Белорусский государственный технологический университет», РБ,
spak_s@rambler.ru

И. Г. Федосенко,

к. т. н. доцент кафедры ТДП, УО «Белорусский государственный технологический университет», РБ,
ivan.fedosenko@mail.ru

Е. В. Дубоделова,

к. т. н. доцент кафедры ТДП, УО «Белорусский государственный технологический университет», РБ,
katedubodelova@tut.by

А. А. Титунин,

д. т. н., зав. кафедрой ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
a_titunin@ksu.edu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДГОТОВКИ БИОМАССЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА

Использование вторичного сырья фанерного производства является актуальной проблемой лесопромышленного комплекса, т. к. удельный вес таких древесных отходов в структуре производства превышает 50 %. Исследования технологических параметров подготовки биомассы на основе отходов фанерного производства позволили установить эффективность их использования для получения различных видов твердого биотоплива.

Ключевые слова: кора, шпон-рванина, гидротермическая обработка, фракционный состав, хлорид натрия, биотопливо, зольность, прочность.

N. A. Herman,

Candidate of Technical Sciences, Assistant lecturer, Belarusian state University of Technology, Minsk, Republic of Belarus,
natalka_wow@mail.ru

S. I. Shpak,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Belarusian state University of Technology, Minsk, Republic of Belarus,
spak_s@rambler.ru

I. G. Fedosenko,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Belarusian state University of Technology, Minsk, Republic of Belarus,
ivan.fedosenko@mail.ru

E. V. Dubodelova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Belarusian state University of Technology, Minsk, Republic of Belarus,
katedubodelova@tut.by

A. A. Titunin,

Doctor of Technical Sciences, Head of Woodworking Department, Kostroma State University, Kostroma,
a_titunin@ksu.edu.ru

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PREPARATION OF BIOMASS FOR PRODUCTION OF BIOFUEL

The use of secondary raw materials of plywood production is an urgent problem of the timber industry complex, because the share of such wood waste in the production structure exceeds 50%. Studies of the technological parameters of biomass preparation based on plywood production wastes made it possible to establish the efficiency of their use for obtaining various types of solid biofuels.

Keywords: bark, flaw-veneer, hydrothermal treatment, fractional composition, sodium chloride, biofuel, ash content, strength.

В настоящее время фанерное производство является одной из самых материалоемких отраслей деревоперерабатывающей промышленности. Количество отходов может достигать более 50 % от объема исходного сырья и зависит от породы, размеров и сорта древесного сырья; технологического ос-

нашения процесса; требований, предъявляемых к качеству получаемой продукции [1]. На рис. приведена схема, включающая основные стадии производства фанеры, а также виды и количество образующихся отходов.

Из рисунка видно, что по видовому составу наибольшая доля приходится на кору и шпон-рванину – порядка 60–70 %. Шпон-рванина (доля до 34 %) представляет собой отход в виде здоровой периферийной части ствола дерева, который образуется в начале лущения при оцилиндровке фанерного чурака.

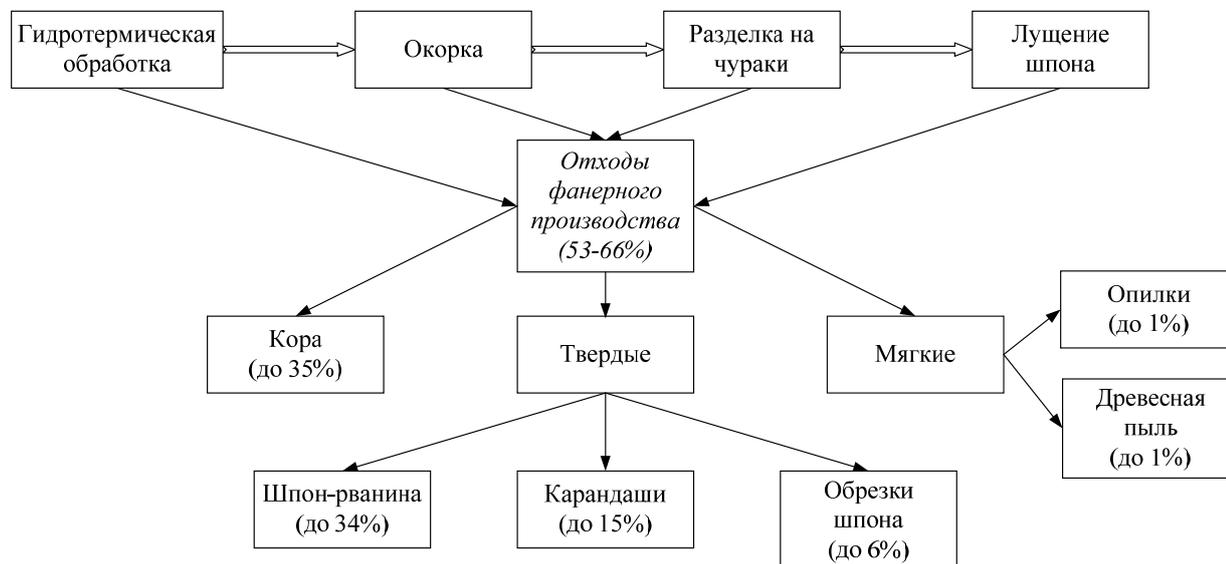


Рис. Основные стадии производства фанеры, виды и количество образующихся отходов

С точки зрения дальнейшей переработки на твердое биотопливо наиболее специфическим отходом является кора (доля до 35 %), содержащая не только кору и луб, но и до 4 % древесины периферийной части ствола. При этом кора имеет и особые химические свойства, характеризующиеся с одной стороны в сравнении с древесиной наличием полифенолов и суберина, с другой – меньшим содержанием полисахаридов и большим количеством минеральных веществ.

Особенностью технологии фанеры является проведение гидротермической обработки сырья – обязательной стадии, позволяющей повысить пластичность древесины и уменьшить усилие резания. Без проведения этой операции невозможно получение качественного шпона, он будет растрескиваться в процессе лущения. В результате гидротермической обработки влажность отходов фанерного производства достигает 25–30 %. Кроме того в результате длительного воздействия на древесное сырье тепла и влаги происходит изменения лигноуглеводного комплекса и неполное удаление экстрактивных веществ, главным образом, водорастворимых.

В настоящее время особое внимание уделяется развитию топливно-энергетического комплекса, а именно – производству экологически чистого твердого биотоплива (брикетов, древесных гранул, или пеллет) из различных видов биомассы. Актуальность настоящих исследований обусловлена значительным количеством образуемых отходов фанерного производства, которые могут являться потенциальным сырьем для получения твердого биотоплива.

Цель работы заключалась в установлении технологических параметров биомассы в виде отходов фанерного производства для их использования в производстве твердого биотоплива (гранул, брикетов) с учетом их повышенной влажности.

Повышенное содержание влаги в изделиях под действием парообразования приводит к снижению прочностных характеристик биотоплива, которые важны при транспортировке. В современных технологических процессах получения твердого биотоплива, как правило, функционирует операция сушки исходной измельченной древесины до остаточной влажности 6–10 %. При этом сушка древесного сырья является энергоемким процессом. Кроме этого должно выполняться еще важное условие, при котором энергия на производство должна быть ниже энергии, которую выделит гранулируемый (прессуемый) материал при его сжигании.

В качестве сырья использованы отходы фанерного производства ОАО «Речицадрев». На предприятии основными породами древесины для изготовления фанеры являются береза и ольха. Предварительные исследования показали, что в отобранных на производстве отходах содержится до

25 % коры и до 75 % древесной составляющей. При этом следует отметить, что теплотворная способность коры выше, чем древесинного вещества на 12–17 %.

Известно, что при получении твердого биотоплива необходимо соблюдать определенный фракционный состав сырья, т. к. размер древесных частиц оказывает существенное влияние на физико-механические показатели готовой продукции. Поэтому отходы фанерного производства измельчались и фракционировались с дальнейшим определением технологических параметров, представленных в табл. 1. В качестве образцов сравнения выступали сосновые опилки – традиционное сырье для твердого биотоплива.

Таблица 1

Технологические параметры измельченной биомассы

Размер фракции, мм	Влажность, %	Зольность, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Угол естественного откоса, град
Традиционное сырье – древесина сосны (опилки)				
0,00/0,5	не более 10	не более 0,7	248	46
0,5/1,0			236	47
1,0/2,0			231	50
Отходы фанерного производства				
0,00/0,5	23,21	0,78	270	46
0,5/1,0	24,18	0,83	260	49
1,0/2,0	24,00	0,22	240	53

Анализ табл. 1 показывает, что на естественный угол откоса имеет прямую зависимость от фракционного состава древесной биомассы – с увеличением размера частиц увеличивается угол естественного откоса. При этом влияние фракционного состава на насыпную плотность имеет обратную зависимость: чем больше размер частиц, тем меньше насыпная плотность древесной биомассы. В целом, значения показателей и тенденции их изменения соответствуют значениям показателей соответствующих фракций для традиционного сырья. Поэтому для достижения предъявляемых к биотопливу показателей качества была использована фракция 0,00/0,5 мм (см. табл. 1).

Следует отметить, что такие показатели как влажность и зольность существенно отличаются от требований к традиционному сырью, поэтому были проведены дополнительные исследования, направленные на установление возможности эффективного использования древесной биомассы с повышенной влажностью.

Для вовлечения сырья повышенной влажности в производство биотоплива необходимо было провести интенсификацию процесса сушки при снижении энергоемкости процесса, которая заключается в увеличении скорости перемещения влаги в самой древесной биомассе. Известно, что это может быть достигнуто путем обработки исходного сырья повышенной влажности гигроскопическими веществами, что позволяет повысить качество и исключить брак при производстве. В качестве такого вещества нами был выбран хлорид натрия в виде технического продукта (галит – отход от калийного производства). Эффективность применения хлорида натрия оценивали по физико-механическим показателям (табл. 2).

Таблица 2

Показатели качества твердого биотоплива, полученного в лабораторных условиях с использованием хлорида натрия

Наименование образца	Расход NaCl, %	Физико-механические показатели				
		Влажность, %	Зольность, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Механическая прочность – содержание древесной пыли при истирании, %
Контроль*	□	4,0	0,7	2,2	0,8	2,5
Биотопливо из древесного сырья влажностью 15 % с использованием порошкообразного NaCl	0,5	7,8	1,26	2,5	1,5	2,8
	1,0	8,0	1,32	2,9	1,8	2,6
Биотопливо из древесного сырья влажностью 20 % с использованием порошкообразного NaCl	0,5	8,1	1,51	2,0	1,4	3,8
	1,0	7,8	1,56	1,8	1,5	3,6

Проведенные исследования показали, что введение в композицию твердого биотоплива хлорида натрия, обладающего высокой температурной депрессией, предотвращает вскипание влаги в процессе его гранулирования (прессования) и, вследствие этого, позволяет использовать биомассу

в виде отходов фанерного производства с повышенной влажностью. Расхода хлорида в количестве 0,5 % к а. с. в. оказалось достаточным для получения твердого биотоплива требуемого стандартами различного уровня качества.

Таким образом, для получения твердого биотоплива на основе отходов фанерного производства (шпон-рванина и кора), обладающих повышенной влажностью целесообразно использовать фракцию 0,00/0,5 мм при осуществлении интенсификации процесса сушки техническим хлоридом натрия, который рекомендовано вводить в порошкообразном виде в количестве 0,5 % к а. с. в.

Список литературы

1. Божелко И. К., Дубоделова Е. В., Янушкевич А. А. Технология деревообработки. Минск : БГТУ, 2019. 199 с.

УДК 631

А. Н. Иванкин,

д. х. н., профессор кафедры ЛТ-9 Химия и химические технологии в лесном комплексе, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, РФ,
aivankin@mgul.ac.ru

А. Н. Зарубина,

к. т. н., зав. кафедрой ЛТ-9, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, РФ,
zarubina@mgul.ac.ru

А. С. Кулезнев,

бакалавр кафедры ЛТ-9, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, РФ,
kuleznev00@mail.ru

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИПИДОВ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ

Представлены результаты исследования процесса получения жидких видов моторного топлива для технических и транспортных устройств на основе липидов растительного происхождения. Показана возможность биотехнической трансформации жиров и масел в алкиловые эфиры жирных кислот, которые самостоятельно или в виде добавок в топливные системы обеспечивают эффективную работу транспортных устройств, предопределяя экологическую безопасность работы механизмов за счет относительно безопасного сгорания топлива без выделения в окружающую среду вредных газообразных примесей.

Ключевые слова: биотопливо, переработка природных липидов.

A. N. Ivankin,

Doctor of Chemistry, Professor of the LT-9 Department Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
aivankin@mgul.ac.ru

A. N. Zarubina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department LT-9, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
zarubina@mgul.ac.ru

A. S. Kuleznev,

bachelor of the department LT-9, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
kuleznev00@mail.ru

ENERGY USE OF WOOD BIOMASS LIPIDS AS AN EFFECTIVE WAY OF WORK IN THE FIELD OF GREEN CHEMISTRY

The results of the study of the process of obtaining liquid types of motor fuel for technical and transport devices based on lipids of plant origin are presented. The possibility of biotechnical transformation of fats and oils into alkyl esters of fatty acids, which alone or in the form of additives in fuel systems, ensure the efficient operation of transport devices, predetermining the ecological safety of the operation of mechanisms due to the relatively safe combustion of fuel without the release of harmful gaseous impurities into the environment is shown.

Keywords: biofuel, natural lipid processing.

Биомасса растительного мира составляет основу значительной части окружающей природы и дает человеку массу полезных веществ и материалов. Главная особенность растительной биомассы – ее возобновляемость, что позволяет рассматривать растения как неограниченный источник полезных для человека веществ [1, 2].

Растения, как и все живые объекты, содержат в своей структуре белки, липиды, углеводы и ДНК. Технологии живых систем позволяют сегодня перерабатывать эти ресурсы на технические цели.

Природные липиды в виде жиров и масел используются человеком в значительной мере в пищу, однако сегодняшняя тенденция поиска альтернативных минеральным источникам видов сырья, приводит к пониманию ситуации, что применение растительных масел для получения жидких видов моторного топлива может иметь перспективу для стран с полным отсутствием необходимых нефтяных ресурсов. Кроме того, часть растительных липидов, например от хвойных пород, на пищевые цели не используется и может быть переработана в продукты технического назначения [2].

Все растительные липиды представляют собой триглицериды, этерифицированные остатками *cis*-жирных кислот. Химическая структура таких соединений может быть трансформирована в органические эфиры, которые обладают приемлемой способностью к контролируемому сгоранию, что позволяет использовать такую смесь алкиловых эфиров жирных кислот в двигателях внутреннего сгорания.

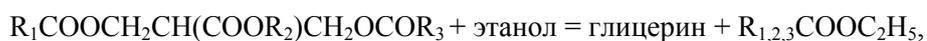
Цель настоящей работы – уточнить методологию химического превращения природных липидов растительного происхождения в перспективные компоненты топливных систем.

В качестве объектов исследования использовали технические виды растительных масел – пальмового, рапсового и таллового, степень очистки которых не допускает их использование на пищевые цели.

Этерификацию липидного сырья осуществляли этанолом в присутствии кислотных катализаторов. Технические параметры продуктов анализировали в соответствии с нормативной документацией на жидкое топливо.

Основное содержание жирных кислот в использованном сырье определяли с помощью газовой хроматографии и оно составляло (%): C14:0 – 2,0...3,6; C16:0 – 24,0...26,8; C16:1 – 1,4...3,5; C18:0 – 16,3...18,5; C18:1 – 33,8...46,9; C18:2 – 7,4...8,1. Сумма насыщенных и ненасыщенных жирных кислот составляла по $50 \pm 2\%$ от суммы.

Основная химическая реакция, лежащая в основе процесса преобразования липидов в смесь алкиловых (этиловых) эфиров может быть записана следующим образом:



где $R_{1,2,3}$ – остатки жирных кислот.

Технический процесс трансформации липидов проводили в присутствии катализатора – серной кислоты. Было установлено, что в технических видах жиров и масел содержание свободных жирных кислот обычно составляет до 1–2 % масс., а в партиях с длительным сроком хранения, этот уровень может превышать 5–10 %. Процесс этерификации эффективно протекает как в присутствии щелочей, так и кислот, однако, повышенное содержание свободных жирных кислот, в случае использования щелочного катализатора, приводит к параллельному образованию мыла. Это заметно снижало эффективность выделения и очистки конечного продукта. Условия проведения этерификации указаны в табл. 1.

Таблица 1

Условия обработки растительных липидов

Вид масла	Соотношение спирт : масло	Температура, °C	Количество катализатора, %	Время, ч
Рапсовое	6 : 1	65	1	2
Пальмовое	6 : 1	65	1	1
Талловое	4 : 1	75	3	3

Биотопливо из растительного сырья представляет собой смесь алкиловых эфиров природных кислот. Хроматографический анализ показывает, что в силу исходного жирно-кислотного состава сырья, в конечном продукте в основном содержатся производные пальмитиновой, стеариновой и олеиновой жирных кислот, высокое содержание которых является характерным для практически всех растительных жиров и масел.

Хроматографический анализ биотоплива из технических образцов использованных масел показывает, что продукте с наибольшим содержанием находятся эфиры C16:0, C16:1, C18:0, C18:1 и C18:2 жирных кислот.

Базовый состав компонентов жидкого биотоплива из использованных образцов растительного сырья может быть записан, % от суммы: C12:0 – 0,2...0,6; C14:0 – 0,1...0,5; C16:0 – 14,5...23,5; C16:1 – 0,5...8,4; C17:0 – 0,3...0,6; C17:1 – 1,2...2,5; C18:0 – 15,5...20,7; C18:1n9c – 20,0...42,6; C18:1n9t – 2,5...5,3; C18:2n6 – 7,0...48,1; C18:3n6 – 6,0...8,5; C18:3n3 – 1,0...2,5; C19:0 – 0,05...0,3;

C20:1n9 – 0,4...0,5; C20:0 – 3,0...3,5; C20:2 – 0,05...0,2; C20:3n6 – 0,2...0,3; C20:3n3 – 0,1...0,2; C20:4n6 – 0,2...0,4; C20:5n3 – 0,05...0,2; C21:0 – 0,3...0,5; C22:0 – 0,2...0,5; C22:1n9 – 0,1...0,3; C22:2 – 0,1...0,4; C23:0 – 0,1...0,4; C24:0 – 0,3...0,5; C24:1 – 0,2...0,4. Высокое содержание отдельных непредельных кислот – линолевой C18:2 и гамма-линоленовой C18:3 может быть связано с высокотемпературными особенностями этерификации.

Полученные продукты – смесь эфиров жирных кислот под названием биодизель можно использовать индивидуально как моторное топливо под маркой B100 или в виде 5–20 % добавки к минеральному топливу из обычных нефтепродуктов. Маркировка в этом случае обозначает процентное содержание добавки: B5...B20.

Основные свойства полученных продуктов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства биодизеля из растительного сырья различного происхождения

Показатели	Биодизель из рапсового масла по нормам ЕС (метиловые эфиры)	Этиловые эфиры из рапса	Этиловые эфиры из пальмового масла	Этиловые эфиры из таллового масла
Содержание моноалкиловых эфиров, %	>96,5	98	97	98
Цетановое число, усл. ед.	>51	56,2	62	59
Плотность при 15 °С, кг/м ³	860–900	833	885	865
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	3,5–5,0	4,3	4,6	4,1
Температура помутнения, °С	От –11 до –16	8	9	– 4
Кислотное число, мг КОН/г	<0,5	0,2	0,2	0,1

Как видно из представленных данных, по основным физико-химическим параметрам получаемые продукты соответствуют нормативным требованиям. Значения цетанового числа, характеризующее воспламеняемость дизельного топлива, указывают на благоприятную возможность использования данных продуктов для обеспечения эффективной работы двигателей внутреннего сгорания.

Температурный режим работы моторного топлива зависит от состава топлива и климатической зоны эксплуатации. Полученные этиловые эфиры в виде индивидуального продукта можно использовать в теплых климатических зонах, или в виде добавок к минеральному топливу. В случае низкого содержания, добавка биодизеля заметно не повышает температуру замерзания основного топлива.

Независимый масс-спектрометрический анализ продуктов сгорания при работе тракторного дизеля на предмет экологической безопасности не выявил в выхлопах вредных примесей бром, йод, фосфор и серо замещенных органических соединений.

В продуктах сгорания биодизеля на основе испытанных масел, суммарное содержание хлор- и азотзамещенных органических соединений фиксировалось на уровнях менее 0,08 %, что значительно ниже, чем при аналогичных параметрах использования минерального топлива.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают техническую возможность получения жидкого моторного топлива из масел растительного происхождения. Учитывая перспективные тенденции развития сельскохозяйственного производства по расширенному воспроизводству масличных культур, данное исследование будет способствовать решению экологических проблем и рациональному использованию природных ресурсов в агропромышленном комплексе.

Список литературы

1. Neklyudov A. D., Ivankin A. N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review // Applied Biochemistry and Microbiology. 2002. № 5(38). P. 399–409.
2. Неклюдов А. Д., Иванкин А. Н. Экологические основы производств: взаимосвязь экологии, химии и биотехнологии. М. : МГУ леса, 2003. 368 с.



ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 630.312

Е.И. Антонов,

к. с.-х. н., заместитель директора по научной работе, филиал ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская ЛОС», г. Кострома, РФ,
ce-los@mail.ru

И. А. Корнев,

к. с.-х. н., директор филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская ЛОС», г. Кострома, РФ,
ce_los@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ СМЕШАННЫХ ПО СОСТАВУ НАСАЖДЕНИЙ С ПЕРЕСТОЙНОЙ ОСИНОЙ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ МАШИННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Спелые насаждения таежной зоны представлены в основном березняками и ельниками смешанного состава с присутствием перестойной, крупномерной осины. Заготовка таких деревьев машинными комплексами затруднительна и вызывает сильные повреждения елового подроста. Оставление перестойных деревьев осины на корню на пасаках снижает издержки лесозаготовительного производства, способствует сохранению подроста ели и улучшению условий его адаптации к условиям свежих вырубок.

Ключевые слова: смешанные насаждения, перестойная осина, характеристика деревьев, машинные комплексы, подрост ели, сохранность, поросль осины.

E. I. Antonov,

candidate of agricultural sciences, Deputy Director for scientific work, branch VNIILM «Central European LOC», Kostroma, Russia,
ce-los@mail.ru

I. A. Korenev,

candidate of agricultural sciences, Director of the branch VNIILM «Central European LOC», Kostroma, Russia,
ce_los@mail.ru

CHARACTERISTICS OF MIXED COMPOSITION OF PLANTATIONS WITH OVERRIPE ASPEN TAIGA ZONE THAT CAN AFFECT THE OPERATION OF THE MACHINE SYSTEMS

Ripe plantings of the taiga zone are mainly represented by birch and spruce forests of mixed composition with the presence of overripe, large-sized aspen. Harvesting of such trees by machine complexes is difficult and causes severe damage to the spruce undergrowth. Leaving overripe aspen trees on the root in apiaries reduces the costs of logging production, contributes to the preservation of spruce undergrowth and improves the conditions for its adaptation to the conditions of fresh felling.

Keywords: mixed plantings, overripe aspen, tree characteristics, machine complexes, spruce undergrowth, preservation, aspen growth.

Площадь спелых насаждений основных лесобразующих пород по Костромской и соседними с ней областями, расположенными в таежной зоне (Кировской, Вологодской, северной части Ярославской) составляет 8,3 млн га. Преобладают насаждения лиственных пород – 60 %, из которых 44 % состоят из березы и 16 % насаждений осиновых. Ельники занимают 30 % площадей фонда, сосняки – 10 %. Спелые насаждения формируются в основном смешанного состава, в которых 2–4 единицами присутствует осина технически перестойного возраста с фаутностью древесины в 60–80 % и более. Запасы древесины этой породы, при двух единицах в составе насаждений оцениваются в 120 млн м³ в ельниках и 160 млн м³ в березняках. При разработке лесосек машинными технологиями площадь пасек составляет порядка 60 %. На этой части лесосечного фонда запас перестойной осины составляет около 170 млн м³. В пределах других технологических элементов лесосек, предприятия только 4 областей таежной зоны, при условии полной разработки спелого фонда березняков и ельников, сталкиваются с задачей вырубать более 110 млн м³ фаутного, для большей части районов лесозаготовок хозяйственно непригодного леса.

К возрасту рубки смешанных насаждений, осина в силу энергичного роста обладает внушительными размерами, образуя могучую высоко поднятую раскидистую крону и мощную корневую

систему. Так в ельниках, 40 % деревьев образуют толщину на высоте груди от полуметра и выше, в местах спила дерева – более 60 см, и вес от 3,5 и более т, табл. 1, 2.

Таблица 1

Распределение деревьев осины по ступеням толщины в спелых ельниках и березняках, %

Насаждения	Ступени толщины, см									Всего, %
	24	32	40	48	56	64	72	80	88	
Еловые	12	18	30	21	8	4	4	2	1	100
Березовые	43	29	22	3	2	1	-	-	-	100

Таблица 2

Технические характеристики деревьев осины в смешанных насаждениях (вес 1 м³ свежерубленной древесины осины – 1,31 т)

Показатели	Ступени толщины, см								
	32	40	48	56	64	72	80	88	
Объем 1 ствола, м ³	1,1	1,7	2,7	3,6	4,9	6,1	7,7	11,9	
Вес 1 ствола (без сучьев), т	1,4	2,3	3,5	4,7	6,4	8,0	10,1	11,9	
Диаметр на месте среза, см	37	48	56	66	75	81	-	-	

Еще более значительными размерами обладает осина в перестойных древостоях, что превышает технические возможности ее заготовки машинными комплексами. При собственном весе машин до 20 тонн, спилить и обработать крупные деревья с толстыми сучьями по сортиментной технологии невозможно. Кроме этого, применение на лесозаготовках многооперационных машин вызывает сложности с сохранением подроста и молодняка, а также с нарушениями почвенного покрова [1, 2].

Отечественные машины обладают большими возможностями, но и их применение при работе с крупными деревьями имеет свои недостатки. Наблюдения за работой комплекса ЛП-19 + ЛТ-154 в бывшем Пенномском лесничестве Вохомского лесхоза, на лесосеке в кв. 15, показали что, при летней заготовке (состав насаждения на делянке – 5ЕЗОс2Б /90/, размеры осины 38 см по диаметру, 27 м по высоте, количество – 65 шт./га), после работы валочно-пакетирующей машины на пасаках (ширина 12 м) сохранилась практически вся (2,6 тыс. шт. га) подпологовая ель [2]. После работы трелевщика ЛТ-154 еловое возобновление в проходах машин было смято полностью, а по краям пасаек и на поворотах, ввиду чрезмерных размеров крон осин, было сломано трелеваемыми пачками 36 % подроста и тонкомера. Численность сохранившегося подроста оказалась менее 1,0 тыс. шт. на 1 га, и это потребовало создания на вырубке культур.

Оптимальным вариантом лесозаготовок машинными комплексами в насаждениях с перестойной осиной, является оставление на пасаках таких деревьев на корню. Об этом свидетельствует опыт, проведенный бывшим Кировским НИИ лесной промышленности. В течение четырех лет, в двух лесхозах разрабатывались перестойные насаждения, возрастом 110–130 лет, средним составом – 4БЗЕЗОс, II–III класса бонитета, в основном черничного типа леса и запасом древесины 170–310 м³/га [3]. В насаждениях был выделен второй ярус из ели, возрастом 90–120 лет, запасом 90–120 м³. Во всех выделах имелся 20–25-летний еловый подрост, высотой 1,0–1,5 м и густотой 1,0–4,0 тыс. шт./га. Всего рубками пройдено 630 га, при этом на пасаках сохранялось от 40 до 70 куб. м осины. Работы проводились в осеннее-зимний сезон, с применением различных машин и механизмов. Отмечается, что оставление крупных, перестойных деревьев на пасаках позволяет добиться высокой сохранности подроста 2,0–2,7 тыс. шт./га (табл. 3).

Таблица 3

Применяемые машины и влияние рубки и оставления перестойных деревьев осины на пасаках на сохранность подроста ели

Технология рубки леса, применяемые машины и механизмы	Ширина пасаек, м	Деревья осины на пасаках	Численность подроста по породам, тыс. шт./га			
			Е	Ос	Б	Всего
Базовая	25	оставлены	2,3	8,7	-	11,0
Бензопилы + трелевочные трактора		вырублены	0,4	34,2	0,1	34,7
Сортиментная	18–20	оставлены	2,5	8,8	0,6	11,9
Бензопилы + форвардеры		вырублены	0,5	34,0	0,7	35,2
Хлыстовая ЛП-19 + ЛТ154	12–14	оставлены	3,4	8,0	0,8	12,2
		вырублены	3,1	11,2	0,5	16,6

При рубке всех деревьев, с использованием отечественного комплекса агрегатных машин, сохранялось в среднем 91 % елового подроста, при других вариантах рубки меньше 20 % (до 1,0 тыс. шт./га) и такие вырубki были отнесены к неудовлетворительно возобновившимся.

На 4-й год после проведения работ, на участках с полной вырубкой деревьев, порослевой осины насчитывается десятки тысяч, там же, где перестойные деревья на пасаках оставались, поросль превышала численность подроста ели и березы, только в 2,3–3,5 раза. Под пологом оставленных осин прирост ели начинал увеличиваться на второй год после рубки, и по истечению четырех лет был на 26–34 % выше, чем у подроста на сплошных вырубках.

Список литературы

1. Григорьев И. Перспективы применения многооперационных машин // Дерево.RU. 2009. № 5. С. 48–50.
2. Разработка экологически безопасных и экономически эффективных систем лесоводственных мероприятий и технологий их осуществления: отчет НИР / Костромская ЛОС. Кострома, 2002. 25 с.
3. Обоснование и разработка лесохозяйственных требований при проведении рубок главного пользования с оставлением перестойной осины на корню: отчет НИР / ФГУП КирНИИЛП. Киров, 2000. 33 с.

УДК 674.816

Г. Р. Арсланова,

аспирант 3 года, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, 94arslanovagulshat@mail.ru

К. В. Валеев,

аспирант 2 года, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

Д. Р. Абдуллина,

магистрант 1 года, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

В статье описана краткая характеристика деревьев семейства Salicaceae, а именно осины и ивы. Представлена установка комплексной переработки древесной биомассы, позволяющая извлекать ценные компоненты – биологически активные вещества. Приведены результаты исследований по определению оптимальных режимных параметров проведения процесса.

Ключевые слова: экстракция, биологически активные вещества, древесная биомасса.

G. R. Arslanova,

3rd year graduate student, Kazan National Research Technological University (KNRTU), 94arslanovagulshat@mail.ru

K. V. Valeev,

2nd year graduate student, Kazan National Research Technological University (KNRTU)

D. R. Abdullina,

1st year undergraduate student, Kazan National Research Technological University (KNRTU)

MODERN EXTRACTION TECHNOLOGIES BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM WASTE WOOD

The article describes a brief description of the trees of the Salicaceae family, namely aspen and willow. An installation for complex processing of woody biomass is presented, which makes it possible to extract valuable components - biologically active substances. The results of research to determine the optimal operating parameters of the process are presented.

Keywords: extraction, biologically active substances, woody biomass.

Род тополь (*Populus*) и ива (*Salix*) – относятся к общему семейству ивовые *Salicaceae*. Представители данных родов произрастают на всей территории Российской Федерации и относятся к группе быстрорастущих пород, благодаря чему имеют важное экологическое значение.

Ива *Salix* является самым многочисленным родом данного семейства, и включает порядка 300 видов. Род объединяет двудомные деревья и кустарники различных размеров и форм. Представители этого семейства очень разнообразны по внешнему виду – есть среди них высокие деревья и кустарники. К наиболее популярным видам ив, произрастающих на территории РФ относят иву белую (*Salix alba*), иву пепельную (*Salix cinerea*), иву прутовидную (*Salix viminalis*), иву козью (*Salix caprea*). Часто встречаются их межвидовые гибриды.

Древесины ивы используется для получения целлюлозы, а также для изготовления различных инструментов и небольших построек [1]. Благодаря своей гибкости, ивы часто используются для изготовления плетеной мебели. А высокое содержание дубильных веществ в коре ивы позволяет широко применять ее в кожевенной промышленности [2].

Более примитивным родом семейства ивовых является тополь (*Populus*), который насчитывает порядка 30–40 видов. Одной из самых распространенных пород данного рода является осина или тополь дрожащий (*Populustremula*). Это быстрорастущая неприхотливая древесная порода, обладающий лучшими физико-механическими свойствами древесины среди тополей. Древесина здоровой осины пользуется большим спросом как строительный, так и поделочный материал, а также в производстве мебели, целлюлозно-бумажной, спичечной промышленности и т. д. [3].

Данные породы возможно использовать не только в строительной промышленности, но также и в фармацевтической, косметической и пищевой промышленности, благодаря наличию в их составе биологически активных веществ (БАВ). Преимуществом является то, что БАВ содержатся не только в древесине, но и в коре и листьях, которые принято считать отходами [4]. В связи с этим, извлечение БАВ из данных пород является актуальной темой, позволяющей комплексно перерабатывать древесную биомассу. Были проведены экспериментальные исследования по выделению БАВ из коры осины и ивы. Для исследований использовали ранее разработанную и описанную установку (рис. 1) [5]. В качестве экстрагента использовался 60 % водно-этанольный раствор.

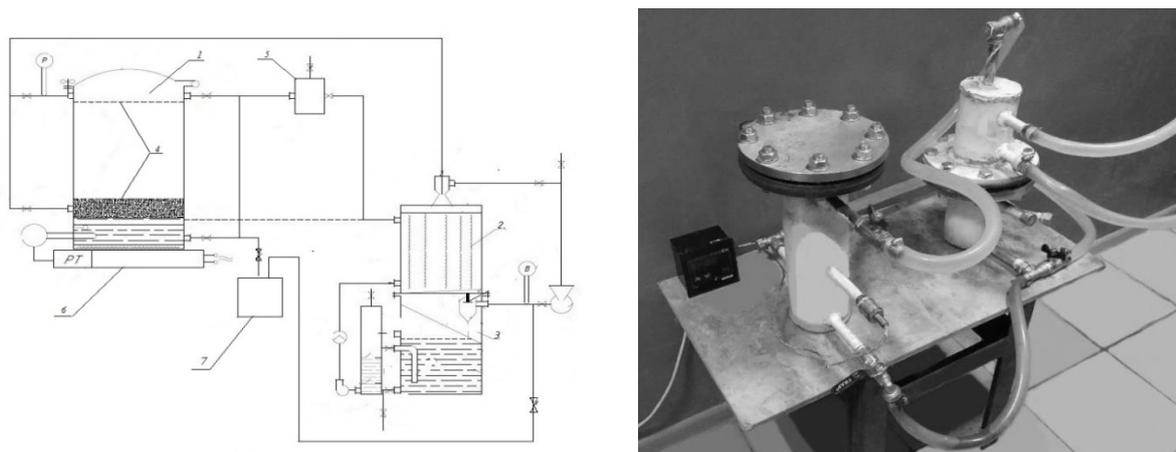


Рис. 1. Установка для комплексной переработки древесной биомассы:
1 – экстракционная камера; 2 – холодильник; 3 – флорентинное устройство; 4 – сита;
5 – буферная емкость; 6 – нагреватель; 7 – кристаллизатор

Определение концентрации сухого остатка в экстракте проводили следующим образом: пустые пронумерованные фарфоровые чашки высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С, затем охлаждали в эксикаторе и окончательно взвешивали. Затем в течение 5 ч каждый час из верхнего отсека 3 брали пробы по 25 мл. Пробы помещали в подготовленные чашки, выпаривали при температуре 105 °С до достижения постоянной массы, охлаждали в эксикаторе и окончательно взвешивали. Для определения концентрации БАВ в полученных экстрактах использовали метод тонкослойной хроматографии.

Были получены данные по равновесным концентрациям экстрактивных веществ в растворе и в коре ивы и осины. Обработка полученных данных позволила построить кривую равновесия концентрации БАВ в коре ивы и осины от концентрации БАВ в 60 % растворе этанола (рис. 2) при атмосферном давлении [6]. На экспериментальной установке также были получены кинетические зависимости концентрации БАВ в экстракте ивы и осины (рис. 3).

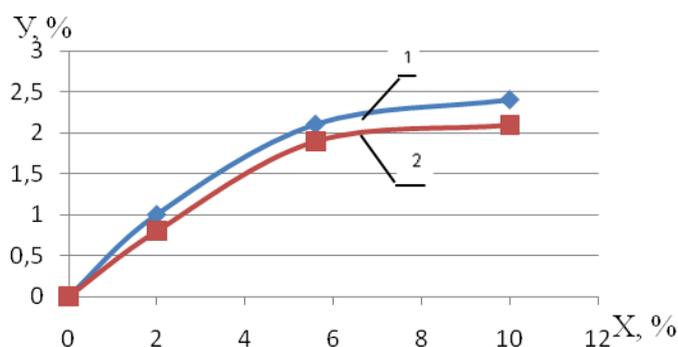


Рис. 2. Равновесная зависимость концентраций извлекаемых веществ в экстракте и древесном сырье:
1 – осина; 2 – ива

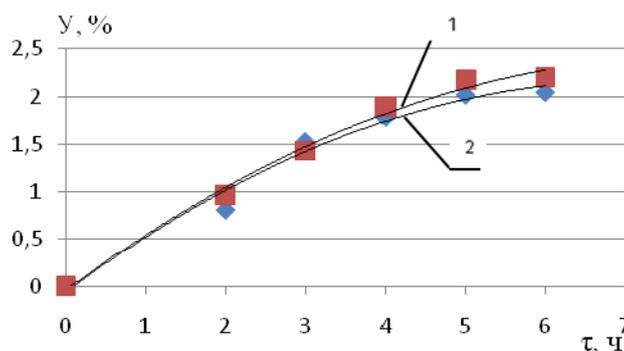


Рис. 3. Кинетические зависимости концентрации БАВ в экстракте:
1 – осина; 2 – ива

Исследования показывают, что экстрагирование древесного сырья в данной установке в течение 5 и 6 часов показывают одинаковый выход БАВ, следовательно, такую длительность проведения процесса можно считать оптимальной.

Список литературы

1. Конюхова О. М., Бахтин М. А., Канарский А. В. Биологические ресурсы салицина в иве (Salicaceae) // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 16. С. 130–132.
2. Хлонов Ю. П. Атлас деревьев и кустарников Сибири (ивы, тополя, чозения). Новосибирск : Наука, 2000. 93 с.
3. Чернов В. И. Формирование хозяйственно-ценных насаждений осины (*Populus Tremula L.*) в лесах Республики Татарстан : автореф. ... дис. канд. с.-х. наук. Уфа, 2014. 22 с.
4. Анализ современного состояния технологий процесса экстракции биологически активных веществ из осины и ивы / А. В. Сафина, Г. Р. Арсланова, А. Л. Тимербаева, Д. Ф. Зиятдинова // Деревообрабатывающая промышленность. 2019. № 4. С. 51–62.
5. Пат 2680998 РФ, МПК В01Д 11/02, С11В 1/10, С11В 9/02. Установка для экстракции растительного сырья / А. В. Сафина, Д. Ф. Зиятдинова, Н. Ф. Тимербаев, Г. Р. Арсланова [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КНИТУ». № 2018116922; заявл. 07.06.2018; опубл. 01.03.2019.
6. Моделирование процесса экстрагирования биологически активных веществ из осины и ивы / А. В. Сафина, Г. Р. Арсланова, Д. Ф. Зиятдинова, Р. Г. Сафин, Р. А. Халитов, Д. Р. Абдуллина // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 2. С. 56–63.

УДК 674.8

Ю. А. Варфоломеев,

д. т. н., проф., руководитель «Представительства РААСН в Архангельске», РФ,
nil-se@mail.ru

Н. Н. Новиков,

д. т. н., проф., научный руководитель проектов, г. Рыбинск, РФ,
info@nt-yar.ru

А. В. Катловский,

инженер, генеральный директор ООО «Новые Технологии», г. Рыбинск, РФ,
info@nt-yar.ru

А. В. Елистратов,

инженер, заместитель генерального директора ООО «Новые Технологии», г. Рыбинск, РФ,
info@nt-yar.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО МОБИЛЬНЫХ МОДУЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ С УСТАНОВКАМИ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ВИХРЕВОЙ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ

Разработана проектная документация и создан мобильный производственный комплекс в виде полносборного модульного здания для экологически безопасной переработки древесных отходов. На заводе в стандартных модулях 20 и 40 футов смонтировано оборудование, выполнена чистовая внутренняя и наружная отделка, утепление для природных условий Арктической зоны. Предусмотрен технологический блок для обезвреживания дыма в специальном «дожигателе». Это предотвращает повторный синтез опасных диоксинов при остывании дымовых выбросов в атмосфере. При эксплуатации не требуются дорогостоящие сменные фильтры, накапливающие вредные вещества. Показатели по вредным выбросам инно-

вационного производства (патент изобретения № 2667985) соответствуют требованиям норм Российской Федерации и развитых стран Европейского Союза по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Ключевые слова: древесные отходы, оборудование, модульное здание, мобильность, инновации, охрана природы, законы.

Yu. A. Varfolomeev,

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Representative Office of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences in Arkhangelsk, Russian Federation,

nil-se@mail.ru

N. N. Novikov,

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Project Supervisor, Rybinsk, Russian Federation,

info@nt-yar.ru

A. V. Katlovsky,

engineer, General director of LLC "New Technologies", Rybinsk, Russian Federation,

info@nt-yar.ru

A. V. Elistratov,

engineer, deputy General director of LLC "New Technologies", Rybinsk, Russian Federation,

info@nt-yar.ru

DESIGN AND CONSTRUCTION OF MOBILE MODULAR COMPLEXES WITH INSTALLATIONS FOR ENVIRONMENTALLY SAFE PROCESSING OF WOOD WASTE BY METHODS OF VORTEX THERMAL DESTRUCTION

The project documentation for the mobile production complex in the form of a fully assembled modular building for the environmentally safe processing of wood waste has been developed. The plant has installed equipment in standard modules of 20 and 40 feet, finished interior and exterior finishing, and insulation for the climate of the Arctic zone. There is a technological unit for smoke neutralization in the "special smoke incinerator". This prevents the re-synthesis of dangerous dioxins when the smoke emissions in the atmosphere cool down. During operation, expensive replacement filters that accumulate harmful substances are not required. The indicators for harmful emissions of innovative production (patent of invention No. 2667985) comply with the requirements of the laws on environmental protection and rational use of natural resources of the Russian Federation and developed countries of the European Union.

Keywords: wood waste, equipment, modular building, mobility, innovation, nature conservation, laws.

Разработаны технология, оборудование и конструкция транспортабельной установки для термической деструкции отходов лесозаготовительных, деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных производств в активном вихревом потоке при переходном процессе перевода ламинарного режима течения газа на турбулентный. В итоге обеспечивается высокотемпературная (до +1000 °С) утилизация токсичных отходов (древесина, содержащая: фенольные, резорциновые и другие клеи; креозот и прочие токсичные огне- и биозащитные пропиточные, отделочные материалы; лигнин, непроваренная целлюлоза, содержащая хлор и др.) с последующим дожиганием дымовых газов при температуре от +1200 до +1600 °С. Это не пиролиз, не сжигание и не плазма. Происходят иные реакции с получением полезных энергетических продуктов: тепловой и электрической энергии, зольного остатка (пылеугольного топлива, технического мелкодисперсного углерода), высококалорийного смесового синтетического газа (6000–8000 ккал/м³). Единого технического регламента на синтез-газ нет, его состав во многом зависит от технологии, выбранной заказчиком. Разработана проектная документация для нескольких вариантов базовой комплектации мобильного производственного комплекса, состоящего из стандартных контейнерных модулей 20 и 40 футов, в которых на заводе смонтировано отечественное высокотехнологичное оборудование (патент изобретения № 2667985) [1].

При остывании дымовых выбросов в атмосферу происходит повторный синтез диоксинов из продуктов термодеструкции [2]. Поэтому предусмотрен технологический блок для обезвреживания в специальном «дожигателе» продуктов термодеструкции. Благодаря этому не требуется дорогостоящих фильтров. При создании камеры использованы специфические свойства сильно закрученных потоков вязкого сжимаемого газа: высокий радиальный градиент статического давления; сильно развитая анизотропная турбулентность; интенсивные высокочастотные акустические колебания; высокая степень электризации частиц внутри вихревой камеры; протяжённая циркуляционная зона и наличие зоны рециркуляции; радиальное движение «горячих пузырей» со скоростями, превышающими скорость распространения пламени; эффекты энергетического разделения; наличие конвективно-плёночной завесы наиболее теплонапряжённых элементов конструкции; способность изолировать поля термодинамических параметров и скоростей в вихревой камере от изменения температуры и давления окружающей среды, при наличии критического истечения из сопла и другие свойства. Камера имеет несложную конструкцию, небольшие габариты и массу, технологична в изготовлении и эксплуатации, не восприимчива к колебаниям природно-климатических воздействий в широких диапазонах температуры, давления, влажности. По результатам исследований, проведенных незави-

симыми специализированными экспертными организациями, показатели по вредным выбросам созданного инновационного производства соответствуют нормативным требованиям Российской Федерации (РФ) и развитых стран Европейского Союза. Результаты испытаний в г. Рыбинске в атмосферных условиях (под навесом) в период морозов показали, что отечественное оборудование соответствует нормативным требованиям безопасности [7]. Комплексные исследования, проведенные в производственных условиях и в специализированных лабораториях, показали следующее:

1) по результатам испытаний специализированных аккредитованных организаций согласно действующим нормативам санитарно-защитная зона производственного комплекса – 50 м;

2) снижены энергозатраты на уничтожение отходов за счет получения эффекта экзотермии при переработке продуктов термодеструкции в созданном вихревом реакторе;

3) конструкция камеры сгорания обеспечивает надёжную работу при максимальной температуре продуктов сгорания и естественную тепловую самоизоляцию теплонапряженных элементов;

4) возможность работы комплекса как в непрерывном, так и в циклическом режимах;

5) установка не подлежит регистрации в органах Ростехнадзора как опасный производственный объект, так как объем горючего синтез-газа, одновременно находящегося во всех рабочих емкостях установки, не превышает 6–7 м³;

6) для обеспечения безопасности предусмотрено: управление технологическим процессом автоматизированной системой (АСУ ТП); оборудование во взрывозащищенном и специализированном «газовом» исполнении; отсутствует давление в аппаратах установки, однако для исключения риска возникновения чрезвычайных ситуаций установлены клапаны сброса аварийного давления; установлены система автоматического контроля утечки газа и автоматическая газовая система пожаротушения, независимая в каждом контейнере;

7) высококвалифицированный персонал для обслуживания установки не требуется: 4 дежурных смены по 3 человека (квалификация – ПТУ).

Предусмотрена эксплуатация мобильного производственного комплекса в условиях Арктической зоны [3]. Обеспечена автономность его работы. Готовность к перевозке на новое место – не более 8 ч. Размер земельного участка для комплекса – 0,05 га. Разработанные инновационные решения соответствуют требованиям международных законодательных актов по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов [4–6]. Мобильный комплекс в контейнерном исполнении является некапитальным объектом. Предусмотрены возможности:

1) подключение комплекса к системам коммунальной инфраструктуры: электрическая мощность – 40 кВт; напряжение – 380 В [1];

2) монтаж комплекса оборудования для постоянного роботизированного мониторинга [8] параметров вредных выбросов; видеомониторинга основных производственных участков и рабочих мест (разработка проекта, комплектация, монтаж, пусконаладочные работы; дополнительная стоимость – от 20 млн руб.;

3) срок окупаемости мобильного производственного комплекса составляет от 2 до 8 лет в зависимости от полноты использования отходов, тарифов на переработку отходов, состава получаемых полезных продуктов и цены их продажи, иных факторов, а также от количества установок, работающих в едином комплексе.

Выводы:

1) Инвестиции на решение экологических проблем являются невозвратными в среднесрочном периоде, поэтому в государствах с развитой экономикой они должным образом стимулируются [5]. Работы по созданию и испытаниям изобретенного отечественного оборудования, эксплуатации экспериментальных образцов и проектированию производственных комплексов в различных базовых комплектациях направлены на решение актуальных природоохранных проблем и соответствуют Национальным целям РФ, которые определены «Повесткой дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [8]. Природоохранные решения, разработанные при создании мобильного производственного комплекса рассматриваемой комплектации, обеспечивают импортозамещение, соответствуют целям проекта «Внедрение наилучших доступных технологий» и продекларированным национальным целям РФ для перехода на международную систему регулирования правовых отношений, принципы нормирования и новые технологические уклады за счет интенсивного развития науки и техники.

2) Для предотвращения загрязнения диоксидами окружающей среды при переработке отходов целесообразно использовать имеющийся многолетний опыт международного сотрудничества и кооперации по созданию инновационных решений [2] для замены высокотоксичных хлорфенольных средств защиты древесины и растений от биологических повреждений в сельском хозяйстве, деревообработке и строительстве.

Список литературы

1. Патент изобретения RU 2667985 С1. Комплекс для переработки твердых отходов / Рассохин Г. Л., Катловский А. В., Елистратов А. В., Патраков А. В., Новиков Н. Н. Заявка № 2018102636, приоритет 23.01.2018. Дата гос. регистрации 25.09.2018.
2. Варфоломеев Ю. А., Галиахметов Р. Н., Каргаполова И. В. Предотвращение диоксинового загрязнения в мире при защите древесины от биологических повреждений // Труды Архангельского центра Русского географического общества : сб. науч. ст. / [сост.: В. А. Любимов (отв. ред.), Д. С. Мосеев]. Вып. 8. Архангельск, 2020. С. 39–45. ISBN 978-5-7536-0489-7 P 89.
3. Указ Президента Российской Федерации от 02.05.2014 № 256 «Сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации» // СПС «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 05.12.2020).
4. Secretariat of the Basel Convention International Environment House 15 chemin des Anémones 1219 Châtelaine, Switzerland. URL: www.basel.int (дата обращения: 05.12.2020).
5. Plastic Waste: a European strategy to protect the planet, defend our citizens and empower our industries/ Press release 16.01.2018. – Strasbourg/ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_5.
6. The United States' contribution of plastic waste to land and ocean // Kara Lavender Law, Natalie Starr, Theodore R. Siegler, Jenna R. Jambeck, Nicholas J. Mallos, George H. Leonard. Science Advances. 30 Oct 2020: Vol. 6, № 44, eabd0288. DOI: 10.1126/sciadv.abd0288. PubMed: 33127684. ISSN: 2375-2548. URL: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd0288>.
7. Федеральный закон РФ от 30.12.2009, № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624 (дата обращения: 05.12.2020).
8. Мишустин М. В. Отчет о работе кабинета министров РФ за 2019 год // ИА «ТАСС». 22.06.2020. URL: <https://tass.ru/ekonomika/9023025> (дата обращения: 05.12.2020).

УДК 66.094.940

Г. Ф. Илалова,

аспирант 1 года, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, РФ, achtung.guzik@mail.ru

К. В. Саерова,

магистрант 2 года, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, РФ, senya97@inbox.ru

Р. Р. Сафин,

д. т. н., профессор, зав.кафедрой АрД, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, РФ, cfaby@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

В последние годы растет интерес к использованию биоразлагаемых полимеров в упаковочных материалах с целью улучшения экологической обстановки. Использование древесных отходов для производства биополимеров может позволить решить множество проблем, таких как эффективная утилизация растительных отходов, а также позволит грамотно использовать продукты переработки древесной биомассы. В данной работе исследовано влияние концентрации сернистой кислоты в процессе гидролиза древесины на выход редуцирующих веществ.

Ключевые слова: кислотный гидролиз, древесные отходы, редуцирующие вещества, биоразлагаемый полимер, сернистая кислота.

G. F. Ilalova,

1st year PhD student, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation, achtung.guzik@mail.ru

K. V. Saerova,

2nd year Master's Degree student, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation, senya97@inbox.ru

R. R. Safin,

Full Professor, PhD in Engineering, Head of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation, cfaby@mail.ru

RESEARCH OF HIGH-TEMPERATURE ACID HYDROLYSIS OF WOODRAWMATERIALS

In recent years, there has been a growing interest in the use of biodegradable polymers in packaging materials in order to improve the environmental situation. The use of wood waste for the production of biopolymers can solve many problems, such as the efficient disposal of plant waste, and will also make it possible to competently use the products of wood biomass processing. In this work, the influence of the concentration of sulfurous acid in the process of hydrolysis of wood on the yield of reducing substances is investigated.

Keywords: acid hydrolysis, wood waste, reducing substances, biodegradable polymer, sulfurous acid.

В связи с загрязнением окружающей среды невозобновляемыми синтетическими полимерами в упаковочных материалах в последние годы продолжают интенсивные поиски альтернативных биоразлагаемых полимеров, способных при соответствующих условиях относительно быстро биодеградировать на безвредные для экологии компоненты. На сегодняшний день биополимеры изготавливают из полисахаридов и их смесей (производные целлюлозы, производные крахмала, хитин и хитозан и т. д.), белков (желатин, глютен и т. д.), липидных соединений (воски, жирные кислоты и их производные и т. д.) и полиэфиров (ПЛА, ПГБ и т. д.). Одним из многообещающих полимеров в данном направлении являются полигидроксibuтират – это наиболее распространенный представитель класса биоразрушаемых термопластов полигидроксиалканонатов, производимые из возобновляемых источников, которые можно синтезировать с использованием различных штаммов бактерий, используя в качестве ростового субстрата гидролизаты растительных биомасс.

В настоящее время для получения полигидроксibuтирата используются сельскохозяйственные растения, в особенности сахарная свекла. Поскольку сельскохозяйственные растения, такие как сахарная свекла, кукуруза, сахарный тростник необходимы для производства продуктов питания, перспективным является использование древесного сырья, а именно древесных отходов деревообработки, вместо сельскохозяйственных растений.

Отходы деревообработки являются основным ресурсом лигноцеллюлозного сырья, которое кроме того является возобновляемыми. Переработка отходов деревообработки является важной составляющей частью деревоперерабатывающей промышленности, так как польза от древесины может быть не только до её обработки, но и после. Благодаря большому содержанию органических веществ в древесной биомассе, а именно целлюлозе, лигнину и гемицеллюлозе, которые входят в состав клеточных стенок, она полезна и может подвергаться дальнейшей обработке.

Несмотря на большой спектр существующих способов переработки древесины в перспективные материалы (термическая обработка, пиролиз, гидролиз и пр.) [1–3], одним из наиболее эффективных способов является получение сахаров путем гидролиза слабыми кислотами. Гидролиз – взаимодействие веществ с водой, проводимый при высоких или низких температурах, с использованием различных кислот. Кислотный гидролиз имеет ряд преимуществ по сравнению с ферментативным гидролизом: реакция гидролиза разбавленной кислотой проходит быстрее, чем ферментативная реакция, гидролиз разбавленной кислотой является предпочтительным, поскольку концентрированная кислота может вызвать коррозию.

Для проведения исследований в качестве сырья использовались древесные опилки сосны и березы, с фракцией до 2 мм. Кислотный гидролиз проводился в присутствии сернистой кислоты, полученной лабораторным путем с гидромодулем 1:5,8.

Гидролиз в кислотной среде осуществлялся на гидролизере с тепловым аккумулятором, состоящим из шести герметичных нержавеющей капсул объемом 30 мл (рис. 1). Подробный процесс гидролиза в кислотной среде описан в работе [4].



Рис. 1. Гидролизер капсульного типа с металлическим тепловым аккумулятором

Количество редуцирующих веществ определялся при помощи метода Бертрана.

Исследования по процессу гидролиза древесины проводились при температуре 170 °С и с концентрацией сернистой кислоты 4 % масс и 6 % масс с диапазоном времени 5–90 мин (5, 10, 20, 30, 40, 60, 90 мин).

В результате экспериментов было определено, что при концентрации сернистой кислоты 4 % масс наибольший выход редуцирующих веществ (РВ) в гидролизном растворе древесины сосны наблюдался на 20 минуте, далее происходил спад, а на 60 минуте выход редуцирующих веществ вновь возрастал. Исследование жидкого гидролизата древесины березы при условиях описанных выше, показало, что наибольшая концентрация РВ достигается при 10 минутах, второго этапа разложения как при гидролизе сосновых опилок не наблюдалось (рис. 2).

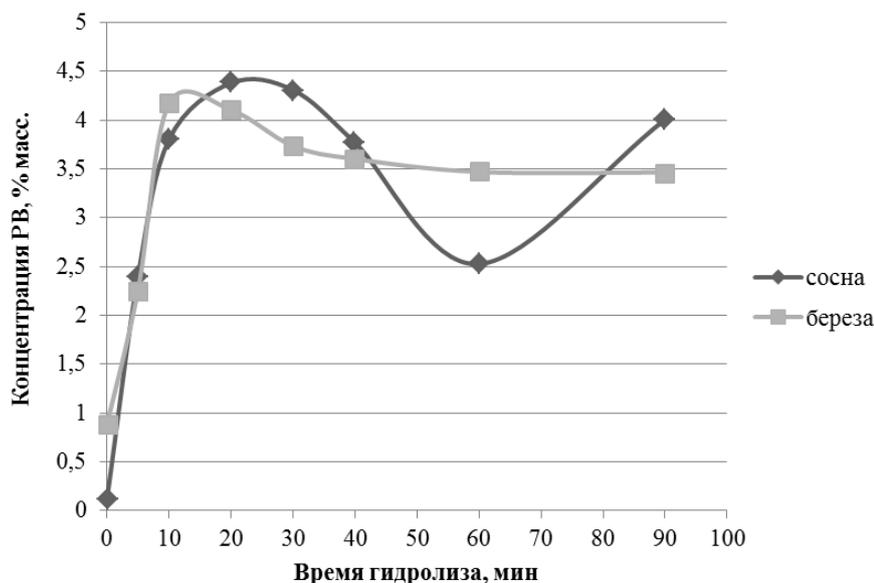


Рис. 2. Изменение концентрации редуцирующих веществ в процессе гидролиза сосновых и березовых опилок при температуре 170 °С и концентрации сернистой кислоты 4 %

При увеличении концентрации сернистой кислоты до 6 % наибольшая концентрация РВ в гидролизате сосновых и березовых опилок достигла при 10 минутах, однако при исследовании гидролизного раствора древесины сосны, как и в предыдущем эксперименте, второй этап разложения наблюдался при 60 мин, а для древесины березы эксперименты изменились. Так помимо второго этапа разложения, который происходил на 40 минуте, наблюдается и третий этап разложения на 60 минуте (рис. 3).

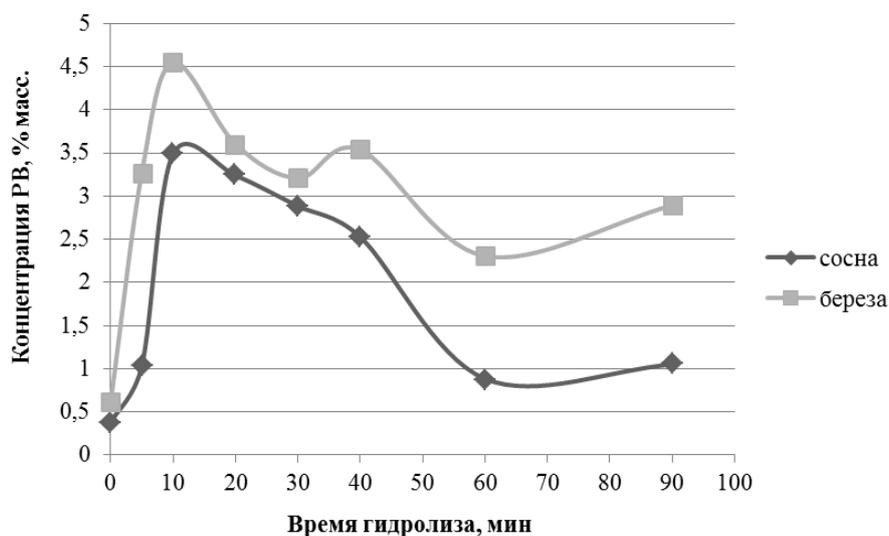


Рис. 3. Изменение концентрации редуцирующих веществ в процессе гидролиза сосновых и березовых опилок при температуре 170 °С и концентрации сернистой кислоты 6 %

Заключение. Проведенные исследования по гидролизу древесины сосны и березы показывают, что наибольший выход РВ при концентрации сернистой кислоты 4 % наблюдается у древесины сосны, а при концентрации сернистой кислоты 6 % наблюдается у древесины березы. Наблюдавшийся в процессе исследования второй этап разложения можно объяснить тем, что на первом этапе разложения до начала второго этапа разложения происходит удаление легкогидролизуемых веществ, следовательно, в данном случае целесообразно производить двухступенчатый гидролиз древесного сырья.

Список литературы

1. Илалова Г. Ф., Гиматдинова А. Р., Шамсутдинова А. И., Мухтарова А. Р., Илалова А. Ф. Исследование быстрого пиролиза измельченной древесины // Сборник научных трудов 7-й Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: пути инновационного развития». 2018. С. 123–126.
2. Илалова Г. Ф., Иглепова Ю. В., Илалова А. Ф., Шагеева А. И., Мухтарова А. Р. Исследование обработки однолетних сельскохозяйственных растений для получения биоугля // Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых – будущее России». 2018. Т. 6. С. 285–288.
3. Safin R. R., Ilalova G. F., Khasanshin R. R. Study of pyrolysis of annual crop refuse under reduced pressure // Solid State Phenomena. 2020. Т. 299 SSP. С. 974–979.
4. Илалова Г. Ф., Саерова К. В., Сафин Р. Р., Мухаметзянов Ш. Р., Сафиуллина А. Х. Исследование высокотемпературного гидролиза соснового опила сернистой кислотой с целью увеличения выхода редуцирующих веществ // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 3. С. 71–80.

УДК 66.061.16

Л. Ю. Исмаилов,

аспирант 1 год, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, РФ,
lenar-2015@mail.ru

Р. Р. Сафин,

д. т. н., профессор, зав. кафедрой «АрД», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, РФ,
cfaby@mail.ru

А. В. Сафина,

к. т. н., доцент кафедры «АрД», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, РФ,
alb_saf@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМА НА ВЫХОД ПРОДУКТОВ СВЧ-ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В последнее время особый интерес вызывают экстрактивные вещества из растительного сырья, которые способны укрепить здоровье человека. В связи с этим совершенствование технологии экстрагирования растительных материалов с целью повышения выхода экстрактивных веществ с сохранением его качества является необходимым. Вакуумно-импульсная экстракция и сверхвысокочастотный метод (СВЧ-экстракция) являются современными и актуальными методами для интенсификации экстракции. В ходе экспериментальных исследований по поиску прогрессивных технологий методов экстракций растительного сырья было обнаружено положительное влияние вакуума на СВЧ-экстракцию плодов боярышника, которое привело к увеличению выхода водорастворимых веществ из ягод.

Ключевые слова: СВЧ-экстракция, вакуумная экстракция, интенсификация экстракции, экстракция плодов боярышника.

L. Yu. Ismailov,

1st year graduate student, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
lenar-2015@mail.ru

R. R. Safin,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
cfaby@mail.ru

A. V. Safina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation,
alb_saf@mail.ru

INFLUENCE OF VACUUM ON THE YIELD OF PRODUCTS OF MICROWAVE EXTRACTION OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Recently, extractive substances from plant materials, which can improve human health, have been of particular interest. In this regard, the improvement of the technology of extracting plant materials in order to increase the yield of extractive substances while maintaining its quality is necessary. Vacuum-pulse extraction and ultra-high-frequency method (microwave extraction) are modern and relevant methods for intensifying extraction. In the course of experimental research on the search for advanced technologies for methods of extraction of plant raw materials, a positive effect of vacuum on microwave extraction of hawthorn fruits was found, which led to an increase in the yield of water-soluble substances from berries.

Keywords: microwave extraction, vacuum extraction, intensification of extraction, extraction of hawthorn fruits.

В последнее время высоким спросом пользуются лекарственные средства растительного происхождения, в связи с тем, что они оказывают мягкое и комплексное воздействие на организм человека с малой долей вероятности проявления побочных действий, что позволяет использовать их и при хронических заболеваниях. В связи с этим выделение биологически активных веществ из растительного сырья, совершенствование технологии с целью интенсификации экстракции и повышения выхода экстрактивных веществ с сохранением его качества является весьма актуальным.

Весьма богатым источником ценных компонентов являются плоды боярышника. Они включают в себя каротин, пектины, аскорбиновую кислоту, сапонины, крахмал, витамины группы В, а также важные органические кислоты и флавоноиды, способствующие восстановлению сердечно-сосудистой системы организма. Также в ягодах боярышника было выявлено высокое содержание сорбита [1, с. 24], который можно использовать в качестве заменителя сахара в питании людей, болеющих сахарным диабетом [2, с. 19]. В связи с этим улучшение технологии экстракции ягод боярышника является целесообразным и необходимым.

Для извлечения водорастворимых веществ из ягод боярышника, может использоваться процесс экстрагирования с применением новых физических методов. Современные исследования с использованием новых физических методов интенсификации создают уникальные преимущества и особенности, необходимые для процесса извлечения экстрактивных веществ в определенных условиях. Нетрадиционные методы экстракции, заменяют и улучшают обычные методы экстракции. При этом изменяются механизм и кинетика процесса, что является основой для моделирования и оптимизации процесса экстракции. К таким методам можно отнести сверхвысокочастотное и вакуумно-импульсное экстрагирование.

Особенность сверхвысокочастотного нагрева заключается в высокой скорости и эффективности [3, с. 187]. Если сравнивать с традиционными методами, то процесс экстракции при воздействии СВЧ-поля может быть ускорен в несколько раз, так как происходит одновременный нагрев всего растительного сырья, как в макро-, так и в микрообъемах. СВЧ обработка сырья является эффективной, благодаря тому, что нагрев материала приводит к резкому увеличению внутреннего давления клеток и их дальнейшему разрушению [4, с. 139]. После вскрытия клеток биологически активные вещества начинают переходить в окружающий растворитель.

Технология вакуумной экстракции позволяет обрабатывать растительное сырье в диапазоне очень низких температур от 40 до 50 °С. В результате возможность разложения термически нестабильных компонентов может быть полностью исключена, а процесс экстракции, особенно самых сложных экстрактов, может быть ускорен в несколько раз. В связи с тем, что часть биологически активного вещества находится в сырье внутри клетки в растворенном состоянии, а другая часть находится на стенке клетки, то при извлечении БАВ важно, чтобы выбранный растворитель (экстрагент) проникал в поры растительного сырья и растворял необходимые вещества [5, с. 177].

И сверхвысокочастотный, и вакуумно-импульсный метод имеют свои особенности, преимущества и недостатки, поэтому целесообразно будет рассмотреть возможность их сочетания на примере плодов боярышника для совершенствования технологии экстракции.

Целью исследования, проводимого в лаборатории кафедры «Архитектуры и дизайна изделий из древесины» ФГБОУ ВО «КНИТУ», являлось получение данных о влиянии вакуума на сверхвысокочастотную экстракцию водорастворимых веществ из ягод боярышника.

Исходным растительным материалом являлись плоды боярышника, которые были измельчены на электрической мельнице и использовались для дальнейших экспериментов. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода, в соотношении сырье – экстрагент 1:10. Экстракция ягод боярышника проводилась тремя методами: классическим нагревом смеси, сверхвысокочастотной экстракцией и СВЧ-экстракцией в вакууме. Для последнего метода была разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

Для получения экстракта смесь фильтровали последовательно через марлевый фильтр и фильтр «белая лента». Получение порошковых водорастворимых экстрактов осуществлялось в сушильной камере. Экстракция плодов боярышника осуществлялась в течение 5, 10 и 15 мин, в результате чего были получены следующие результаты, сведенную в таблице.

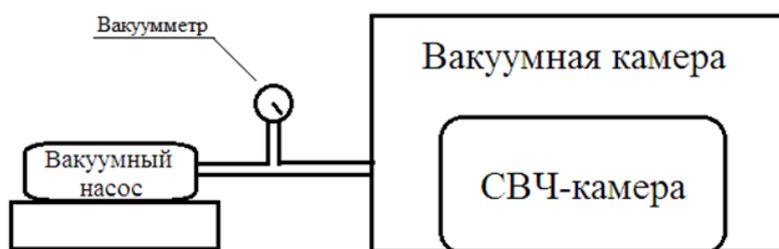


Рис. 1. Схема установки для проведения СВЧ-экстракции под вакуумным воздействием

Таблица

Выход водорастворимых продуктов из плодов боярышника при различных методах экстракции

Методы экстракции	Время экстракции, мин		
	5	10	15
Выход водорастворимых продуктов в % относительно исходного сырья, полученный при СВЧ-экстракции в вакууме	7,5	7,8	13,2
Выход водорастворимых продуктов в % относительно исходного сырья, полученный при СВЧ-экстракции	7,1	7,2	11,6
Выход водорастворимых продуктов в % относительно исходного сырья, полученный при классическом методе экстракции	5,4	6,2	11,4

По полученным результатам была построена графическая зависимость выхода водорастворимых веществ от времени и методов экстракции, представленная на рис. 2.

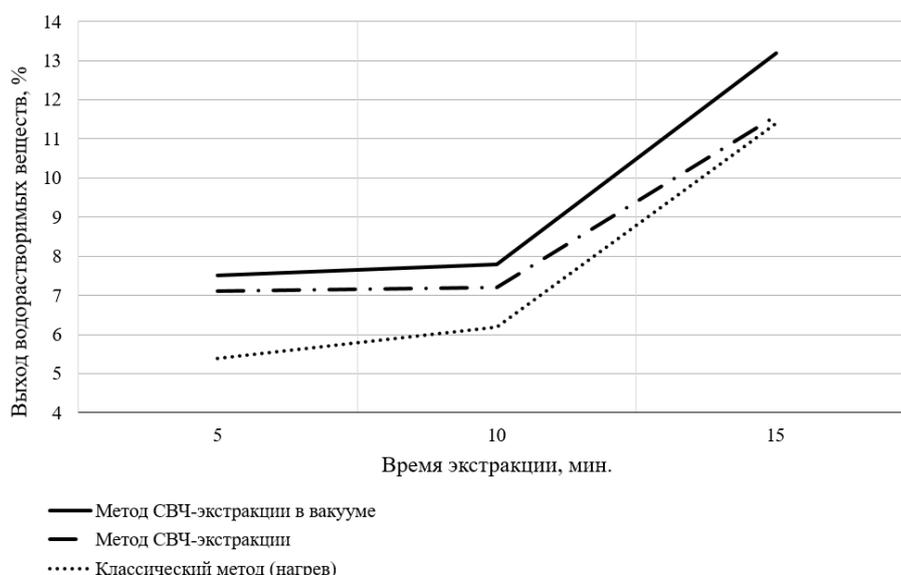


Рис. 2. Зависимость выхода водорастворимых веществ боярышника от времени при различных методах экстракции

Как видно из графика использование вакуума при СВЧ-экстракции приводит к увеличению выхода водорастворимых веществ из плодов боярышника на всех рассмотренных временных промежутках. Стоит отметить, что с увеличением времени экстрагирования увеличивается и выход выделяемых веществ. Так, при СВЧ-экстракции боярышника под воздействием вакуума за 15 мин удалось выделить на 13,8 % больше растворимых веществ чем без использования вакуумного эффекта, а если сравнивать с классическим методом, то рост составил 15,79 %.

Таким образом, было выявлено, что СВЧ-экстракция под воздействием вакуума способствует ускорению процесса экстракции и увеличивает выход водорастворимых веществ из плодов боярышника. В связи с этим требуется дальнейшее проведение исследований в этой области для выявления оптимальных режимов и параметров для большей эффективности, и результативности процессов экстракции.

Список литературы

1. Ляхова Н. С. Фармакологическое изучение суммарных извлечений из плодов боярышника : автореф. дис. ... канд. фарм. наук: 15.00.25. Пятигорск, 2008. 24 с.

2. Третьякова Ю. В. Товароведная характеристика плодов боярышника и продуктов их переработки : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.18.15. Кемерово, 2009. 19 с.
3. Молодцова М. А., Севастьянова Ю. В. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (обзор) // ИВУЗ «Лесной журнал». 2017. № 2. С. 173–187.
4. Zhou H.-Y., Liu C.-Z. Microwave-assisted extraction of solanesol from tobacco leaves // Chromatogr. 2006. A 1129 (1), 135-139.
5. Crossley J. I., Aguilera J. M. Modeling the effect of microstructure on food extraction // Food Process. Eng. 2001. 24, 161-177.

УДК 674.815

Ю. А. Капитонова,

магистрант 2 года, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
 unet1803@mail.ru

С. Е. Анисимов,

к. т. н., доцент кафедры ЛиХТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
 AnisimovSE@volgatech.net

Е. М. Царёв,

д. т. н., профессор кафедры ЛиХТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
 CarevEM@volgatech.net

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАБОТКИ ОКОРЕННЫХ СОРТИМЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ

На деревообрабатывающих предприятиях после процесса окорки сортиментов образуются большие запасы коры. Эффективность ее утилизации любым из возможных способов зависит от реальной стоимости коры как сырья с учетом расходов на сбор, транспорт, хранение и предварительную подготовку ее к переработке. В то же время, любые виды сбора биомассы и вывод ее из леса, приводят к обеднению и понижению кислотно-буферных свойств почвы в лесу. Концентрация полезных микроэлементов выше в кроне и ветвях, поэтому удаление не только стволов, но и всех древесных остатков приводит к закислению почвы и потере питательных веществ в лесной почве более чем в три раза. Из-за высокого содержания в древесной золе минералов и микроэлементов, необходимых для поддержания и обогащения питательности почв, целесообразно возвращение золы обратно в естественный цикл природы. Правильное осуществление лесозаготовительных работ, предусматривающее стабильность экосистемы леса и сохранность полезных и питательных свойств лесных земель, является актуальной проблемой.

Ключевые слова: харвестерная головка, кора, отходы лесозаготовок, сортиментная технология, экологическая эффективность, питательные вещества лесной почвы.

Yu. A. Kapitonova,

2nd year master's degree student, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
 unet1803@mail.ru

S. E. Anisimov,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
 AnisimovSE@volgatech.net

E. M. Tsarev,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola,
 CarevEM@volgatech.net

IMPROVING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE THE EFFICIENCY OF WASTE DISPOSAL IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF DEBARKED SORTINGS AT THE CARRYING OUT LOGGING OPERATIONS

In woodworking enterprises, large stocks of bark are formed after the process of debarking the sortiments. The efficiency of its utilization in any of the possible ways depends on the real cost of the bark as a raw material, considering the costs of collection, transport, storage and preliminary preparation for processing. At the same time, any types of biomass collection and removal from the forest lead to depletion and a decrease in the acid-buffer properties of the soil in the forest. The concentration of useful trace elements is higher in the crown and branches, so the removal of not only the trunks, but also all wood residues leads to acidification of the soil and loss of nutrients in the forest soil more than three times. Due to the high content of minerals and trace elements in wood ash, which are necessary for maintaining and enriching the soil nutrition, it is advisable to return the ash back to the natural cycle of nature. Proper implementation of logging operations, which provides for the stability of the forest ecosystem and the preservation of the useful and nutritious properties of forest land, is an urgent problem.

Keywords: harvester head, bark, logging waste, sorting technology, environmental efficiency, forest soil nutrients.

В существующей практике возможны следующие способы переработки коры [1–4].

1) *Вывоз на свалку*. Самый простой способ (рис. 1).

Минусами можно назвать платежи за лицензию, затраты на обслуживание техники для вывозки и конечно же ухудшение экологии.

2) *Вывоз коры в отвалы* (рис. 2). Это вариант для производств, у которых нет возможности перерабатывать отходы и которые поэтому вынуждены избавляться от коры, чтобы не захламлять территорию предприятия (так называемые обременительные отходы).

3) *Переработка коры на удобрения*. В этом случае используют кору, измельченную в корорубках и молотковых мельницах (рис. 3). При доизмельчении коры в молотковых мельницах можно получить мелкодисперсный материал, который находит широкое применение в разных технологиях.



Рис. 1. Свалка коры



Рис. 2. Кора в отвале



Рис. 3. Кора на удобрение

4) *Получение золы*. В настоящее время основным методом утилизации коры в больших количествах при сравнительно простом процессе является ее сжигание.

Технология производства золы может быть представлена следующим образом. Образующиеся в результате обработки сортиментов кора на лесосеке собирается при помощи подборщика грабельного типа. Формируются кучи коры.

Возможны следующие способы сжигания коры:

1. На открытом воздухе в осенне-весенний период при формировании собранной коры в валы, в результате которой образуется нижняя зола (пепел), а летучая фракция (летучая зола) удаляется вместе с дымовыми газами. После этого пепел разбрасывается;

2. В пределах топки, в результате которой образуется нелетучая зола, которая оказывается более богатой основными компонентами и более щелочной. Летучая фракция (летучая зола – зола, которая образуется при сжигании угля и мелких частиц сжигаемого топлива, которые покидают угольные котлы вместе с дымовыми газами и пепел, который остаётся на дне котла, называется донной или нижней золой, имеющей почти те же свойства, что и у летучей золы), сажа, богата микроэлементами и тяжелыми металлами и имеет менее щелочную реакцию.

Одним из новых вариантов выработки окоренных сортиментов с последующей переработкой лесосечных отходов является использование модернизированного рабочего органа валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины с окорочным устройством, представленного на рис. 4а, б, в.

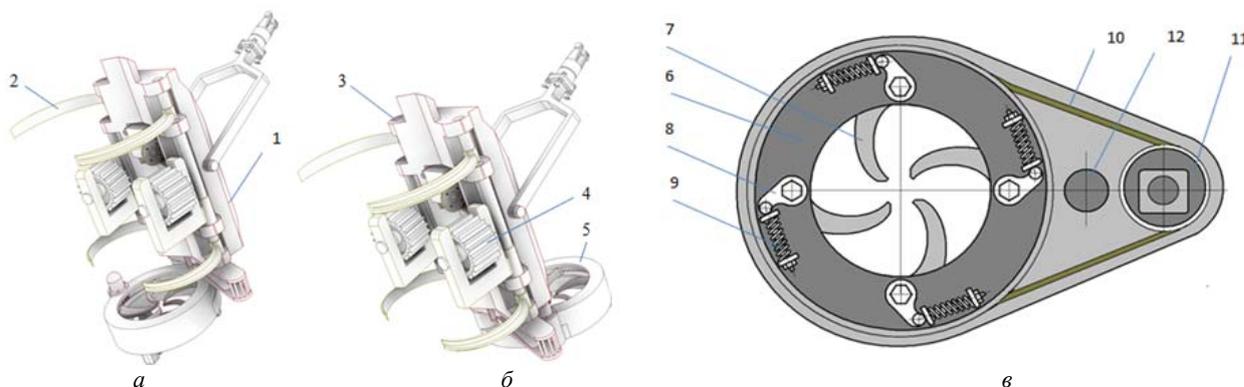


Рис. 4. Рабочий орган ВСПМ:

а – вид рабочего органа сбоку при рабочем положении статора;

б – вид рабочего органа сбоку при исходном положении статора;

в – окорочное оборудование (вид сверху): 1 – корпус; 2 – сучкорезные ножи; 3 – оси; 4 – поворотные вальцы; 5 – статор; 6 – ротор; 7 – коросниматели; 8 – коромысло; 9 – прижимные пружины; 10 – ременная передача; 11 – гидромотор; 12 – вал

Работа предлагаемого рабочего органа ВСРМ, осуществляется оператором, который наводит рабочий орган машины с находящимся в исходном положении статором на растущее дерево, производит захват, спиливание, валку дерева. После этого рабочий орган ВСРМ переводится в горизонтальное положение. Одновременно с этим приводится в рабочее положение окорочное устройство для окорки сортиментов. Начинается протаскивание поваленного дерева вальцами 4 через сучкорезные ножи 2 и через окорочное устройство, работающее посредством ротора 6 с короснимателями 7 вращающегося вокруг продольной оси поваленного дерева. Происходит окорка. Достигнув заданной длины сортимента, производится раскряжевка.

Полученные в результате выработки окоренных сортиментов кора, сучья и вершинная часть собираются в кучи и поступают далее на рубительную машину. После этого полученная измельченная древесина идет на сжигание для получения золы или в компостную яму для перегнивания. Следуя технологической цепочке, полученная зола или компост разбрасываются по лесосеке. Затем полученная зола (пепел) собирается в кучу и разбрасывается по лесосеке вручную или при помощи специальных разбрасывающих машин.

Таким образом, сбор, сжигание (в топках или на открытом воздухе) и формирование компоста непосредственно на лесосеке, с последующим внесением его в лесную почву, является альтернативным решением использования отходов лесозаготовок. При этом сводятся к нулю такие статьи затрат как транспортировка золы с нижних складов лесоперерабатывающих операций и ее хранение. Исключается необходимость транспортировки больших объемов сыпучей золы, приводящей к загрязнению, порче поверхности металлических деталей механизмов и негативным последствиям для здоровья рабочих.

Использование данного способа выработки окоренных сортиментов и рабочего органа валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины для его осуществления позволяет концентрировать большую часть отходов лесосечных работ на лесосеке. При этом на складах сырья крупных деревообрабатывающих комбинатов не образуются запасы коры и производителям не приходится решать, что делать с этими отходами. Полученная в результате сжигания зола вносится в почву в качестве удобрения для восстановления стабильности экосистемы леса и сохранности полезных и питательных свойств лесных земель.

Список литературы

1. Будник П. В. Функционально-технологический анализ харвестерной головки // Наука и бизнес: пути развития. 2012. № 9(15). С. 36–38;
2. Волинский В. Переработка и использование древесной коры // ЛесПромИнформ. Раздел Биоэнергетика. 2012. № 2(84). С. 168–171.
3. Головков С. И., Коперин М. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М. : Лесная промышленность, 1987. 224 с.
4. Девятловская А. Н., Журавлёва Л. Н., Девятловский Н. В. Утилизация древесной коры деревоперерабатывающих предприятий. URL: <http://pihtahvoya.ru/chvoynie-derevyia-i-kustarniki-dalnegovostoka/udobrenie-iz-kori-derevev> (дата обращения: 23.03.2021).
5. Демчук А. В. Модернизация технологического оборудования харвестера для повышения эффективности вывозки сортиментов // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 20. № 2. С. 542–546.
6. Мазуркин П. М. Поисковое конструирование лесотехнического оборудования : учебное пособие // Саранск : Изд-во Сарат. ун-та, 1990. 304 с.
7. Пат. 2676139, Российская Федерация. Способ выработки окоренных сортиментов и рабочий орган для его осуществления / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Рукомойников К. П., Коновалова Ю. А. и др. МПК А01G23/095, В27L 1/00. Заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет. № 2017145977; заявл. 26.12.2017; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 36. 6 с. : ил.
8. Пошарников Ф. В. Анализ состояния технического оснащения лесозаготовительной промышленности // Лесотехнический журнал. 2012. № 2. С. 100–105.
9. Сюнёв В. С., Селиверстов А. А. Рабочие органы харвестеров: проектирование и расчет : учебное пособие. Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2005. 204 с.
10. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н. Техническое оснащение современных лесозаготовок. СПб. : Префикс, 2005. С. 344.

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА И СБЕГА БЕРЕЗОВЫХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЫХОД ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ С ОБЗОЛОМ

Берёзовые лесоматериалы преимущественно пользуются спросом при производстве фанеры. При этом требуется лучшая комлевая часть хлыста. Оставшаяся часть хлыста используется также для сортиментов по производству пиломатериалов. Их объём составляет 20...25 %. Установлено влияние диаметра берёзовых круглых лесоматериалов и их сбег на объёмный выход обрезных пиломатериалов с обзолом свободной длины и ширины по сравнению с объёмным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом с размерами по действующим стандартам. Увеличение объёмного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом свободной длины и ширины с изменением диаметра от 14 до 16 см составило 2,44...5,56 %. Увеличение объёмного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом свободной длины и ширины с изменением сбег от 0,4 до 1 см/м составило 1,62...10,35 %.

Ключевые слова: сбег, обрезные пиломатериалы, обзол, круглые лесоматериалы, берёза.

A. A. Kaptelkin,

3rd year graduate student, Mytishchi Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University» (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
kaptelkin94@mail.ru

INFLUENCE OF THE DIAMETER AND LOG TAPER OF BIRCH ROUND TIMBER ON THE VOLUME YIELD OF EDGED TIMBER WITH A WANE

Birch wood products are mainly in demand in the production of plywood. At the same time, the best part of the whip is required. The remaining part tree length is also used for sawn timber assortments. Their volume is 20...25 %. The influence of the diameter of birch round timber and their run-off on the volume output of edged lumber with a free length and width survey compared to the volume output of edged lumber with a survey and with the dimensions according to the current standards is established. The increase in the volume yield of edged lumber with a free length width with a change in diameter from 14 to 16 cm was 2.44...5.56 %. The increase in the volume yield of edged sawn timber with a free length and width with a change in the taper from 0.4 to 1 cm/m was 1.62...10.35 %.

Keywords: log taper, edged timber, wane, round timber, birch.

Доля круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов имеет тенденцию к сокращению, что позволяет повышать их качество. Средний диаметр круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов остаётся невысоким. Около 80 % сортиментов имеют диаметр 14...20 см [1]. Кроме того, в процессе раскря хлыста его части могут быть использованы на целлюлозно-бумажных комбинатах, плитных предприятиях и производств пиломатериалов.

Производство обрезных пиломатериалов из таких сортиментов приводит к значительному количеству отходов в обзолные рейки и влиянию кривизны сортиментов и некратности ширины необрезных пиломатериалов к ширине обрезных [2].

Одним из путей решения задачи эффективной переработки древесины берёзы, может быть изменение схемы обрезки пиломатериалов в лесопильном цехе с оставлением в верхней части доски тупого обзола, параметры которого превышают требования действующих стандартов, а также исключения градации по длине и ширине производимых пиломатериалов, предназначенных для внутризаводской переработки [3].

В качестве примера принят круглый лесоматериал диаметром 14 см. Имитировался раскрой пиломатериалов толщиной 19 мм, 25 мм вразвал и с брусковкой на обрезные пиломатериалы, обрезные с обзолом, обрезные с обзолом без градации по длине и ширине при сбеге в диапазоне 0,4...1,0 см/м.

Для анализа полученных данных построены диаграммы объёмного выхода пиломатериалов толщиной 25 и 19 мм на примере круглого лесоматериала диаметром 14 см (рис. 1) и 16 см (рис. 2).

Увеличение объёмного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объёмным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам свободной длины и ширины при распиловке вразвал с изменением диаметра от 14 до 16 см составило 4,70 %; 5,56 %.

Уменьшение объёмного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объёмным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам свободной длины и ширины при распиловке с брусковкой с изменением диаметра от 14 до 16 см составило 2,78 %; 2,44 %.

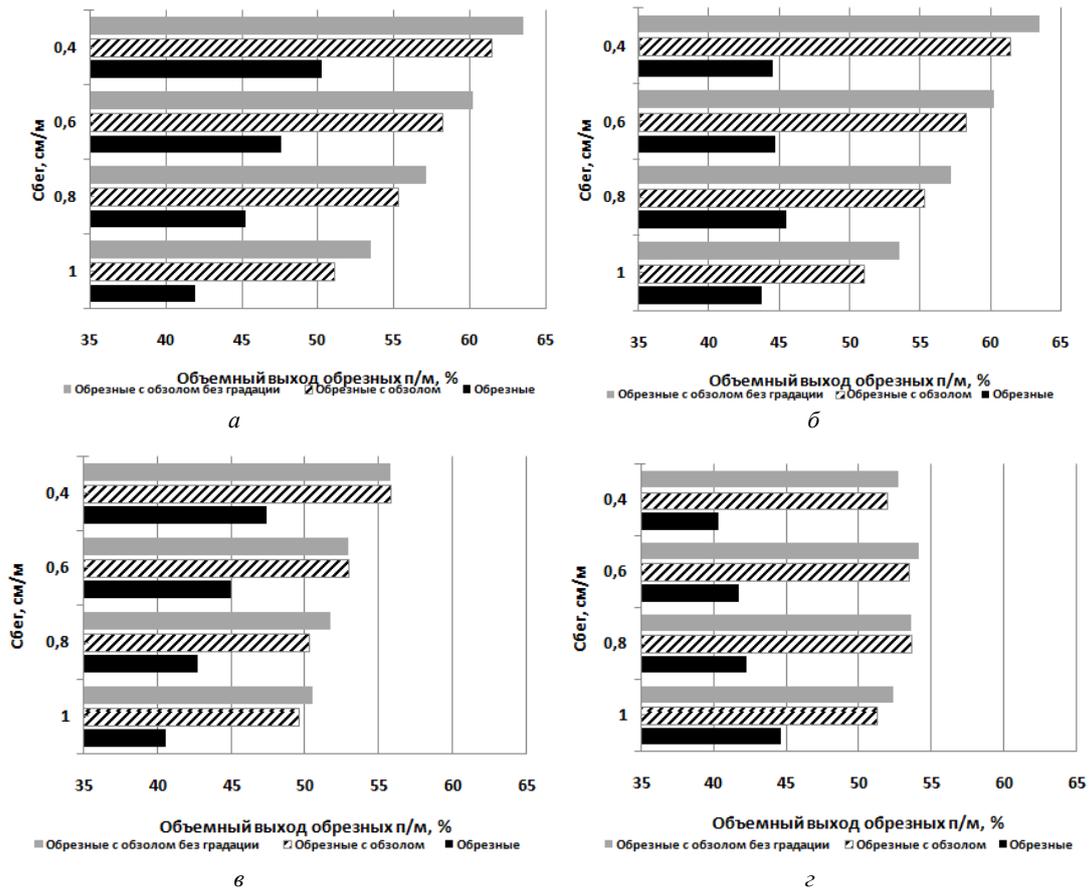


Рис. 1. Объемный выход обрезных пиломатериалов из круглого лесоматериала диаметром 14 см:
 а – толщиной 25 мм вразвал; б – толщиной 19 мм вразвал;
 в – толщиной 25 мм с брусковкой; г – толщиной 19 мм с брусковкой

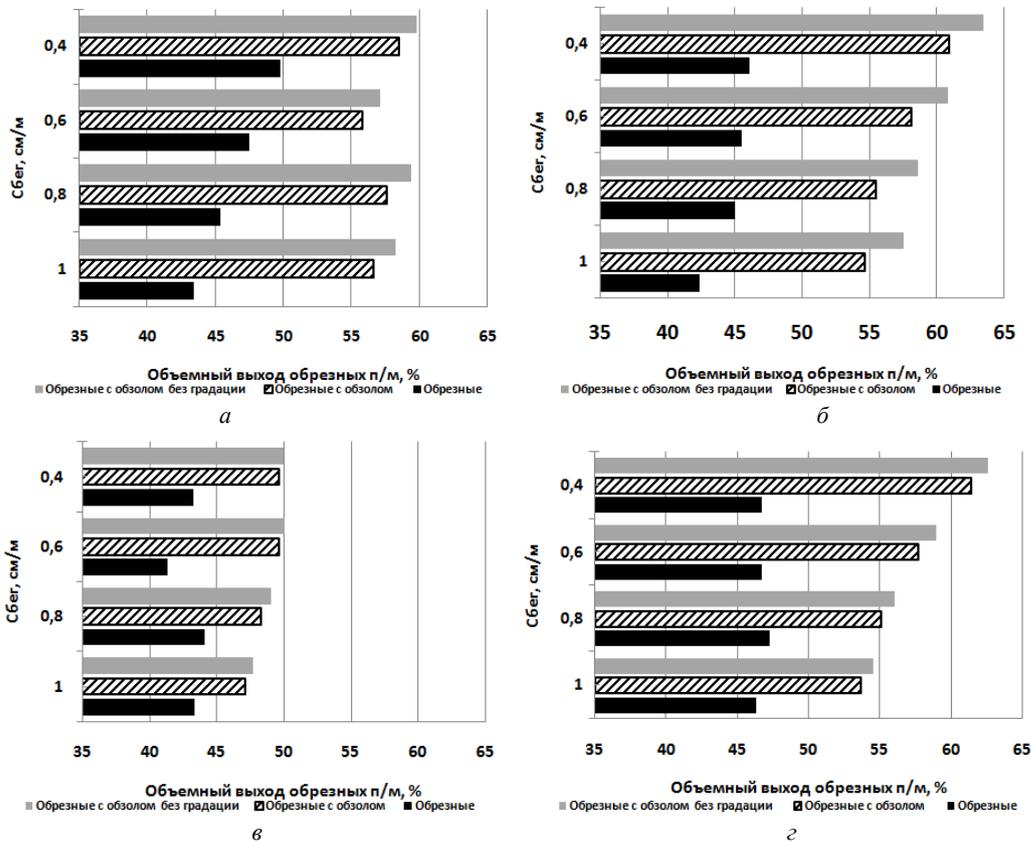


Рис. 2. Объемный выход обрезных пиломатериалов из круглого лесоматериала диаметром 16 см:
 а – толщиной 25 мм вразвал; б – толщиной 19 мм вразвал;
 в – толщиной 25 мм с брусковкой; г – толщиной 19 мм с брусковкой

Увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке вразвал, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 9,99 %; 10,35 % из круглых лесоматериалов диаметром 14 см.

Увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке с брусковкой, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 5,33 %; 6,21 % из круглых лесоматериалов диаметром 14 см.

Увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке вразвал, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 1,62 %; 1,88% из круглых лесоматериалов диаметром 16 см.

Увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке с брусковкой, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 2,27 %; 2,48 % из круглых лесоматериалов диаметром 16 см.

Список литературы

1. Каптелкин А. А., Куликова Н. В., Рыкунин С. Н. Технология производства берёзовых пиломатериалов с обзолом для одностороннего мебельного щита // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2017. № 4. С. 21–27.
2. Рыкунин С. Н., Тюкина Ю. П., Шалаев В. С. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств : учеб. пособие. 3-е изд. М. : МГУЛ, 2009. 225 с.
3. Каптелкин А. А. Влияние параметров обзола на размеры обрезных пиломатериалов // *ЛЕСА РОССИИ: ПОЛИТИКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ* : материалы Всероссийской V научно-технической конференции-вебинара / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова. СПб. : Политех-Пресс, 2020. С. 129–130.

УДК 674.09

Н. В. Куликова,

к. т. н., доцент кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
stelons@mail.ru

А. А. Каптелкин,

аспирант 3 года кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
kaptelkin94@mail.ru

С. Н. Рыкунин,

д. т. н., профессор кафедры ЛТ8-МФ, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Мытищи, РФ,
rikunin@mgul.ac.ru

О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕЛКИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

В мелких круглых лесоматериалах имеется одна зона качества – зона здоровых сучков. По сравнению со средними и крупными круглыми лесоматериалами, имеющими до трех зон качества, сортировка пиломатериалов, полученных из мелких круглых лесоматериалов по сортам и группам качества существенно упрощается. Сортировка таких пиломатериалов по толщине и ширине не требуется, так как в постав включаются пиломатериалы одной толщины и ширины. Исключение операции обрезки пиломатериалов и их сортировки существенно упрощает производственный процесс.

Ключевые слова: круглые лесоматериалы, обрезные пиломатериалы, сортировка, зона качества, производство.

N. V. Kulikova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Mytischki Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University» (National Research University), Mytischki, Russian Federation,
stelons@mail.ru

A. A. Kaptelkin,

3rd year graduate student, Mytischki Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University» (National Research University), Mytischki, Russian Federation,
kaptelkin94@mail.ru

S. N. Rykunin,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Mytischki Branch of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», Mytischki, Russian Federation, rikunin@mgul.ac.ru

ABOUT THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF SAWN TIMBER FROM SMALL ROUND TIMBER

In small round timber, there is one quality zone – the zone of sound knots. In comparison with medium and large round timber products with up to three quality zones, the assorting of sawn timber obtained from small round timber by grades and quality groups is significantly simplified. Assorting of such lumber by thickness and width is not required, since the sawing schedule includes lumber of the same thickness and width. Eliminating the operation of cutting lumber and assorting it greatly simplifies the production process.

Keywords: round timber, edged lumber, assorting, quality zone, production.

Мелкие круглые лесоматериалы обычно направляются на переработку на целлюлозно-бумажные комбинаты и предприятия по производству плит. Расстояние от этих предприятий до мест лесозаготовок в ряде случаев делает поставки мелких круглых лесоматериалов экономически невыгодным. Количество лесопильно-деревоперерабатывающих предприятий значительно больше и затраты на транспортировку будут ниже.

Мелкие круглые лесоматериалы по сравнению со средними и крупными по качеству древесины более однородны. Так, в средних и крупных лесоматериалах может быть до трех зон качества: зона здоровых сросшихся сучков; зона отмерших, чаще всего загнивших сучков; бессучковая или малосучковая зона [1].

Наличие этих зон в средних и крупных круглых лесоматериалах требует достаточно высокой дробности сортировки для получения групп пиломатериалов однородных по качеству. Размеры пиломатериалов по толщине, ширине и длине изменяются в широком диапазоне, что требует сложных и дорогостоящих линий по сортировке пиломатериалов [2].

Мелкие круглые лесоматериалы диаметром 10...13 см могут быть использованы для производства обрезных пиломатериалов, удовлетворяющие требования действующей нормативно-технической документации [3].

Расчетный объемный выход обрезных пиломатериалов из круглых лесоматериалов диаметром 12 см и длиной 3 м при раскрое с брусков по поставу:

$$1 \text{ проход } \frac{100}{1}; 2 \text{ проход } \frac{16}{2} = \frac{16}{2};$$

представлен в таблице.

Таблица

**Расчетный объемный выход обрезных пиломатериалов
из круглых пиломатериалов диаметром 12 см, длиной 3 м**

Диаметр бревна, d, см	Длина бревна, L, м	Объем бревна, V, м ³	Количество досок, n, шт	Толщина досок, t _д , мм	Расход ширины полупоставы до пласти, E, мм	Расстояние от оси поставы до пласти, а, мм	Фактическая ширина доски, b _ф , мм	Фактическая длина доски, l _ф , м	Объем одной доски, V ^д , м ³	Общий объем досок, V _{общ} , м ³	Общий расчетный объемный выход пиломатериалов, P, %	Общий фактический объемный выход пиломатериалов, P _ф , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	3	0,039	1	100	51,3	51,3	62,4	3				
			2	16	18,6	18,6	100	3	0,0048	0,0096	24,01	21,61
			2	16	20,6	39,2	100	1,25	0,002	0,004	10,00	9,00
Итого										0,0136	34,02	30,62

Обрезные пиломатериалы получают одной толщины – 16 мм и одной ширины – 100 мм, что не требует их сортировки по этим размерным параметрам, а также не требуется операция обрезки пиломатериалов по ширине, так как боковых пиломатериалов в первом проходе не получается, а во втором проходе для боковых пиломатериалов, получаемых из бруса, достаточно операции торцовки.

Выводы: исключение обрезки пиломатериалов и их сортировки по толщине, ширине делает возможным существенно упростить процесс производства обрезных пиломатериалов, получаемых из мелких круглых лесоматериалов диаметром 10...13 см и пересмотреть состав оборудования на линии переработки и участке сортировки пиломатериалов.

Список литературы

1. Тюкина Ю. П., Рыкунин С. Н., Шалаев В. С. Технология лесопильно-деревоперерабатывающего производства : учебник для техникумов. М. : Лесн. пром-сть, 1986. 280 с.
2. HOLTEC GmbH&Co. URL: <https://www.holtec.de> (дата обращения: 06.08.2021).
3. ГОСТ 8486–86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. М. : Стандартинформ, 1986. 9 с.

УДК 630*182.2

А. В. Мехренцев,

к. т. н., зав. кафедрой ТОЛП ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
mehrentsev@yandex.ru

Э. Ф. Герц,

д. т. н., профессор кафедры ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
gerz.e@mail.ru

Н. Н. Теринов,

д. с-х. н., профессор кафедры ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
n_n_terinov@mail.ru

А. Ф. Уразова,

к. с-х. н., доцент кафедры ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
urazovaaf@m.usfeu.ru

А. Д. Герасимова,

магистрант 1 года обучения, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
aringer270198@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ЗАРАСТАЮЩИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Использование заброшенных сельскохозяйственных земель для ведения лесного хозяйства требует решения технологических вопросов. Возможным направлением использования удаляемой древесно-кустарниковой растительности является измельчение и последующее сжигание фитомассы с внесением и заделкой полученной золы и угля в почву. Это создаст условия для восстановления плодородия почвы, а также выполнение последующих лесохозяйственных мероприятий. В ходе экспериментальных исследований получены математические модели для учета объема фитомассы и количества получаемой золы.

Ключевые слова: древесно-кустарниковая растительность, подрост, интенсивное лесное хозяйство, естественное лесовозобновление, продукты сгорания древесины.

RESEARCH OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES OF FOREST MANAGEMENT IN THE CONDITIONS OF FORMER AGRICULTURAL LANDS

A. V. Mekhrentsev,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Logging Technology Department Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation,
mehrentsev@yandex.ru

E. F. Gertz,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation,
gerz.e@mail.ru

N. N. Terinov,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation,
n_n_terinov@mail.ru

A. F. Urazova,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation,
urazovaaf@m.usfeu.ru

A. D. Gerasimova,

master's degree student, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation,
aringer270198@gmail.com

The use of abandoned agricultural land for forestry requires the solution of technological issues. A possible direction of using the removed tree and shrub vegetation is the grinding and subsequent burning of phytomass with the introduction and incorporation of the resulting ash and coal into the soil. This will create conditions for the restoration of soil fertility, as well as the implementation of subsequent forestry measures. In the course of experimental studies, mathematical models were obtained to account for the volume of phytomass and the amount of ash produced.

Keywords: tree and shrub vegetation, undergrowth, intensive forestry, natural reforestation, wood combustion products.

Трансформация сельского хозяйства из коллективных форм организации в частное в период с 90-х годов привела к разорению многих сельскохозяйственных предприятий. При этом оказались заброшенными тысячи гектаров ранее пахотных земель. По данным Министерства сельского хозяйства с 1993 года пахотные земли Свердловской области ежегодно сокращались в среднем на 2,4 % [1]. При общей площади Свердловской области более 19 млн га площадь земель сельскохозяйственного назначения сократилась за период с 1990 по 2019 год с 4787,6 до 3984,6 тыс. га, т. е. на 803 тыс. га. Более 250 тыс. га из них в настоящее время уже покрыты древесной растительностью. В целом по Уральскому федеральному округу количество неиспользуемых сельхозземель показано в табл. 1 [2].

Таблица 1

Площадь неиспользуемых сельскохозяйственных земель по УрФО

Регион	Всего, тыс. га	В том числе неиспользуемые, тыс. га	
		Более 3-х лет	Более 20 лет
Свердловская область	803	548	254
Тюменская область	1156	957	199
Курганская область	2317	2122	194
Челябинская область	2787	2613	174

На землях, зарастающих более 3-х лет, идет процесс активного формирования древостоя. Эти земли могут быть частично возвращены в сельскохозяйственный оборот. При этом следует обеспечить рациональную технологию удаления древесно-кустарниковой растительности с извлечением растений с корневой системой и их последующей утилизацией. Такая технология целесообразна при высоте древесной растительности до 1,5 м.

В молодняках сформировавшихся на сельхозземлях, зарастающих более 20 лет с учетом необходимости затрат уже нецелесообразно возвращать в сельскохозяйственный оборот. Состав формирующихся насаждений зависит от многих факторов, к которым можно отнести почвенные условия и влияние насаждений произрастающих в непосредственной близости. Выполненные ранее исследования показали, что на бывших пашнях формируются не только лиственные, но и хвойные насаждения [3].

Целью данного исследования является разработка энергоэффективных технологий ведения лесного хозяйства на сельскохозяйственных землях зарастающих древесной растительностью.

Основной объем исследований был выполнен в условиях Режевского района Свердловской области, территория которого относится к округу сосново-березовых лесов Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесной области.

Исследования проводились на опытном участке, покрытом преимущественно сосновым подростом и разбитом на учетные площадки размером 2×2 м. На каждой учетной площадке производился учет подроста по средней высоте. Подсчет количества подроста на учетной площадке позволил определить густоту подроста. Площадь обследованного участка составила 10 га. С северо-запада к нему примыкает сосновое насаждение (7СЗБ). Тип насаждения может быть отнесен к сосняку ягодниковому. Участок представляет собой пашню, заброшенную 8...10 лет назад. На расстоянии до 150...200 м от стены леса густота подроста лесовозобновления высотой до 1,0...1,5 м не снижается ниже 5,5 тыс. шт./га, а встречаемость – ниже 80 %.

В качестве критерия оценки энергоэффективности планируемых технологий принята количественная оценка биомассы древесно-кустарниковой растительности. При этом для ее оценки (всходов, самосева и подроста) учитывались все растения высотой до 1,5 м. В основу учета биомассы положена методика А. В. Побединского [4]. Надземная фитомасса сосновых древостоев на Среднем Урале изучалась многими исследователями [5–7]. Для решения задачи оценки фитомассы в настоящем исследовании использовались уравнения, полученные З. Я. Нагимовым для оценки массы стволов в коре в абсолютно сухом состоянии [8]:

$$P_c = 2,2929 + 0,41008 \cdot M + 0,09575 \cdot A - 0,30596 \cdot H_{100};$$

где M – запас древесины на 1 га (m^3);

A – средний возраст древостоя (лет);

H_{100} – средняя высота древостоев в столетнем возрасте (м).

В ходе эксперимента было выполнено извлечение на учетной площадке растений вместе с корневой системой, все растения были измельчены и сожжены в топке до образования золы. Объем наземной фитомассы для других типов леса был определен в соответствии [3]. Количество золы, которое может быть получено при сжигании фитомассы, принято на основании исследования отобранных образцов в разрезе учетных площадей (рис.). Результаты определения фитомассы и количество полученной при ее сжигании золы представлены в табл. 2.

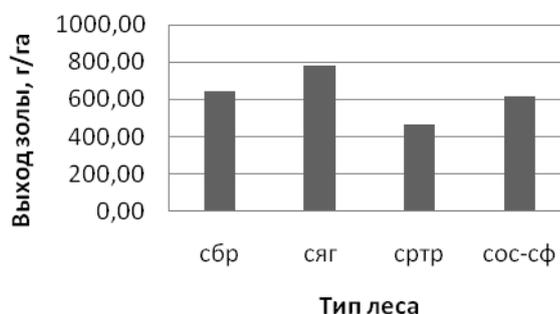


Рис. Количество золы при сжигании фитомассы

Содержание элементов питания в полученной золе представлено в табл. 3 [9].

Результаты экспериментальных исследований позволяют предложить технологические решения, обеспечивающие ведение лесного хозяйства на сельскохозяйственных полях зарастающих древесной растительностью. Основой этих решений является самоходная технологическая машина, обеспечивающая выполнение следующей последовательности операций:

- извлечение растений лесовозобновления из почвы;
- освобождение корневой системы от земли с возвратом последней;
- измельчение фитомассы в однородную сыпучую фракцию;
- сжигание измельченной фитомассы с последующим внесением золы на поверхность почвы;
- заделку золы в почву прицепными дисковыми культиваторами.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Тип леса	Фитомасса, кг/га			Выход золы, г/га
	стволы	крона	корни	
Сосняк брусничный	58,8	39,1	31,4	646
Сосняк ягодниковый	75,7	42,1	37,7	778
Сосняк разнотравный	48,3	22,2	22,5	465
Сосняк сфагновый	58,6	35,3	30,1	619

Таблица 3

Химический состав золы древесных отходов, %

pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
8,2	2,50	6,48	29,8	1,80

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

Список литературы

1. Залесов С. В., Магасумова А. Г., Юровских Е. В. Зарастание бывших сельскохозяйственных угодий в Слободо-Туринском районе Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2009. № 4(34). С. 14–23.
2. Карта неиспользуемых сельхозземель, потенциально пригодных для выращивания леса. URL: <https://maps.greenpeace.org/maps/aal> (дата обращения: 23.03.2021).
3. Трофимова И. Л., Кошечева У. П., Нагимов З. Я. Надземная фитомасса сосновых насаждений в различных типах леса в условиях Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. 2012. № 8(100). С. 55–58.
4. Побединский А. В. Изучение лесовозобновительных процессов. М. : Наука, 1966. 64 с.
5. Нагимов З. Я. Закономерности строения и роста сосновых древостоев и особенности рубок ухода в них на Среднем Урале : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Свердловск : УЛТИ, 1984. 19 с.
6. Усольцев В. А., Залесов С. В. Депонирование углерода некоторых эктонов и на лесопокрытых площадях УрФО : монография. Екатеринбург : УГЛТУ, 2005. 223 с.

7. Бакшеева Е. О., Ростовцева Т. И., Морозов А. С. Особенности зарастания древесной растительностью неиспользуемых сельскохозяйственных земель // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. № 10. С. 100–107.
8. Нагимов З. Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург : УГЛТУ, 2000. 40 с.
9. Бортник Т. Ю., Долговых О. Г., Лекомцева Е. В., Кудрявцев И. М. Применение золы органосодержащих отходов в полевом севообороте // Плодородие. 2018. № 2(101). С. 52–54.

УДК 674.613

Е. М. Разиньков,

д. т. н., профессор кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
rasinkov50@mail.ru

К. А. Королева,

магистр, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
kseniya.96@bk.ru

Я. В. Безноско,

магистрант 2 года обучения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
starzvednaya@yandex.ru

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ
 ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

Под эффективностью работы смесителя понимается целый ряд различных факторов: его производительность, качество смешивания с тем, чтобы каждая древесная частица (стружка) получала свою долю связующего, степень измельчения древесных частиц в процессе смешивания и т.д., в том числе и экономия связующего от качественного смешивания древесных частиц со связующим. В своей работе мы акцентировали внимание на последнем из этих факторов.

Ключевые слова: смеситель, лопасти, лопатки, центральный вал, полый вал, доизмельчение стружки, качество осмоления.

E. M. Razinkov,

Dr. Sci. Tech., professor of department of mechanical technology of Voronezh state timber university of G. F. Morozov, Voronezh, Russian Federation,
rasinkov50@mail.ru

K. A. Koroleva,

master, VO FGBOU «Voronezh state timber university of G. F. Morozov», Voronezh, Russian Federation,
kseniya.96@bk.ru

Ya. V. Beznosko,

undergraduate 2 years of training, Voronezh state timber university of G. F. Morozov, Voronezh, Russian Federation,
starzvednaya@yandex.ru

**INCREASE OF OVERALL PERFORMANCE OF THE MIXER BY PRODUCTION
 OF WOOD-SHAVING PLATES**

Overall performance of the mixer is understood as a number of different factors: its productivity, quality of mixing each wood particle (shaving) received the share binding, extent of crushing of wood particles in the course of mixing, etc. including economy binding from high-quality mixing of wood particles with binding. In the work we focused attention on the last of their these factors.

Keywords: Mixer, blades, blades, central shaft, hollow shaft, shaving regrinding, quality of gumming.

Известно, что в промышленных смесителях моделей ДСМ-7, ДСМ-5 [1], из-за большой скорости вращения центрального вала (770–1220 мин⁻¹), стружка располагается по кольцу примыкающему к внутренней обшивке барабана и «пробить» такое кольцо вылетающими капельками связующего из смесительных трубок с отверстиями практически невозможно. В результате часть стружки получает связующее, а часть его недополучает или совсем не получает. В этом случае включается лишь эффект «перемазывания» стружки связующим. Отсюда и низкая прочность плит, отсюда и перерасход связующего. Старые смесители моделей ДСМ-1, ДСМ-2 были в этом плане лучше, но они занимали очень много производственной площади, связующее водилось во внутрь вращающегося барабана форсунками. Форсунки забивались смесью пыли и отверждаемого связующего. В результате их приходилось регулярно чистить или вообще они выходили из строя. Цель нашей работы состояла в том, чтобы за счет конструктивных особенностей смесителя повысить качество смешивания стружки со связующим и на этой основе не только сэкономить связующее но и частично снизить токсич-

ность плит за счет меньшего количества связующего в плите. Для этой цели разработана конструкция смесителя и изготовлен опытный образец.

Конструкция быстроходного смесителя состоит из корпуса барабана с загрузочным и выгрузочным люками внутри которого расположен центральный вал с лопастями. Дополнительно смеситель имеет четыре вала – один полый, с боковыми отверстиями, через которые осуществляется подача связующего и он смещен от геометрической оси корпуса барабана. Три вала, расположенные в зоне кольца, по которому движется стружечно-клеевая смесь, оснащены лопастями с эластичными лопатками на конце для перемешивания древесных частиц со связующим, подачу в зону осмоления и направления стружечно-клеевой смеси к участку выгрузки. Лопасти центрального вала выполнены короткими и оснащены наклонными лопатками для перемещения стружечно-клеевой смеси к участку выгрузки.

Конструкция смесителя позволяет улучшить процесс смешивания стружки связующим за счет более качественного нанесения связующего на единичную стружку.

На рис. 1 представлен поперечный разрез предлагаемой конструкции быстроходного смесителя для смешивания стружки со связующим, на который получен патент на изобретение [2].

Смеситель состоит из корпуса 1 барабана с загрузочным и выгрузочным люками и пяти валов: центрального вала 2, полого вала 5, смещенного от геометрической оси корпуса 1 барабана, и трех валов 6, расположенных в зоне кольца 9, по которому движется стружечно-клеевая смесь. На центральном валу 2 закреплены *короткие лопасти 3* для перемешивания древесных частиц (стружки) со связующим, оснащенные *пластичными прорезиненными наклонными лопатками 4*, служащими для перемещения стружечно-клеевой смеси к участку выгрузки из смесителя. Полый вал 5 имеет боковые отверстия, через которые подается связующее. Валы 6, расположенные в зоне кольца 9, по которому движется стружечно-клеевая смесь, оснащены лопастями 7 с лопатками 8 на конце и служат для перемешивания стружки со связующим, перемещения частиц в зону осмоления и направления стружечно-клеевой смеси к участку выгрузки из смесителя.

Быстроходный смеситель для смешивания древесных частиц со связующим работает следующим образом. Стружка через загрузочный люк попадает в корпус 1 барабана смесителя, при помощи коротких лопастей 3 центрального вала 2 отбрасывается к внутренней стенке корпуса 1 барабана смесителя и располагается там в виде кольца 9. Через боковые отверстия полого вала 5 подается связующее. При помощи лопастей 7, закрепленных на валах 6, осуществляется перемешивание стружки со связующим внутри кольца 9, после чего стружечно-клеевая смесь перемещается лопатками 4 и 8, установленными на концах лопастей 3 и 7 валов 2 и 6, к зоне выгрузки из смесителя.

На рис. 2 представлен общий вид опытного образца смесителя. Забивание отверстий мелкой стружкой или древесной пылью исключается предохранительными заслонками. При частоте вращения вала до 2000 мин⁻¹ жидкое связующее выбрасывается из этих отверстий и попадает на стружку.

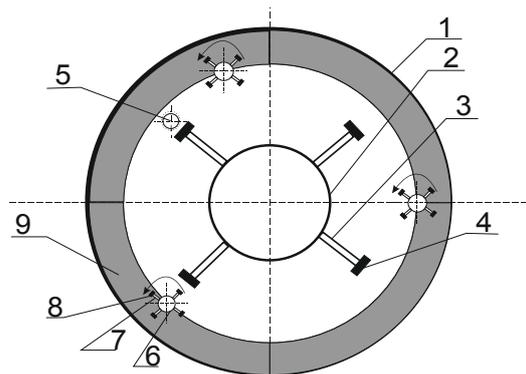


Рис. 1. Поперечный разрез быстроходного смесителя для смешивания стружки со связующим



Рис. 2. Вид опытного образца смесителя

Результаты экспериментальных исследований показали, что эффект нанесения связующего на стружку достигается не только перемазыванием стружек друг о друга (как в существующих смесителях моделей ДСМ-5 и ДСМ-7), но и в большей мере прямым нанесением связующего на поверхность стружек, что улучшает качество осмоления.

Для доказательства экономии связующего при смешивании в таком смесителе стружки были изготовлены четыре варианта трехслойных плит следующей характеристики: толщина, мм – 16,0; плотность, кг/м³ – 750; стружка игольчатая из смеси пород древесины – сосны, осины и березы в равном массовом соотношении; марка смолы – КФ-МТ-15 с содержанием свободного формальдегида, %

– 0,15; отвердитель – хлористый аммоний с содержанием (по сухому веществу) по слоям плиты, % – 0,5 (наружные слои) и 0,9 (внутренний слой).

Расход связующего по слоям плиты, % от массы абсолютно сухой стружки, в зависимости от варианта плит, составлял, % – 10, 11, 12 и 13 (наружные) и 7, 8, 9 и 10 (внутренние).

Режим горячего прессования плит был следующий: температура, °С – 170; давление прессования, МПа – 2,4 и продолжительность прессования, мин/мм готовой плиты – 0,35.

Определяли прочностные свойства плит – пределы прочности при изгибе и растяжении перпендикулярно пласти плиты. Результаты испытаний представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Результаты прочностных испытаний плит

№ варианта	Содержание связующего по слоям плиты, %		Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты, МПа
	наружные	внутренний		
1	10	7	15,2	0,27
2	11	8	16,0	0,28
3	12	9	18,3	0,33
4	13	10	18,2	0,33

Как видно из приведенных данных, прочность плит в 3 и 4 вариантах практически одинаковая, несмотря на то, что расход связующего по слоям плиты имел разницу в 1 %. Учитывая то, что в промышленных условиях плиты изготавливают с содержанием связующего по слоям плит в наружных и внутреннем соответственно 13 и 10 % [1], то можно сделать вывод, что внедрение в производство указанной конструкции смесителя повысит эффективность его работы с экономией примерно 1 % связующего, что сэкономит 7,7 % связующего для наружных слоев плит и 10,0 % – для внутреннего слоя.

Внедрение в производство предлагаемой конструкции смесителя повысит эффективность его работы с экономией 7,7 % связующего для наружных слоев плит и 10,0 % – для внутреннего слоя.

Список литературы

1. Шварцман Г. М., Щедро Д. А. Производство древесно-стружечных плит. М. : Лесная пр-сть, 1987. 318 с.
2. Разиньков Е. М., Кантиева Е. В., Мещерякова А. А. Патент на изобретение «Быстроходный смеситель для смешивания древесных частиц со связующим» № 2711617. Заявка № 2019114001. Приоритет изобретения 06 мая 2019 г. Дата гос. регистрации в Гос. реестре изобретений РФ 17 января 2020 г.

УДК 674-419.3

Е. Г. Соколова,

к. т. н., доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия, nikitinaek@rambler.ru

МОДИФИКАЦИЯ КАРБАМИДОМЕЛАМИНОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

Современные тенденции совершенствования технологии и свойств фанеры направлены на повышение эксплуатационных качеств готовой продукции, снижение расхода сырьевых и энергоресурсов, продолжительности основных технологических операций. Регулировать эти параметры возможно с помощью модификации клеевых композиций. Применение карбамидомеламиноформальдегидных смол обеспечивает получение фанеры повышенной водостойкости с низкими показателями токсичности. Целью данной работы является обоснование влияния аэросила технического в составе клеевых систем на основе карбамидомеламиноформальдегидных смол на эксплуатационные показатели фанеры.

Ключевые слова: фанера, карбамидомеламиноформальдегидная смола, модификация, аэросил технический, свойства клеев, прочность и токсичность готовой продукции.

E. G. Sokolova,

Ph. D., Associate Professor of the Department of Technology of Materials, Structures and Structures Made of Wood, St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia, nikitinaek@rambler.ru

MODIFICATION OF UREA-MELAMINE-FORMALDEHYDE RESINS

Modern trends in improving the technology and properties of plywood are aimed at improving the performance of finished products, reducing the consumption of raw materials and energy resources, and the duration of the main technological operations. It is possible to adjust these parameters by modifying the adhesive compositions. The use of urea-melamine-formaldehyde resins ensures the production of plywood with increased water resistance and low toxicity. The purpose of this work is to substantiate the effect of technical aerosil in the composition of adhesive systems based on urea-melamine-formaldehyde resins on the performance of plywood.

Keywords: plywood, urea-melamine-formaldehyde resin, modification, aerosil technical, properties of adhesives, strength and toxicity of finished products.

Современные тенденции совершенствования технологии и свойств фанеры направлены на повышение эксплуатационных качеств готовой продукции, снижение расхода сырьевых и энергоресурсов, продолжительности основных технологических операций.

Для склеивания шпона при производстве фанеры используют карбамидоформальдегидные, фенолоформальдегидные смолы. Приведенные смолы имеют свои недостатки. Карбамидомеламиноформальдегидные смолы в этой ситуации являются компромиссным решением, обеспечивая получение фанеры повышенной водостойкости с низкими показателями токсичности [1]. Регулировать технологические параметры клеевых систем и процесса склеивания возможно с помощью модификации клеевых композиций [2–4]. Аэросил технический – один из модификаторов синтетических смол широкого спектра действия [5]. Целью данной работы является обоснование влияния аэросила технического в составе клеевых систем на основе карбамидомеламиноформальдегидных смол на эксплуатационные показатели фанеры.

В химический состав аэросила входит алюминий фтористый технический (AlF_3), способный к взаимодействию с фторидами щелочных металлов с целью образования комплексных соединений, улучшающих структурирование полимера. Кислоты, входящие в состав аэросила, снижают pH до 2,0–3,5, поэтому могут быть катализаторами процесса отверждения меламинакарбамидоформальдегидных смол.

Начальные исследования были направлены на определение влияния аэросила технического на свойства клеевых композиций (табл.).

Т а б л и ц а

Влияние аэросила на показатели клеевых композиций

Состав клеевой композиции	Жизнеспособность клеевой композиции, ч	Вязкость клеевой композиции, с	Угол смачивания, град	Время желатинизации, с
Смола – 100 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас. ч.	6–8	85	65	98
Смола – 100 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас. ч. Аэросил – 5 мас.ч.	6–8	98	69	92
Смола – 100 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас. ч. Аэросил – 10 мас.ч.	6–8	109	72	78
Смола – 100 мас. ч. Хлористый аммоний – 1,5 мас. ч. Аэросил – 15 мас.ч.	6–8	125	77	65

Вязкость клея оказывает существенное влияние на его смачивающую способность, равномерность нанесения, расход компонентов. При введении в клей аэросила технического вязкость возрастает, сокращается время отверждения клея, обеспечивается более плотный клеевой шов с малыми усадочными напряжениями. С возрастанием вязкости увеличивается расход клея, что приводит к удорожанию готовой продукции.

Смачивающая способность определяется глубиной конденсации полимера. Клей с низкой вязкостью глубже проникает в полости древесины, возникают пустоты в клеевом слое, что также ведет к снижению прочности склеивания, одному из основных показателей клеевых соединений.

Дальнейшие эксперименты были направлены на определение влияния аэросила на эксплуатационные показатели готовой продукции. Для этого изготавливались экспериментальные образцы березовой фанеры, которые подвергались испытаниям на прочность и токсичность.

Показатели прочности и токсичности представлены на рис. 1, 2.

В результате исследований установлено влияние аэросила технического на технологические и эксплуатационные показатели клеевых композиций. Полученные результаты свидетельствуют о возможности его применения в составе карбамидомеламиноформальдегидных смол до 15 мас. ч. от

общей массы смолы. Введение данного модификатора приводит к повышению эксплуатационных показателей готовой продукции: прочность склеивания увеличивается, токсичность уменьшается.

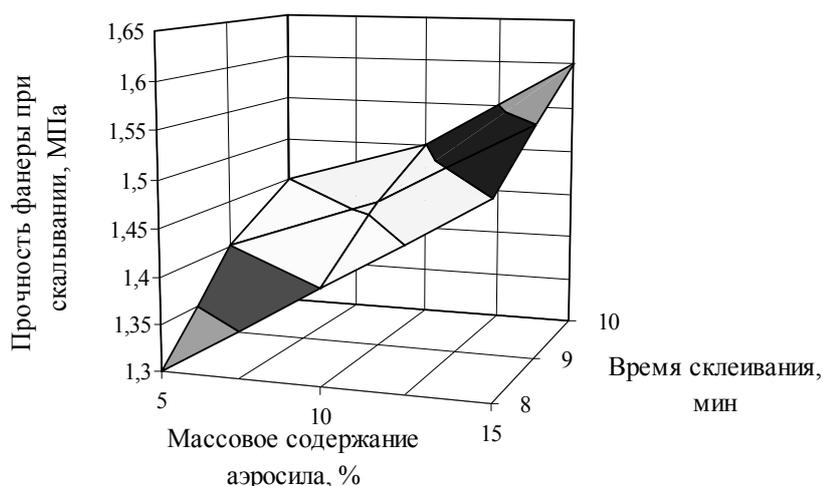


Рис. 1. Влияние аэросила на время склеивания и прочность фанеры на основе карбамидомеламиноформальдегидной смолы

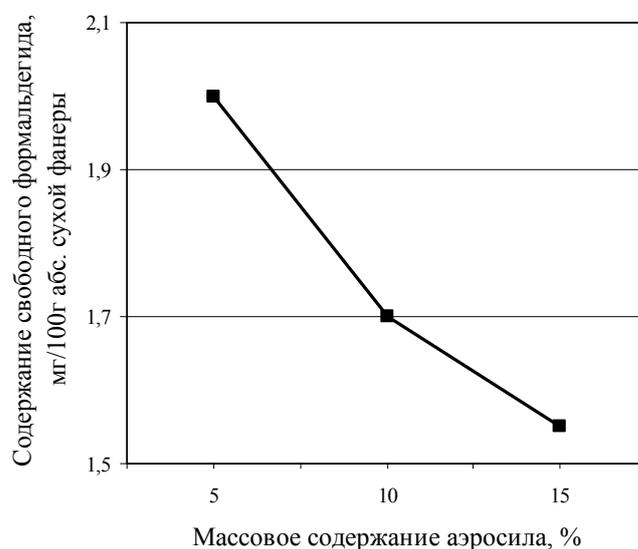


Рис. 2. Влияние аэросила технического на содержание свободного формальдегида в готовой продукции

Список литературы

1. Кондратьев В. П., Чубов А. Б., Соколова Е. Г. Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. № 194. С. 116–124.
2. Варанкина Г. С., Брутян К. Г., Чубинский А. Н. Модифицированные карбамидоформальдегидные и фенолоформальдегидные клеи для древесно-стружечных плит и фанеры // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 6. С. 14–19.
3. Варанкина Г. С., Русаков Д. С., Соколова Е. Г., Чубинский А. Н. Исследование порошкообразных фенолоформальдегидных смол для изготовления фанеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 151–166. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.151-166.
4. Соколова Е. Г. Модификация фенолоформальдегидной смолы меламинакарбамидоформальдегидной смолой для склеивания фанеры // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2(38). С. 111–115.
5. Соколова Е. Г., Русаков Д. С., Чубинский А. Н., Варанкина Г. С., Угрюмов С. А. Оценка эксплуатационных свойств модифицированных синтетических смол и клееной фанеры на их основе // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 9. С. 10–15. DOI: 10.31044/1813-7008-2020-0-9-10-15.

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЗАГОТОВКИ И ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАШИН

Изложены основы энергоэффективной технологии заготовки древесины, управляемыми составляющими которых являются способы, приемы и сами машины или системы машин заготовки древесины. Разработано по контрактам двух федеральных целевых программ министерства образования и науки РФ. Апробация разработанных энергоэффективных способов, соответствующих требованиям правил заготовки древесины, выполнена с использованием систем машин «харвестер-форвардер» в рамках промышленных экспериментов на лесных участках Пермского края и Свердловской области. Способы, для которых еще не созданы машины или системы (например, заготовка и обработка дерева в вертикальном положении), апробированы на симуляторах харвестера/форвардера Komatsu.

Ключевые слова: заготовка и переработка древесины, технические функции, удельная энергоемкость, оптимизация, способы, приемы, комплектование систем машин.

S. B. Yakimovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor. Department of Forest Management, Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russia,
yakimovichsb@m.usfeu.ru

EFFECTIVE METHODS OF HARVESTING AND PROCESSING WOOD AND THE PRINCIPLES OF COMPLETING MACHINES

The basics of energy-efficient wood harvesting technology are described, the controlled components of which are the methods, techniques, and the machines themselves or systems of wood harvesting machines. Developed under contracts of two federal target programs of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Testing of the developed energy-efficient methods that meet the requirements of the rules of wood harvesting was carried out using harvester-forwarder machine systems as part of industrial experiments on forest areas of the Perm Territory and the Sverdlovsk region. Methods for which machines or systems have not yet been created (for example, harvesting and processing wood in an upright position) have been tested on Komatsu harvester/forwarder simulators.

Keywords: harvesting and processing of wood, technical functions, specific energy consumption, optimization, methods, techniques, completion of machine systems.

Способы заготовки древесины ограничиваются нормативными требованиями по охране окружающей среды, в частности правил заготовки древесины и правил лесовосстановления в актуальной редакции, и технологическими требованиями [1]. Технолог в ходе эксплуатации реализует систему неистощительного (сохранности природной среды) и энергоэффективного по критерию удельной энергоемкости (производительного) лесопользования [2, 3]. Оптимизация в рамках этих ограничений и требований определяет наиболее эффективные способы и системы машин. По результатам выполненной оптимизации [2] представлены эффективные способы заготовки и обработки древесины на основе конечных состояний предмета труда (ПТ) заготовки древесины, включая его размещение. Размещение конечных состояний предмета труда относительно фазы транспорта (сортимент на лесосеке; хлыст, доставленный на лесопромышленный склад, биржу сырья и иные конечные состояния) классифицирует по общепринятым подходам способ заготовки и обработки древесины – деревьями, хлыстами, сортиментами, пиломатериалом, щепой и так далее. В этой связи рекомендации по способам заготовки – хлыстовой, сортиментный и пр. – эквивалентны рекомендациям по степени совмещения и размещению технических функций и конечных состояний ПТ заготовки и обработки древесины. Здесь способы или процессы понимаются как совокупность, обрабатывающе-переместительных и транспортных действий (технических функций), определяющих изменение формы (размеров, объема) и положения ПТ и получаемых вследствие этого состояний предмета труда в определенной позиции маршрута технологического процесса (ТП) [2, 4].

Равнозначными по удельной энергоемкости являются все технологические процессы (способы) с одинаковыми конечными состояниями предмета труда заготовки и обработки древесины, получаемых в одинаковой степени компактности на лесосеке или складе, и для которых используется одни и те же способы транспортировки ПТ (волочение, либо полупогруженное или полностью погруженное состояние ПТ) и одни и те же транспортные средства (колесные, гусеничные и др.), определяющие значение суммарного сопротивления. Это такие способы заготовки и обработки древесины, для которых объем предмета труда не изменяется в ходе транспортировки, трелевки и т. п. К ним относятся и два предельных:

1) обработка ПТ до его максимально возможного конечного состояния (например, пиломатериал) в координатах начальной позиции маршрута (например, стоящего дерева) и последующая транспортировка обработанного ПТ в конечную позицию маршрута ТП;

2) транспортировка деревьев в конечную точку маршрута и там его обработка до конечного состояния (при этом должны быть полностью исключены различного рода потери или отделения компонентов дерева в ходе его перемещения). То есть, либо полная обработка на лесосеке, либо альтернативно – на лесопромышленном складе, с последующей реализацией всех полученных при обработке компонентов, объем которых равен объему сырья доставленного для обработки.

Подобные способы определяют также совмещение транспортных и сортировочных действий, когда в процессе сортировки и одновременно транспортировки объем ПТ (например, щепы и др.) остается постоянным. Перечисленные процессы имеют минимальную удельную энергоемкость и наиболее эффективный способ заготовки и обработки древесины по критерию удельной энергоемкости определяются следующими принципами:

1) максимальная степень компактности размещения обрабатывающе-переместительных действий;

2) оставление в координатах пня не используемых в дальнейшем для потребительских целей (кроме целей возобновления) компонентов предмета труда;

3) обработка и реализация потребителю абсолютно всех доставленных компонентов предмета труда заготовки и обработки древесины;

4) исключение обрабатывающих и перевалочных операций в промежуточных позициях маршрута технологического процесса.

Варианты обработки ПТ на лесосеке или лесопромышленном складе в сквозных процессах принадлежат к более высокому уровню иерархии – «лесосека – лесопромышленный склад» и являются идентичными по критерию удельной энергоемкости при одинаковой степени компактности размещения обрабатывающих машин. Здесь также целесообразно наиболее компактное размещение обрабатывающе-переместительных функций. Если одинаковая степень компактности размещения обрабатывающих машин для одного и того же конечного состояния ПТ может быть обеспечена как для условий лесосеки, так и лесопромышленного склада, то дальнейший выбор позиции (места) обработки и размещения конечного состояния ПТ выполняется по следующим критериям, переведенным в ранг ограничений или требований.

1. Обязательность полного и эффективного использования (реализации) абсолютно всех компонентов предмета труда: дерева, хлыста или сортимента в конечной точке маршрута ТП (погрузочном пункте, лесопромышленном складе) при любых способах (хлыстовой, деревьями и др.) обработки ПТ. Однако практически потерь и отходов биомассы при ее доставке для обработки в конечную позицию маршрута избежать невозможно, за исключением транспорта древесины от пня дирижаблями (вертолетами).

2. Лесоводственными требованиями и обеспечивающими наиболее эффективное лесовозобновление, не ухудшение бонитета, исключение проблемы вымораживаемости подроста, смены пород, и другими аспектами, определенными в правилах заготовки древесины и требованиях различных систем сертификации.

3. Экологическими ограничениями на сохранность почв в связи с колееобразованием и уплотнением.

4. Достигнутым уровнем техногенеза лесозаготовительной техники (степенью совершенства по совокупности критериев) для обработки ПТ в координатах стоящего дерева (лесные комбайны и др.) и в координатах погрузочного пункта (процессоры) или в координатах лесопромышленного склада (машины циклично-поточной технологии). Иначе приоритет отдается тому ТП, комплект машин (машина) которого по совокупности показателей (свертке критериев) окажется эффективнее.

5. Социально-экономическими факторами, определяемыми либо наличием лесопромышленного склада и лесных стационарных поселков и, сопутствующих им, необходимостью содержания «коммуналки», налогов на недвижимость, платы за землю и пр.; либо при обработке ПТ в условиях лесосеки – наличием вахтовых поселков с временными неудобствами в условиях вахт, затратами на доставку персонала и постоянным проживанием персонала в условиях качества жизни города.

Для практических приложений перечисленные ограничения определяют способ заготовки и полной обработки древесины в координатах поваленного дерева с оставлением там же отходов без их транспортировки и дополнительных перемещений как наиболее эффективный по удельной энергоемкости. Обеспечивается это посредством комплектов машин, реализующих способы заготовки сортиментов и (или) пиломатериалов – харвестер-форвардер, моторный инструмент – трелевочное

средство и мобильные лесопильные установки. Теоретически, представленное заключение снимает пространственную неопределенность позиций размещения обрабатывающе-переместительных функций. Исходя из физической сущности процесса и энергетических показателей, однозначно определяется, что 1) процессы совершенно равнозначны при получении конечного состояния ПТ и в координатах растущего дерева и в координатах любой точки лесопромышленного склада при вертикальном положении дерева, далее 2) процессы, обрабатывающе-переместительные функции которых реализуются на лесосеке у пня в площади, покрываемой поваленным деревом, а на складе в любой позиции лесопромышленного склада в площади, покрываемой лежащим деревом. Далее этот список продолжается по аналогии в направлении менее эффективных уровней иерархии. Равнозначность процессов обеспечивается одинаковой степенью компактности размещения обрабатывающе-переместительных функций и обязательностью исключения потерь древесины при транспортировке, а также реализации всех компонентов ПТ, доставленных для обработки.

Разработанные патентно защищенные способы [5–7] на основе изложенного подхода и с учетом достигнутого уровня техногенеза апробированы опытно промышленными рубками или на тренажере–симуляторе. Первые два внедрены в производство.

В соответствии с представленным выше размещением обрабатывающе-переместительных функций, выстраивается ряд энергосберегающих машин заготовки и обработки древесины в направлении уменьшения эффективности, который реализуется на основе принципов комплектования и размещения комплектов машин по маршруту технологического процесса заготовки и обработки древесины. Основой для комплектования машин является наиболее эффективное размещение обрабатывающе-переместительных операций (функций) исходя из выбранного критерия в пространстве-времени маршрута ТП.

Из изложенного и рекомендаций по способам, изложенным выше, формулируются следующие принципы комплектования:

1) комплект машин формируется из перечня наиболее компактных по размещению обрабатывающе-переместительных функций: на лесосеке – (лесные комбайны с обработкой стоящих деревьев без приземления, далее харвадеры, харвестеры +прицепы или форвадеры, моторный инструмент + транспортные средства), на лесопромышленном складе – машины циклично поточной технологии и групповой обработки предмета труда.

2) в комплект включаются обрабатывающе-переместительные машины, которые реализуют операции в позициях максимально приближенных к дереву или к конечной точке маршрута технологического процесса (например, лесопромышленный склад);

3) в комплект включаются обрабатывающе-переместительные машины, которые в большей степени реализуют требование «дерево и полученные из него компоненты не должны приземляться (лесные комбайны, харвадеры, валочно-пакетирующие машины с прицепами)»;

4) транспорт древесины реализуется без отделения или потерь компонентов ПТ, то есть обрабатывающе-переместительные операции, кроме операций в начальной и конечной позиции маршрута ТП, не допускаются, а также исключаются транспортные машины, которые повреждают, отделяют и теряют древесину при ее перемещении, например трелевочные трактора при волочении или трелевке пачки в полупогруженном состоянии (сломыши, обдиры и так далее);

5) в комплекты не включаются машины для дополнительной перевалки древесины (различные погрузочно-разгрузочные устройства).

6) комплект «харвестер-форвардер» формируется с учетом стохастичности факторов, исходя из условия синхронизации по техническим параметрам машин, размерным и таксационным характеристикам лесосек и ограничениям на число проходов по одному следу по рейсовым нагрузкам форвардеров [8].

На основе перечисленных принципов формулируются обобщенные рекомендации, и выстраивается функциональный ряд машин заготовки и обработки древесины по критерию удельной энергоемкости от более эффективных к менее эффективным. Данный ряд представляется следующим образом:

– лесные комбайны или моторные инструменты, ведущие обработку в координатах вертикально расположенного дерева на лесосеке или лесопромышленном складе, и транспортные машины для сырья или полученной продукции;

– машины заготовки и обработки древесины или моторный инструмент, выполняющие обработку в пределах площади, покрываемой лежащим деревом на лесосеке (харвадеры, харвестеры + форвадеры, процессоры и т. д.) или лесопромышленном складе (машины циклично-поточной технологии или групповой обработки предмета труда) и так далее, в направлении большей распределённости по маршруту обрабатывающе-переместительных функций;

– наименее эффективным по критерию удельной энергоемкости является процесс с распределенными по маршруту обрабатывающе-переместительными функциями, представляемыми комплектом однооперационных машин (валочная, трелевочная, сучкорезная и погрузочная машины) или комбайнов, совмещающих обработку ПТ с его перемещением, в ходе которого отделенные отходы теряются или сбрасываются с машины.

Существующие серийные комплекты машин: валочно-пакетирующая машина + прицеп или (транспортная) трелевочная машина, харвестер + прицеп или форвадер и моторный инструмент – рекомендуется размещать с максимальным сдвигом к начальному состоянию процесса (к дереву) или наоборот, сдвигать к конечному (например, пиломатериал с сопутствующими компонентами ПТ) в той же степени компактности, что и у дерева. Исключаются без существенной необходимости промежуточные площадки, погрузочные пункты и другие аналогичные объекты, вызывающие дополнительные перевалки и дополнительные потерянны компоненты древесины. Для любых машин, реализующих режим перемещения с одной рабочей позиции на другую и выполняющих технологические действия (срезание и пакетирование деревьев, сбор и пакетирование деревьев, хлыстов, сортиментов и прочей лесопродукции) на рабочей позиции, может быть выполнено совмещение перемещений машины и обрабатывающе-переместительных действий рабочих органов во времени. Машины, совмещающие обрабатывающе-переместительные и транспортные операции, имеют повышенную производительность сравнительно с традиционными, работающими по циклу раздельного перемещения и обработки, и являются наилучшими по удельной энергоемкости.

Список литературы

1. Yakimovich, S. B., Teterina, M. A. Ways of conservation the natural environment and the intensification of logging round timber // IOP Conf. Series: EarthandEnvironmentalScience. V. 232. P. 9, 2019. DOI:10.1088/1755-1315/272/3/032026.
2. Якимович С. Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Лесной Вестник (Issuenumber 2542-1468). 2003. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. № 5. С. 96–103.
3. Якимович С. Б., Ефимов Ю. В. Оценка эффективности систем маши и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога – удельной энергоемкости // Лесной Вестник (Issuenumber 2542-1468). 2020. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. Т 24. № 1. С. 59–68.
4. Якимович С. Б. Оптимальное управление процессами лесозаготовок: уравнения состояний // Лесной Вестник (Issuenumber 2542-1468). 2003. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. № 3. С. 149–160.
5. Пат. на изобретение 2365093, Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа / Якимович С. Б. (RU), Груздев В. В. (RU), Крюков В. Н. (RU), Тетерина М. А. (RU). № 2008107195/12; заявл. 26.02.07; опубли. 27.08.2009, Бюл. №24. 2 с.
6. Пат. на изобретение 2467559, Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа с сохранением молодняка / Якимович С. Б. (RU), Груздев В. В. (RU), Свириденков А. Н. (RU), Тетерина М. А. (RU), Минай А. Я. (RU), Столяров А. М. (RU). № 2011125457/13; заявл. 20.06.2011; опубли. 27.11.2012, Бюл. №33. 3 с.
7. Пат. на изобретение №2741351, Российская Федерация, МПК А01G23/02. Способ заготовки сортиментов / Якимович С. Б. (RU), Савиных Т. И. (RU), Савиных М. А. (RU). № 2020117709, заявл. 18.05.2020; опубли. 20.01.2021, Бюл. №3. 9 с.: ил.
8. Якимович С. Б., Тетерина М. А. Моделирование стохастических обрабатывающее-транспортных систем с перемещаемыми запасами // Лесной Вестник (Issuenumber 2542-1468). 2007. М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана. № 6. С. 71–76.



ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 004.75, 004.94

А. М. Заяц,

к. т. н., профессор кафедры ИСиТФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет» им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург,
zamfta@yandex.ru

С. П. Хабаров,

к. т. н., доцент кафедры ИСиТФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет» им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург,
serg.habarov@mail.ru

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В статье рассматриваются вопросы моделирования информационно-измерительного комплекса мониторинга лесных экосистем, на базе беспроводных сенсорных сетей. Обоснована необходимость применения средств аналитического и имитационного моделирования для исследования таких сетей. Рассматриваются марковские процессы и среда имитационного моделирования OMNeT++.

Ключевые слова: мониторинг лесных территорий, беспроводные сенсорные сети, моделирование.

A. M. Zayats,

Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of ISIT, S. M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg,
zamfta@yandex.ru

S. P. Khabarov,

Ph. D., Associate Professor of the Department of ISIT of the S. M. Kirov St. Petersburg State Forest Engineering University, St. Petersburg,
serg.habarov@mail.ru

APPROACH TO MODELING WIRELESS NETWORKS SENSOR NETWORKS FOREST AREA MONITORING SYSTEMS

The article deals with the issues of modeling the information and measurement complex for monitoring forest ecosystems, based on wireless sensor networks. The necessity of using analytical and simulation modeling tools for the study of such networks is justified. Markov processes and the OMNeT++ simulation environment are considered.

Keywords: monitoring of forest areas, wireless sensor networks, modeling.

При рачительном ведении лесного хозяйства задачи наблюдения, анализа состояния и оценки влияния различных факторов на лесные экосистемы всегда актуальны. Эти задачи решались и решаются различными способами и средствами мониторинга лесных территорий.

Одним из наиболее эффективных способов, обеспечивающим не только собственно задачи мониторинга, но и снижение риска негативного влияния антропогенных факторов на лесные экосистемы является применение беспроводных сенсорных сетей (БСС), которые могут располагаться на больших территориях и представляют собой распределенные информационно-измерительные комплексы [1, 2].

Возможность развертывания сети в сложных условиях, на больших территориях с различными ландшафтными и природными особенностями, где обычно невозможна прокладка проводных систем делают технологию БСС хорошо адаптируемой для мониторинга лесных экосистем.

При реализации таких проектов необходимо учитывать множество факторов различного характера и происхождения.

Определить степень воздействия таких факторов в реальных условиях сложная и дорогостоящая задача. Создание стенда для тестирования БСС не решает задачу ее оценки, так как многие факторы влияют на результаты эксперимента зачастую непредсказуемо, поскольку их учет должен осуществляться комплексно при взаимозависимости друг от друга.

В этих условиях наиболее рациональным является моделирование, позволяющее с высокой степенью достоверности оценить влияние различных факторов на функционирование сети.

На предпроектном этапе разработки БСС важно определить оценочные значения показателей эффективности для чего можно использовать хорошо апробированный аппарат марковских процессов.

В работах [3, 4] представлена модель узла БСС, в которой формируются заявки на обслуживание следующих пакетов (рис.):

- пакеты, от датчиков БСС поступающие на обслуживание в микропроцессоры ее узлов;
- пакеты, поступающие от других узлов сети для ретрансляции;
- пакеты, прошедшие обслуживание в микропроцессоре узла;
- выходной поток пакетов с узлов на шлюз.

Обслуживающими приборами в модели являются микропроцессоры (МП) и приемопередатчики (ПП) узлов. Под обслуживанием заявок понимается процесс параллельно-последовательной их обработки обслуживающими приборами.

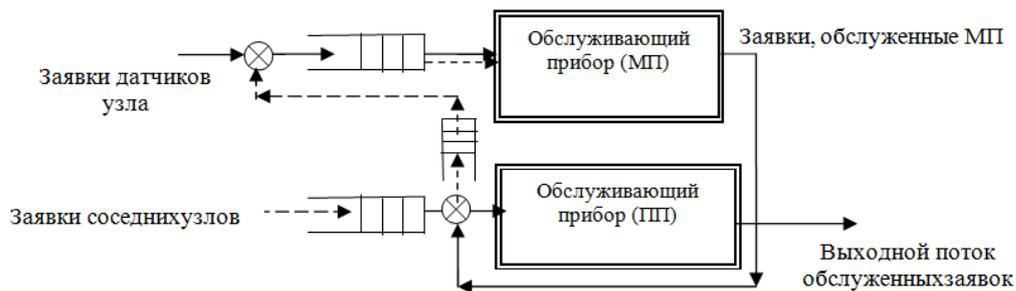


Рис. Модель узла как система массового обслуживания

Вся сеть представлена многоканальной, многофазной системой массового обслуживания. Решение задачи исследования такой системы, с варьированием параметра N (число узлов БСС), осуществлено получением формальных выражений моделирующих функционирование G -фазной СМО. Для этого разработан алгоритм, автоматизирующий процесс определения показателей эффективности функционирования БСС при изменяющихся ее параметрах.

Эта задача решалась в следующей последовательности [5]:

1. Получены аналитическое выражение для определения количества состояний исследуемого процесса.
2. Разработан порядок нумерации состояний в модели.
3. Выведено выражение, связывающее пространственные координаты состояний с их номерами.
4. Разработана методика оценки эффективности БСС.
5. Разработан алгоритм определения стационарных вероятностей марковской цепи и получения значений показателей эффективности БСС.

Анализ показал, что основным инструментом анализа и исследования БСС, на этапе непосредственного проектирования, является имитационное моделирование, позволяющее выбрать ее структуру, определить связность узлов, способы маршрутизации и т. п.

В настоящее время имеется достаточное количество имитационных сред обеспечивающих решение поставленных задач.

При исследовании и построении имитационных моделей возникает вопрос о выборе инструментария. При этом важными качествами для создания эффективной модели являются:

- детальная реализация протоколов беспроводных самоорганизующихся сетей;
- возможность написания и подключения модулей (узлов);
- возможность изменения параметров моделирования;
- платформенная независимость;
- развитый графический интерфейс;
- доступность продукта и его цена;

Исходя из отмеченных требований, наиболее востребованной средой имитационного моделирования являются OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++) – расширяемый, модульный фреймворк, на основе компонентов библиотеки C++, используемый для построения моделей сети [6, 7]. Он имеет детальную реализацию протоколов, начиная с физического и канального уровней, и пред-

ставляет собой симулятор дискретных событий. OMNeT++ бесплатный для некоммерческого пользования симулятор, основанный на Eclipse с графическими инструментами Castalia.

Наличие в OMNeT++ развитого графического интерфейса, как для построения моделей, так и для анализа полученных результатов, а также свободное распространение и подробная документация делают его привлекательным для исследования сетей.

В нем при создании модели работы сети достаточно подробного описания типичных узлов сети и алгоритмов их взаимодействия. В среде имитационного моделирования работа беспроводной сенсорной сети реализуется с использованием принципов агентного моделирования.

Программа OMNeT++ подходит для моделирования любой сети, основой которой является дискретное событие. Процесс удобно отображается в виде объектов, обменивающимися сообщениями. Модели программы собираются из компонентов множественного использования, называемых модулями. Модули можно использовать и объединять много раз. Они соединяются между собой с помощью портов, и объединяются в составные модули с использованием высокоуровневого языка программирования NED. Модули связываются посредством передачи сообщений, которые содержат произвольные структуры данных. Они могут передавать сообщения по определенным портам и соединениям к серверу или непосредственно друг другу.

Программа OMNeT++ имеет несложный для освоения интерфейс, бесплатна для использования, в ней реализованы основные функции сетевого уровня протокола ZigBee, ее применение оправдано для моделирования и исследования беспроводных сенсорных сетей.

В работах [8, 9] приведены модели БСС в среде OMNeT++, которые могут иметь произвольное количество узлов, а также позволяют определять необходимое количество точек доступа и места размещения для обеспечения полноценного покрытия мониторинговой области лесной территории.

Список литературы

1. Заяц А. М., Логачев А. А. Информационная система мониторинга лесов и лесных пожаров с использованием беспроводных сенсорных сетей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб. :СПбГЛТУ, 2016. № 216. С. 241–255.
2. Заяц А. М., Думов М. И. Обзор беспроводных сенсорных сетей и технологий информационных систем оценки лесной пожароопасности и мониторинга лесов // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. трудов. СПб. : СПбГЛТУ, 2016. № 8. С. 5–9.
3. Заяц А. М., Игнатьева Т. И. Математическая модель функционирования беспроводной сенсорной сети // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. трудов. СПб.: СПбГЛТУ, 2019. № 10. С. 3–10.
4. Заяц А. М., Игнатьева Т. И. Модельное представление узлов беспроводной сенсорной сети // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 11–12 ноября 2020 г. СПб. : Изд-во «СИНЭЛ», 2020. С. 210.
5. Заяц А. М., Игнатьева Т. И. Алгоритм определения показателей эффективности беспроводных сенсорных сетей // Информационные системы и технологии: теория и практика : сб. науч. трудов. СПб. : СПбГЛТУ, 2021. № 13.
6. Заяц А. М., Хабаров С. П. Настройка беспроводных соединений в системах мониторинга лесных территорий // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы третьей международной НТК / под ред. В. М. Гедьо, 2018. С. 80–83.
7. Хабаров С. П. Моделирование Ethernet сетей в среде OMNeT++ INET framework // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 462–472.
8. Заяц А. М., Хабаров С. П. Исследование алгоритма работы распределенной системы мониторинга лесных территорий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 229.
9. Заяц А. М., Хабаров С. П. Построение моделей беспроводных сетей с учетом энергопотребления и мобильности ее узлов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 252–264.

УДК 674.028.9, 620.179.161; 66.33.31; 44.31.01

Ар. А. Федяев,

к. т. н., доцент кафедры ТМКиСД, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», г. Санкт-Петербург, РФ,
art_fedyayev@mail.ru

А. Н. Чубинский,

д. т. н., зав. кафедрой ТМКиСД, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, РФ,
a.n.chubinsky@gmail.com

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ ПРОДУКЦИИ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В статье представлены результаты исследований с применением неразрушающих методов контроля свойств продукции из древесины. В частности, для определения плотности древесины с целью прогнозирования ее прочности, а также для поиска внутренних скрытых дефектных мест, предлагается применение ультразвуковых методов неразрушающего контроля. Оценка тепловых свойств древесины, а также качества монтажа и сборки ограждающих конструкций из древесины возможна с получением инфракрасного изображения объектов – тепловидения.

Ключевые слова: клееные деревянные конструкции, тепловидение, ультразвук, тепловая защита, скрытые дефектные места.

Ar. A. Fedyaev,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg State Technical University, Saint-Petersburg, Russian Federation,

art_fedyayev@mail.ru

A. N. Chubinsky,

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of technology of wooden materials and structures, Saint-Petersburg State Technical University, Saint-Petersburg,

a.n.chubinsky@gmail.com

NON-DESTRUCTIVE METHODS OF CONTROL OF PRODUCTS FROM WOOD

The article presents the results of studies using non-destructive methods for controlling the properties of wood products. In particular, to determine the density of wood in order to predict its strength, as well as to search for internal hidden defects, it is proposed to use ultrasonic methods for non-destructive testing. Assessment of the thermal properties of wood, as well as the quality of installation and assembly of enclosing structures made of wood, is possible with obtaining an infrared image of objects - thermal imaging.

Keywords: glued wooden structures, thermal imaging, ultrasound, thermal protection, hidden defects.

К деревянным конструкциям в зависимости от их дальнейшего назначения предъявляют различные требования, связанные в основном с их прочностью соединений, водостойкостью, стойкостью к атмосферным воздействиям, тепловой защите и т. п.

Основное распространение в производстве получили разрушающие методы контроля качества вследствие их относительной простоты и невысоких материальных затрат по сравнению с неразрушающими методами. Проведение испытаний разрушающими методами контроля позволяют провести статистический контроль случайной выборки образцов без определения физико-механических показателей каждой единицы продукции. Неразрушающие методы контроля способны произвести контроль всей партии полуфабрикатов, и что важно, в режиме реального времени [1]. Такие методы можно применять как для оценки качества готовой продукции, так и на ранних стадиях сортировки материалов, например, перед склеиванием.

Определение плотности древесины при сортировке сухих пиломатериалов или ламелей перед склеиванием позволяет получать клееные материалы требуемой прочности [2]. Для реализации технологии селективного подхода к склеиванию клееных брусков и брусьев необходим метод, позволяющий в режиме реального времени в процессе обработки регистрировать изменение плотности древесины по объему всей ламели. Использование традиционного метода определения плотности по массе ламели позволяет определить ее среднее значение, которое по длине сортамента может оказаться ниже критического значения, что приведет к изготовлению дефектной продукции. Кроме того, в процессе изготовления клееных деревянных конструкций вследствие нарушения технологии их изготовления могут образовываться скрытые непроклеенные места, способные привести к разрушению всей конструкции.

Оценка качества склеивания, а также сплошности клеевых соединений может быть проведена методами ультразвуковой диагностики [3]. Падение уровня ультразвукового давления свидетельствует о наличии пустот в клеевом слое (рис. 1). Наличие подобных дефектов можно определять по А-сканам ультразвукового дефектоскопа, рис. 2.



Рис. 1. Клееные материалы, имеющие дефекты склеивания:

а – пример нарушения технологии сборки ламелей клееного бруска; б – расслаивание ламелей по клеевому соединению

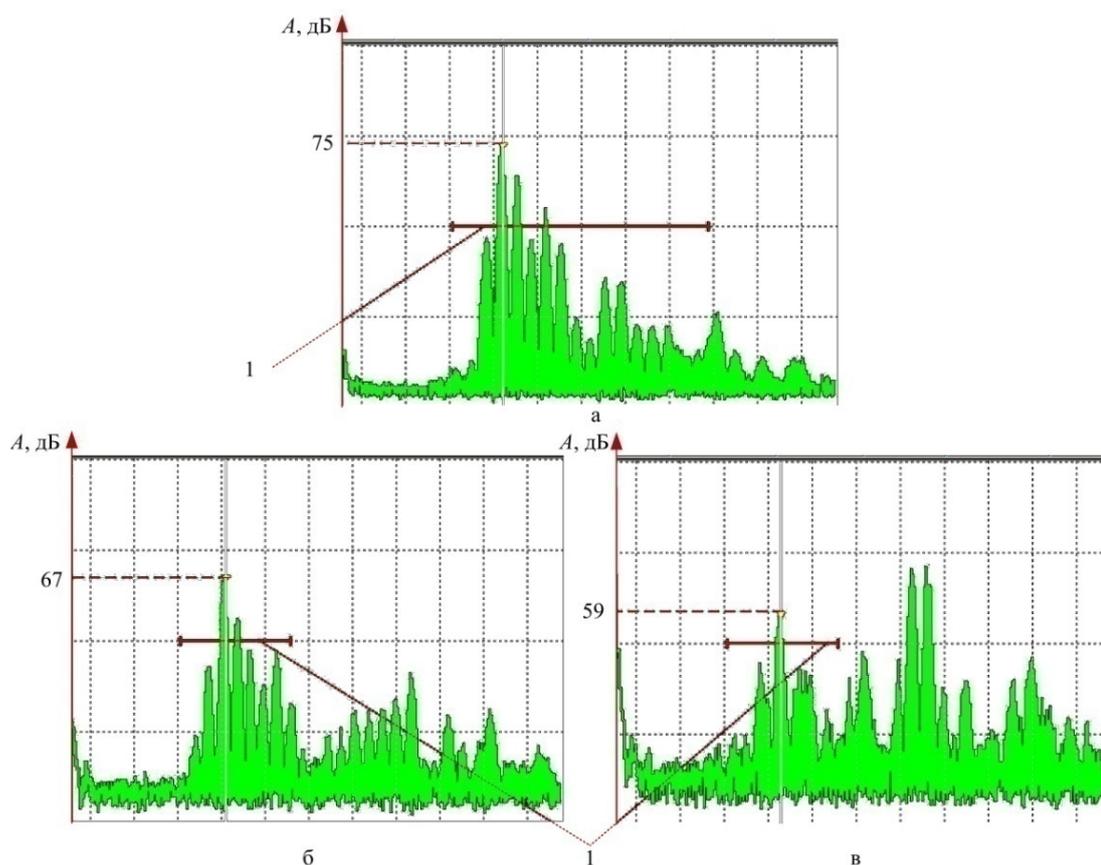


Рис. 2. А-сканы звукового импульса, прошедшего через клееный брусок из древесины плотностью 525 кг/м³:
 а – бездефектная область; б – область клевого соединения с трещиной глубиной 0,5 мм;
 в – глубиной 1,0 мм; 1 – строб импульс

Исследования последних лет в области переработки древесины и древесных материалов направлены преимущественно на определение и прогнозирование физико-механических свойств продукции из древесины. В то же время, недостаточно внимания уделяется вопросам исследования эффективности конструкций и сооружений из древесины в процессе эксплуатации. Энергетическая эффективность зданий и сооружений во многом зависит от ряда факторов, к которым относят климатические, морфометрические и ряд других. Энергоэффективность объектов во многом зависит и от свойств материалов, из которых изготовлены элементы ограждающих конструкций. Оценка фактических тепловых потерь через эти элементы с целью выполнения в последующем корректирующих расчётов может повысить не только защиту зданий и сооружений, но и снизить затраты на энергоносители, используемые в системах отопления.

Существующие расчётные методы оценки эффективности различных видов ограждающих конструкций можно использовать для определения усредненных тепловых свойств различных материалов. Оценка тепловых потерь по стандартным методикам нередко не учитывает особенности изготовления различных конструкций, их монтажа и условий эксплуатации, характеристики материалов. Кроме того, высока вероятность ошибки в оценке конструкций, выполненной по стандартным методикам с использованием обобщенной справочной информации, не учитывающей реальные тепловые свойства и размеры древесины. Поэтому, обоснование размеров элементов эффективных огра-

ждающих конструкций деревянных домов заводского изготовления с использованием тепловидения для снижения потерь энергии через ограждающие конструкции представляется актуальным.

Распределение температуры в процентном соотношении по поверхности стен, в соответствии с контурами «К1» на термоснимках соответствующих стен, показаны на рис. 3 [4]. Как видно из графика на рис. 3в, в зависимости от наличия различных дефектных зон и нарушения сплошности ограждающей конструкции, распределение температурного диапазона на поверхности стены находится в достаточно широком диапазоне от 17,7 до 22,3 °С при температуре наружного воздуха 0 °С. Отмеченный разброс температур позволяет сделать вывод о вероятности в условиях отрицательных температур (зимние месяцы) еще большего снижения температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций и, как следствие, понижения температуры внутреннего воздуха в помещении и даже промерзания элементов стен.

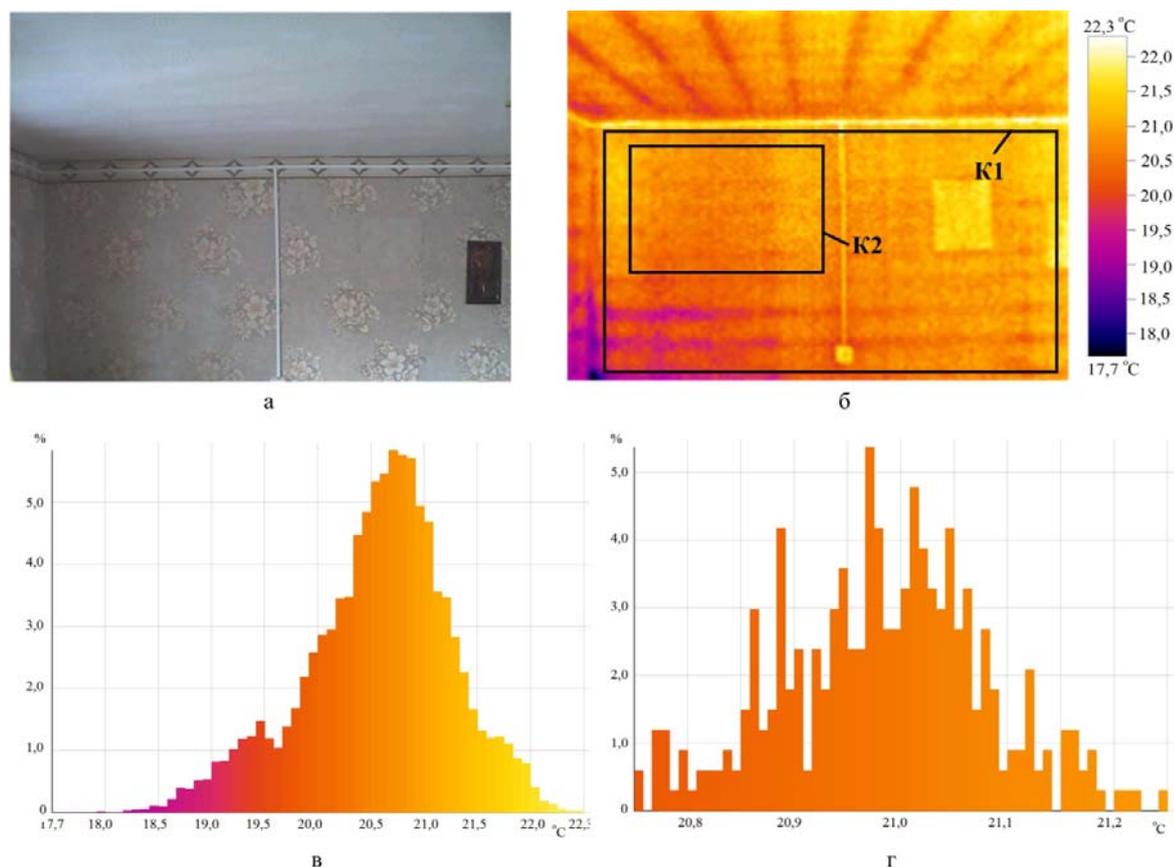


Рис. 3. Изображение ограждающей конструкции стены деревянного дома заводского изготовления с толщиной бруса 150 мм, в натуральном и инфракрасном спектрах, а также процентное распределение температур на его поверхности:

а – фотография объекта; б – термограмма объекта; в – процентное распределение температур на поверхности контура К1; г – процентное распределение температур на поверхности контура К2

Список литературы

1. Чубинский А. Н., Тамби А. А., Варанкина Г. С., Федяев А. А., Чубинский М. А., Швец В. Л., Чаузов К. В. Физические методы испытаний древесины. СПб. : СПбГЛТУ, 2015. 125 с.
2. Федяев А. А., Федяева Н. Ю., Шумякова Н., Кушнерев В. О. Повышение эффективности клееных деревянных конструкций // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 217, СПб. : СПбГЛТУ, 2016. С. 219–228.
3. Чубинский А. Н., Федяев А. А., Паврос К. С., Теплякова А. В. Прогнозирование прочности склеивания строганных пиломатериалов методом ультразвуковой диагностики // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 7. С. 109–115.
4. Федяев А. А., Чубинский А. Н., Федяев А. А., Федяев П. А., Танковская Н. Ю. Обоснование необходимости проведения тепловизионного обследования конструкций и сооружений из древесины // Современные проблемы переработки древесины : материалы междунар. науч.-практ. конф. СПб. : СПбГЛТУ, 2014. С. 23–26.



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ

УДК 630.243

К. А. Башегуров,

аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ

Е. В. Жигулин,

аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ

С. М. Жижин,

аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ

С. В. Залесов,

д. с.-х. н., зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,

zalesovsv@m.usfeu.ru

Р. А. Осипенко,

аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ

РОЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

На основании литературных и ведомственных материалов, а также результатов собственных исследований, предпринята попытка обоснования недопустимости использования только искусственного лесовосстановления с использованием посадочного материала с закрытой корневой системой. Выбор способа лесовосстановления и лесоразведения должен определяться лесорастительными условиями, таксационными показателями произрастающих древостоев и другими факторами. В конечном счете, возможностью создания молодняков целевого породного состава в установленные сроки.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесоразведение, лесные культуры, посадочный материал, подрост, вырубки.

K. A. Bashegurov,

post-graduate student, Ural State Forestry University, Yekaterinburg, RF

E. V. Zhigulin,

postgraduate student, Ural State Forestry University, Yekaterinburg, RF

C. M. Zhizhin,

post-graduate student, Ural State Forestry University, Yekaterinburg, RF

S. V. Zalesov,

D.Sc.-kh. D., Head. Department of Forestry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ural State Forestry University", Yekaterinburg, RF,

zalesovsv@m.usfeu.ru

R. A. Osipenko,

post-graduate student, Ural State Forestry University, Yekaterinburg, RF

THE ROLE OF FOREST RESTORATION OPTIMIZATION AND FORESTRY DEVELOPMENT IN THE IMPROVEMENT OF FOREST USE

On the basis of literature and departmental materials, as well as the results of our own research, an attempt was made to justify the inadmissibility of using only artificial reforestation using planting material with a closed root system. The choice of the method of reforestation and afforestation should be determined by forest conditions, taxation indicators of growing stands and other factors. Ultimately, it is possible to create young dogs of the target breed composition in a timely manner.

Keywords: reforestation, afforestation, forest crops, planting material, undergrowth, felling.

Общеизвестно, что выращивание высокопродуктивных устойчивых насаждений невозможно без эффективного лесовосстановления не покрытых лесной растительностью площадей и лесоразведения на нарушенных землях. Не случайно библиография работ по сравнительной эффективности естественного и искусственного лесовосстановления, а также продуктивности искусственных и естественных насаждений насчитывает сотни работ [1, с. 11]. Последнее касается также и эффективности лесохозяйственного направления рекультивации нарушенных земель [2, с. 68; 3, с. 69].

При правильном выборе способа лесовосстановления и проведении последующих систематических агротехнических и лесоводственных уходов возможно выращивание высокопродуктивных

устойчивых насаждений целевого породного состава и назначения. У каждого из трех существующих на сегодняшний день способов лесовосстановления (естественный, искусственный, комбинированный) есть свои достоинства и недостатки.

Искусственный способ лесовосстановления позволяет создавать насаждения при отсутствии подроста предварительной генерации и надежных обсеменителей. Кроме того, он позволяет повысить продуктивность будущих насаждений за счет использования селекционного посадочного материала, а также создавать насаждения из древесных пород, ранее не произраставших в данных условиях, в частности, из пород интродуцентов. Наглядным примером достоинств искусственного лесоразведения является создание насаждений в сухой типчаково-ковыльной степи [4, с. 24; 5, с. 73; 6, с. 45] на нарушенных землях [7, с. 65; 8, с. 78].

Особенно эффективно создание искусственных насаждений с использованием посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС). Использование указанного посадочного материала позволяет значительно расширить период создания лесных культур, сократить расход семян, использовать при посадке улучшенный посадочный материал и так далее. Указанные достоинства обусловили принятие документов, нацеливающих на создание с 2024 г. лесных культур только посадочным материалом с ЗКС.

В данном случае речь идет о так называемом компенсационном гектаре, когда после изъятия земель лесного фонда под создание линейных и площадных объектов организация, производящая изъятие, обязана компенсировать покрытую лесной растительностью площадь созданием лесных культур на аналогичных площадях.

Отмечая положительную сторону распоряжения о компенсационном лесовосстановлении, необходимо отметить ряд спорных вопросов. Известно, что макальные площади будут изыматься из лесного фонда в северных районах, где производится интенсивная разведка, добыча и транспортировка углеводородного сырья. Однако в этих районах объем лесозаготовок относительно невелик и вырубаемые площади должны восстанавливаться арендаторами, осуществляющими заготовку древесины. Следовательно, основными объектами лесовосстановления будут гари и горельники, что потребует дополнительных расходов на подготовку лесокультурных площадей. При этом разработка валежных гарей в зимний период практически невозможна из-за снежного покрова, а в летний – весьма ограничена из-за слабой несущей способности грунтов и сложности доставки к месту проведения работ лесозаготовительной техники. Второй проблемой является реализация получаемой в процессе разработки валежных и сухостойных гарей и горельников древесины. Из-за разбросанности гарей по территории лесного фонда и труднодоступности вопрос об использовании низкотоварной и неликвидной древесины остается нерешенным. Хранение заготавливаемой древесины на вырубках, даже обработанной вредителями, где будут создаваться лесные культуры, современными нормативно-правовыми документами, не предусмотрено. Следовательно, потребуется отводить новые площади под полигоны складирования неостребованной древесины и проводить мероприятия по их противопожарному устройству.

Кроме того, в таких автономных округах как Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский - Югра нет селекционных центров по выращиванию посадочного материала с ЗКС, а из-за ограниченного объема заготовки древесины нет и запасов районированных семян для выращивания посадочного материала.

Особо следует отметить, что в указанных округах не проанализирован опыт выращивания лесных культур с использованием посадочного материала с ЗКС. Следует отметить, что по ряду объективных и субъективных причин его использование не всегда позволяет получить хорошие результаты.

В то же время имеются научно-обоснованные данные о высокой лесоводственной эффективности проведения мер содействия естественному лесовозобновлению. Так, в частности, минерализация почвы в условиях зеленомошно-ягодникового типа леса подзоны северной тайги обеспечивает формирование спустя 5 лет после сплошнолесосечной рубки 14,3–21,9 тыс. шт./га подроста сосны в пересчете на крупный [9, с. 189]. В научной литературе отмечается успешное лесовосстановление гарей и горельников при наличии обсеменителей.

Особо следует отметить, что ряд объектов, отнесенных к нарушенным землям, таковым не является. Последнее относится, в частности, к сейсморазведочным профилям шириной до 4 м. Исследования показали, что спустя 4 года после проведения сейсморазведочных работ густота подроста на них в условиях зеленомошной группы типов леса подзоны северной тайги составила 20,7–26,9 тыс. шт./га, в то числе подрост сосны сибирской 3,1–10,8 тыс. шт./га.

Не понятно, зачем отнесены к нарушенным землям и запланированы под рекультивацию лежневые дороги и гати, если их при минимальном уходе можно долгие годы использовать в качестве дорог противопожарного назначения.

Таким образом, для повышения эффективности лесопользования требуется разработка на зонально (подзонально) – типологической основе региональных рекомендаций по лесовосстановлению и лесоразведению. Рекомендации должны учитывать категорию земель лесокультурного фонда, наличие и таксационные показатели подроста, вид нарушенных земель, лесорастительные условия, наличие источников семян, периодичность семенных лет и на основе указанных показателей определять способ лесовосстановления. Кроме того, помимо способа лесовосстановления, в рекомендациях должны конкретизироваться меры по уходу за создаваемыми насаждениями, включая агротехнические и лесоводственные уходы.

Основным требованием к предлагаемому в рекомендациях способу лесовосстановления должен стать период времени, за который восстанавливаемая площадь должна быть переведена в покрытые лесной растительностью земли.

Выводы

1. Переход на повсеместное создание лесных культур посадочным материалом с ЗКС не оправдан ни с лесоводственной, ни с экономической точек зрения.

2. В целях оптимизации лесовосстановления и лесоразведения должны быть проведены комплексные исследования с разработкой на зонально (подзонально) – типологической основе рекомендаций по выбору способов лесовосстановления.

3. Рекомендации помимо способа лесовосстановления должны предусматривать и необходимые агротехнические и лесоводственные уходы.

4. Разработка указанных рекомендаций обеспечит не только сокращение неоправданных расходов на лесовосстановление и лесоразведение, но и непрерывное рациональное природопользование.

Список литературы

1. Залесов С. В., Лобанов А. Н., Луганский Н. А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 112 с.
2. Залесов С. В., Залесова Е. С., Зверев А. А., Оплетев А. С., Терин А. А. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС // ИВУЗ «Лесной журнал». 2013. № 2. С. 66–73.
3. Бачурина А. В., Залесов С. В., Толкач О. В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства // Экология и промышленность России. 2020. № 24(6). С. 67–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>.
4. Залесов С. В., Азбаев Б. О., Данчева А. В., Рахимжанов А. Н., Раданов М. Р., Суюндиков Ж. О. Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. URL: www.science-education.ru/118-13438 (дата обращения: 26.03.2021).
5. Фрейберг И. А., Залесов С. В., Толкач О. В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. 121 с.
6. Залесов С. В., Толкач О. В., Фрейберг И. А., Черноусова Н. Ф. Опыт создания лесных культур на солонцах хорошей лесопригодности // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47.
7. Залесов С. В., Залесова Е. С., Зарипов Ю. В., Оплетев А. С., Толкач О. В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 63–67.
8. Zalesov S. V., Ayan S., Zalesova E. S., Opletaev A. S. Experiences on Establishment of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Plantation in Ash Dump sites of Reftinskaya Power Plant, Russia // Alinteri Journal of Agriculture Sciences, 2020, 35(1): xx - xx. Doi: 10 / 28955 / alinterizbd. 696559.
9. Башегуров К. А., Белов Л. А., Залесова Е. С., Залесов С. В. Лесоводственная эффективность минерализации почвы в условиях сосняка зеленомошно-ягодниковоподзоны северной тайги // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 8(98). Ч. 1. С. 186–191.

УДК 614.841.2

Е. П. Богачева,

магистрант 2 года, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», г. Москва, РФ, bogacheva.ekaterina@bk.ru

Е. Б. Аносова,

к. т. н., доцент кафедры ТБ, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», г. Москва, РФ, evgenia.anosowa@yandex.ru

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПАСНОСТЬ ПОЖАРА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ, РАСПРОСТРАНЕННЫХ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Были проведены исследования древесины с применением современных физико-химических методов и методик пожарной экспертизы. Определено остаточное содержание летучих веществ в образцах обугленных остатков древесины с помощью весового метода. Проведено исследование образцов карбонизированных остатков древесины на ИК Фурье спектрометре Nicolet 380 и TG методом на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 JupiterNetzsch.

Ключевые слова: лесной пожар, опасность пожара, древесина, карбонизированный остаток древесины, ИК-спектроскопия, термогравиметрия, содержание летучих веществ.

Е. P. Bogacheva,

2-year undergraduate, Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev, Moscow, Russian Federation, bogacheva.ekaterina@bk.ru

Е. В. Anosova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow, Russian Federation, evgenia.anosowa@yandex.ru

ASSESSMENT OF THE IMPACT ON THE FIRE HAZARD OF INDIVIDUAL PROPERTIES OF VARIOUS WOOD SPECIES DISTRIBUTED IN THE MOSCOW REGION

Wood studies were carried out using modern physical and chemical methods. The residual content of volatile substances in the samples of charred wood residues was determined using the weight method. A study of samples of carbonized wood residues was carried out on a Nicolet 380 and TG IR Fourier spectrometer using the STA 449 F3 Jupiter Netzsch synchronous thermal analysis device.

Keywords: forest fire, fire hazard, wood, charred wood residue, IR-spectroscopy, thermogravimetry, volatile matter content.

Природные пожары оказывают негативное влияние не только на непосредственную зону их воздействия, но и на всю окружающую среду, атмосферу, а также на здоровье и благополучие людей, проживающих в непосредственной близости к месту пожара. Многие исследования посвящены изучению физико-химических свойств древесины, оказывающих влияние на механизм распространения пожара с применением стандартных термических методов анализа [1–6].

В данной работе были проведены исследования древесины с применением современных физико-химических методов, таких как термогравиметрический (TG) метод термического анализа, метод инфракрасной (ИК) спектроскопии, а также ряд методик пожарной экспертизы, касающихся исследований очага пожара.

Образцами для исследований послужили карбонизированные остатки хвойных пород древесины, таких как сосна и ель. Всего было исследовано 9 образцов, которые были отобраны на двух самых крупных пожарищах, находящихся на территории Шатурского участкового лесничества, которое расположено на востоке Московской области. С первого пожарища площадью 0,33 Га (дата пожара: 24.08.2020 г.) было отобрано 5 образцов карбонизированных остатков древесины, со второго пожарища площадью 0,1 Га (дата пожара: 3.05.2020 г.) – 4 образца. Большинство (6) образцов – фрагменты различных участков сосны, данная порода является преобладающей в Шатурском районе в связи с его территориально-географическим расположением.

В самом начале было определено остаточное содержание летучих веществ в образцах обугленных остатков древесины с помощью весового метода [7]. В результате интервал значений содержания летучих веществ составил от 3,5 до 36 % от исходной массы образца, что говорит о том, что образцы находились в различных условиях теплового воздействия.

Предварительную оценку механизма термической деструкции целлюлозных материалов можно дать с использованием ИК-спектроскопии, поскольку процесс образования угля из органической части древесины связан с изменениями функционального состава вещества. Это оказывает влияние на характер ИК-спектров. В результате исследования образцов карбонизированных остатков древесины на ИК Фурье спектрометре Nicolet 380 в ЦКП РХТУ им. Д. И. Менделеева, было выяснено, что

при температуре 300–500 °С в спектрах наблюдается уменьшение интенсивности полос гидроксигрупп в области частот 3800–3200 см⁻¹. Интенсивность полос поглощения метильных и метиленовых групп при 2900–2700 см⁻¹, полос С–Н колебаний (1460–1420 см⁻¹), полос колебаний простых эфирных и фенольных связей (1200–1000 см⁻¹) также снижается. Полоса возле 1600 см⁻¹, связанная с колебаниями –С = С– связей в бензольных кольцах и алифатических соединениях, имеет высокую интенсивность до 500 °С, но к 600 °С пропадает [8].

В спектрах углей практически полностью сглаживается наиболее сильная полоса поглощения древесины при 1100–1000 см⁻¹, обусловленная присутствием в ней спиртовых и эфирных групп целлюлозы. Но при повышении температуры разрешенность спектра падает и спектральная кривая «выпрямляется», что больше всего видно на участке 1900–1600 см⁻¹. Это происходит не только из-за поглощения алифатически-ароматических групп, но и из-за усиления поглощения графитизированных структур при частоте выше 1800 см⁻¹ [7]. ИК-спектр одного из исследуемых образцов (коры взрослой ели) представлен на рис. 1.

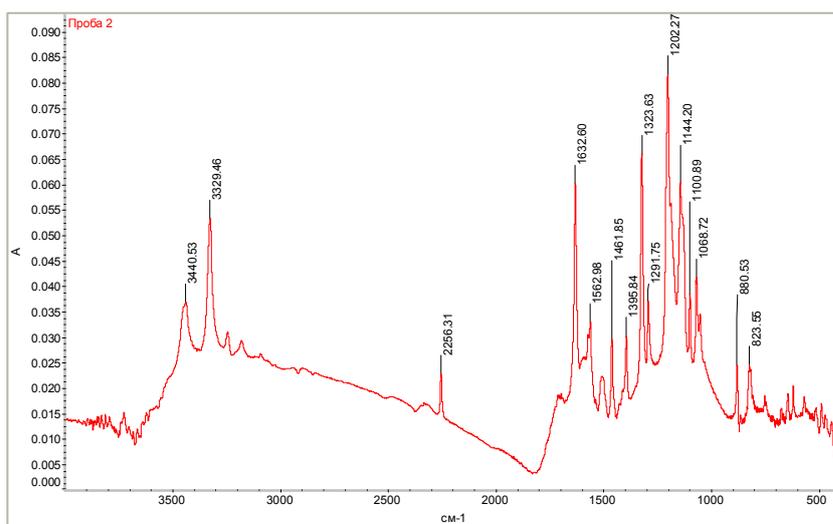


Рис. 1. ИК-спектр образца коры взрослой ели

Таким образом, с помощью внешнего вида спектра, степени его разрешенности можно дать оценку интенсивности термического воздействия на уголь при его образовании, а именно, температуру образования карбонизированных остатков. Исходя из структурных изменений исследованных образцов, можно предположить, что температура их термической деструкции достигала 400 °С.

Для ТГ-исследований на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter Netzsch было отобрано семь образцов обугленных остатков древесины, полученные кривые представлены на рис. 2.

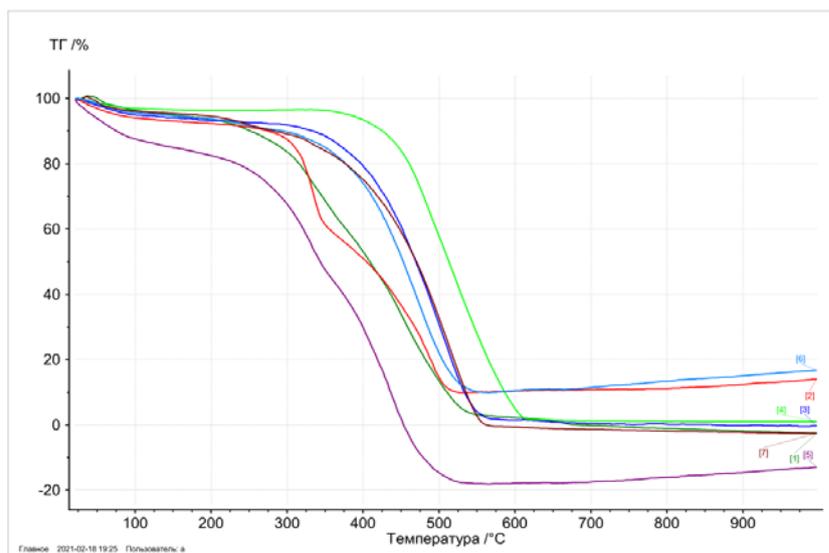


Рис. 2. ТГ-кривые образцов обугленной древесины

Известно, что при термическом воздействии до 400 °С угли «пламенного горения» выделяют 2–4 % масс. летучих веществ, «угли тления» – 5–7 % масс. В 1,5–2 раза больше летучих веществ выделяют угли «тления» в интервале температур 400–500 °С по сравнению с интервалом до 400 °С. За время подъема температуры до 600 °С угли «тления» разлагаются примерно на 90–100 %, поэтому и убыль массы при температуре более 600 °С у них не превышает 10–12 %. В то же время угли «пламенного горения» 30–40 % летучих выделяют при температуре более 600 °С [7].

В результате расшифровки полученных ИК-спектров и ТГ-кривых обугленных остатков древесины, а также обработки результатов расчета остаточного содержания летучих веществ, было выявлено, что все исследованные образцы являются углями «тления», полученными в результате низкотемпературного пиролиза. Из этого следует, что источниками зажигания на обоих пожарах, произошедших в Шатурском участковом лесничестве, являются источники зажигания малой мощности (тлеющие табачные изделия, спички и т. п.).

Список литературы

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
2. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение и пожарная опасность древесины // Пожаровзрывобезопасность. Т. 21, №1. 2012. С. 19–32.
3. Liodakis S., Vorisis D. and Agiovlasis I. P. A method for measuring the relative particle fire hazard properties of forest species // Thermochim. Acta. 2005. Vol. 437, No. 1–2, pp. 150–157.
4. Liodakis S., Bakirtzis D. and Dimitrakopoulos A. Ignition characteristics of forest species in relation to thermal analysis data // Thermochim. Acta, 2002. Vol. 390, No. 1–2, pp. 83–91.
5. Feurdean et al. Recent fire regime in the southern boreal forests of western Siberia is unprecedented in the last five millennia // Quat. Sci. Rev. 2020. Vol. 244.
6. Серков Б. Б., Асеева Р. М., Сивенков А. Б. // Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины (часть 1) // Технологии техносферной безопасности. 2011. № 6(40).
7. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / под науч. ред. канд. юр. наук Н. А. Андреева. 2-е изд., стереотип. СПб. : СПБИБП МВД России, 1997. 562 с.
8. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М. : Книга по Требованию, 2012. 295 с.

УДК 630.221:630.61

С. В. Залесов,

д. с.-х. н., зав. кафедрой лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,

zalesovsv@m.usfeu.ru

А. С. Оплетаев,

к. с.-х. н., доцент кафедры лесоводства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗРАСТА РУБКИ И ВЫБОРА ГЛАВНОЙ ДРЕВЕСНОЙ ПОРОДЫ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ

Отмечается необходимость совершенствования нормативно-технических документов по вопросам лесопользования. Установление возраста рубки и главной породы позволит в 1,5–2,0 раза увеличить выход необходимых производству сортиментов и улучшить экономические показатели лесоперерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: лесопользование, возраст спелости, рубки спелых и перестойных насаждений, нормативно-технические документы, продуктивность лесов.

S. V. Zalesov,

Doctor of s.-kh. sciences, Head. Department of Forestry, FSBEU HS The Ural state forest engineering university. Yekaterinburg, RF,

zalesovsv@m.usfeu.ru

A. S. Opletaev,

Candidate of s.-kh. science, Associate Professor of the Department of Forestry, FGBOU VO “Ural State Forestry University”, Yekaterinburg, RF

OPTIMIZATION OF FELLING AGE AND SELECTION OF THE MAIN TREE SPECIES AS THE BASIS FOR SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT

The need to improve regulatory and technical documents on forest issues is noted. Determination of the cutting age and the main species will allow 1.5-2.0 times to increase the output of assortments required for production and improve the economic performance of the timber processing enterprises.

Keywords: forest management, ripeness age, felling of mature and over-mature stands, regulatory and technical documents, forest productivity.

Оптимизация лесного хозяйства и лесопользования должны обеспечивать повышение продуктивности лесов. Под продуктивностью лесов нами понимается уровень использования лесами производительных сил природы, обеспечивающий высокую эффективность формирования соответствующих по качеству и количеству всех лесных ресурсов и экологических функций в определенные периоды времени на единице площади [1, с. 76]. При этом под повышением продуктивности лесов понимается сохранение и повышение их комплексной продуктивности применением системы хозяйственных мероприятий, дифференцированных в зависимости от региональных природных условий и целевого назначения лесных земель [2, с. 21].

Таким образом, в эксплуатационных лесах главной задачей научно-обоснованного ведения лесного хозяйства является выращивание большего объема качественной древесины с единицы площади. К сожалению, реализация данной задачи нередко сдерживается несовершенством нормативно-технических документов по вопросам лесопользования. Главная древесная порода, на которую ведется хозяйство, устанавливается по лесным районам без учета запросов основных потребителей древесины. В результате на арендных участках, взятых для заготовки древесины, лесопользователь вынужден выращивать древостой, которые позволяют получать не востребованные им сортименты. После проведения лесосечных работ арендатор вынужден реализовать полученную ими древесину и заниматься лесовосстановлением на вырубленных площадях. При этом для собственного производства он вынужден закупать сырье у других лесопользователей, дополнительно расходуя средства на транспортировку древесины, обмер и проверку ее качества. При этом всегда существуют риски остановки производства из-за недостаточного количества сырья, связанные с невыполнением поставщиками договорных обязательств. В качестве примера можно привести ООО «Уралбумага». Указанное предприятие производит бумагу и гофрированный картон из мягколиственной древесины. Другими словами, сырьем для переработки служат балансы мягколиственных пород, преимущественно березы. Однако главной породой на арендных участках ООО «Уралбумага» установлены ель и сосна, что вызывает необходимость выращивать древесину до 80-летнего возраста, а после проведения сплошнолесосечных рубок производить лесовосстановление искусственным способом, поскольку на лесосеках не всегда имеется жизнеспособный подрост ели предварительной генерации в количестве достаточном для лесовосстановления вырубок, а ель не возобновляется вегетативным способом.

В ближайшие годы планируется перейти на искусственное лесовосстановление с использованием посадочного материала с закрытой корневой системой, что, естественно, резко повысит затраты на лесовосстановление. Дополнительно следует отметить, что в Пермском крае отсутствуют центры по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой, что создает проблемы с обеспеченностью посадочным материалом и увеличивает риски невыполнения объемов работ по лесовосстановлению.

Особо следует отметить, что при выборе в качестве главной породы березы, возраст рубки в эксплуатационных лесах даже в соответствии с действующими нормативными документами снизится до 61–70 лет, то есть на 25–40 % по сравнению с ельниками в зависимости от класса бонитета. При этом следует учесть, что береза великолепно возобновляется порослью от пня [3, с. 95], что исключает затраты на искусственное лесовосстановление и позволяет обеспечить концентрацию производства за счет увеличения площади лесосеки сплошнолесосечных рубок, сокращения срока примыкания лесосек и оборота рубки.

Особо следует отметить, что средний запас еловых насаждений на арендных участках ООО «Уралбумага», расположенных в границах Южно-таежного лесного района европейской части РФ в 80-летнем возрасте составляет 200 м³/га, а в березовых насаждениях в 60-летнем возрасте 202 м³/га. Другими словами, при выборе в качестве главной породы березы только за счет сокращения оборота рубки будет получено дополнительно 84–153 м³/га древесины.

Однако выращивание березы до 60-летнего возраста также не целесообразно. Поскольку основным целевым сортиментом являются березовые балансы, возраст рубок может быть снижен до 40 лет, что обеспечит заготовку 165 м³/га древесины наиболее востребованной производством. При этом оборот рубки, по сравнению с таковым в ельниках будет снижен в 2 раза. С единицы площади при выращивании березовых балансов за оборот рубки в ельниках можно получать 330–410 м³/га древесины, а, следовательно, площадь арендных участков может быть сокращена в 2 раза при тех же объемах заготовки древесины. Дополнительно отпадает необходимость в искусственном лесовосста-

новлении вырубок и в проведении агротехнических уходов, а также сокращается количество лесоводственных уходов.

Сокращение размеров арендных участков и оборота рубки вызовет заинтересованность лесопользователей в качественном проведении рубок ухода за лесом с целью получения дополнительной древесины и ускорения срока ее выращивания. Освободившиеся площади лесного фонда можно будет передать другим арендаторам или использовать при расширении производства. Указанный подход сократит неоправданные объемы перемещения древесины и окажет положительное влияние на экономические показатели работы лесопользователей.

Установление возраста рубки по технической спелости наиболее востребованных производством сортиментов целесообразно и при оставлении главной породы без изменения. Так, на арендных участках АОО «Соликамскбумпром» возраст рубки установлен в расчете на пиловочник, в то время как наиболее востребованным сортиментом являются хвойные балансы. Установление возраста рубки по технической спелости на еловые балансы позволит в 1,5 раза сократить оборот рубки и дополнительно, к ранее указанным преимуществам, обеспечит минимизацию рисков, связанных с длительным выращиванием еловых насаждений (лесные пожары, распространение вредителей и болезней) [4, с. 50; 5, с. 41]. При этом снижение возраста рубки должно сопровождаться повышением внимания к лесовосстановлению.

Выводы

1. В целях повышения продуктивности лесов необходимо предоставить полномочия органам ведения лесного хозяйства в субъектах РФ по установлению главной породы и возраста рубки с учетом реальных потребностей производства.

2. Предприятиям, осуществляющим глубокую переработку мягколиственной древесины, с учетом региональных лесорастительных условий в качестве главной породы следует установить березу или осину.

3. Для арендаторов, осуществляющих заготовку древесины, следует установить возраст рубки по технической спелости на наиболее востребованные сортименты.

4. Правильный выбор главной породы и установление возраста рубки по технической спелости наиболее востребованного сортимента позволят существенно увеличить объемы сырья с единицы площади и улучшат экономические показатели работы лесопользователей.

5. Поскольку интегральным показателем эффективности выполнения насаждениями экологических функций является прирост древесины, сокращение оборота рубки и омоложение древостоев окажут положительное влияние на экологическую обстановку в регионе.

Список литературы

1. Луганский Н. А., Залесов С. В. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения. Екатеринбург : УГЛТА, 1997. 101 с.
2. Луганский Н. А., Залесов С. В., Щавронский В. А. Повышение продуктивности лесов. Екатеринбург : УЛТИ, 1995. 297 с.
3. Казанцев С. Г., Залесов С. В., Залесов А. С. Оптимизация лесопользования в производных березняках Среднего Урала. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. 156 с.
4. Залесов С. В. Лесоводство. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 295 с.
5. Иванчина Л. А., Залесов С. В. Влияние типа леса на устойчивость еловых древостоев Прикамья // Пермский аграрный вестник. 2017. № 1(17). С. 38–43.

УДК 330 (075.8)

Е. И. Майорова,

д. ю. н., профессор, профессор кафедры частного права МосГУ управления, Москва, Россия
trol003@mail.ru

ПРАВОВОЙ АНАЛИЗ ТИПИЧНЫХ КОРРУПЦИОННЫХ РИСКОВ В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ

Лесное законодательство в настоящее время нестабильно и оставляет широкие возможности для коррупции. Это негативное явление наиболее распространено при осуществлении доступа бизнеса к заготовке древесины. Многочисленные коррупционные схемы приносят выгоду лицам, уполномоченным осуществлять лесное администрирование. Созданная для борьбы с незаконными рубками ЕГАИС пока не оказала существенного влияния на масштабы незаконной вырубки и вывоза древесины. Однако планируется ее совершенствование и преобразование в открытый цифровой геоинформационный ресурс

ФГИС ЛПК. Большие коррупционные возможности имеются при предоставлении в пользование лесных участков, которые застраиваются, затем приватизируются и исключаются из лесного фонда. Важнейшее направление лесного хозяйства, лесовосстановление, также включает многочисленные коррупционные риски при закупке посадочного материала и организации ухода за молодняком. Ужесточение антикоррупционного законодательства могло бы снизить многие риски в лесном секторе, но законодатель пошёл по пути его либерализации.

Ключевые слова: лесное законодательство, лесной сектор, коррупционные риски, ЕГАИС, участки лесного фонда, лесовосстановление.

E. I. Mayorova,

Doctor of Law, Professor Professor of the Department of Private Law, State University of Management, Moscow, Moscow, Russia, trol003@mail.ru

LEGAL ANALYSIS OF TYPICAL CORRUPTION RISKS IN THE FORESTRY SECTOR

Forestry legislation is currently unstable and leaves ample room for corruption. This negative phenomenon is most common when businesses have access to timber harvesting. Numerous corruption schemes benefit those empowered to administer forestry. The Unified State Automated Information System, created to combat illegal logging, has not yet had a significant impact on the scale of illegal logging and export of timber. However, it is planned to improve and transform it into an open digital geoinformation resource of the FSIS LPK. There are great corruption opportunities in the provision of forest plots for use, which are built up, then privatized and excluded from the forest fund. The most important area of forestry, reforestation, also includes numerous risks of corruption in the procurement of planting material and the organization of care for young growth. Tightening of anti-corruption legislation could reduce many risks in the forestry sector, but the legislator took the path of its liberalization.

Keywords: forestry legislation, forestry sector, corruption risks, EG AIS, forest fund areas, reforestation.

В декабре 2020 г. Президент РФ В. В. Путин отметил, что лесной сектор России находится в упадке, и поручил разработать план декриминализации лесной отрасли. Такая ситуация сложилась из-за принятия крайне неудачного главного закона лесного хозяйства, Лесного кодекса РФ 2006 года, который по замыслу законодателя должен был способствовать более активному внедрению рыночных механизмов в лесные отношения. ЛК РФ был призван снять с государства бремя затрат на ведение лесного хозяйства, переложив эти расходы на собственника или арендатора. В результате система управления лесами была разрушена, но заявленная цель не достигнута. Это повлекло принятие огромного количества нормативных правовых актов, призванных исправить положение: на сегодняшний день только федеральных законов «...О внесении изменений ... в ЛК РФ...» принято более четырёх десятков. Правовая нестабильность отрасли определяет ее катастрофическое состояние, на что справедливо указал Президент.

ЛК РФ находится в состоянии непрекращающейся редакции с момента вступления его в силу. Изменяющие и отменяющие ранее принятые законы новыми актами до сих пор легально не оформлен переход к интенсивной модели ведения лесного хозяйства и использования лесов, что уже широко практикуется в других странах. Зато в связи с тенденциями времени законодатель стремится уменьшить коррупционные риски в области лесопользования. В этой связи в системе государственного управления лесами еще с 2008 г возникло самостоятельное направление: антикоррупционная тематика.

Любое распределение ресурсов (природных, финансовых, властных) всегда провоцирует представителей власти на вымогание взяток в виде так называемой «административной ренты» от тех субъектов (юридических и физических лиц), которые стремятся приобрести больше ресурсов или ресурсы лучшего качества в сравнении с другими претендентами. Таким образом, коррупция подменяет эффективных пользователей теми, которые получают соответствующие права на пользование ресурсами, не имея для этого объективных возможностей (кадров, материальной базы и т. п.).

В лесном секторе существует целый ряд факторов, предопределяющих высокий уровень коррупции и связанное с этим большое количество правонарушений. Коррупционными факторами являются: доступ к использованию лесов, основанный на перераспределении лесных ресурсов среди пользователей; многоцелевое использование лесов в сочетании экономических, социальных и экологических функций с их различной оценкой; бюджетное финансирование лесохозяйственной деятельности на землях лесного фонда, не переданных в аренду; организация государственного управления лесами в субъектах РФ структурами, не обеспечивающими эффективного лесного администрирования из-за отсутствия надежных инструментов управления; недостаточная подготовленность кадров к исполнению государственных функций и ряд других. По каждому названному фактору законодательная и нормативная база содержит коррупционные риски (КР), которые приносят выгоду лицам, уполномоченным осуществлять лесное администрирование. Наибольшее число КР наблюдается в действиях органов государственной власти при организации доступа бизнеса к использованию лесов для заготовки древесины [1].

Лесные ресурсы как объект распределения имеют ряд особенностей, которые увеличивают риск коррупционных сделок при их использовании. Это объективные трудности организации контроля за состоянием лесного фонда и перемещением продукции, произведенной из древесины и многоцелевое использование лесов, предоставляющее возможность получать платный доступ к одному виду ресурсов и пользоваться при этом другими ресурсами бесплатно. Государству может наноситься экономический ущерб, измеряемый разницей между потенциально возможной величиной платы за пользование лесами по совокупности всех ресурсов и той платой, которая назначена органами государственной власти за использование «бесплатного» ресурса.

Проблемы незаконных рубок и бесконтрольного вывоза необработанной древесины до сих пор не решены. Само понятие «незаконные рубки» в законодательстве отсутствует. Это пробел, который необходимо восполнить: трудно бороться с явлением, не имеющим легального определения. Как метод контроля над лесозаготовками рассматривается совершенствование цифровых информационных технологий. Его основными инструментами стали Единая государственная автоматизированная информационная система (ЕГАИС) учета древесины и сделок с ней и система сопроводительных документов на перевозку древесины, введенная Федеральным законом от 28 декабря 2013 г. № 415-ФЗ. Закон предусматривал внесение в ЛК РФ и КоАП РФ многочисленных изменений, связанных с учетом древесины, а также касающихся особенностей ее маркировки и транспортировки. ЕГАИС была задумана как современный и эффективный способ охраны лесов от незаконных рубок с помощью отслеживания всех операций с древесиной от момента заготовки до переработки или вывоза из РФ. Сведения из ЕГАИС должны передаваться в Единую систему идентификации и аутентификации ЕАИС таможенных органов. ЕГАИС позволяет получить информацию о том, какие организации вовлечены в сделки на тех или иных лесных участках. В ряде случаев это оказывается полезным для выявления виновников лесонарушений [3]. Но, хотя ЕГАИС создана, на масштабы незаконных рубок ее применение влияет незначительно из-за отсутствия актуальных результатов лесоустройства. ФЗ № 3 от 04 февраля 2021 г. внес большое количество новаций в ЛК РФ, например, обеспечение автоматической блокировки выписки сопроводительных документов при выявлении несоответствий.

Предусматривается радикально расширить, преобразовать ЕГАИС в открытый цифровой геоинформационный ресурс ФГИС ЛПК: федеральную государственную информационную систему лесного комплекса. К концу 2021 г. планируется расширение перечня ГИС, с которыми интегрирован Рослесхоз. Это позволит устанавливать пользователей через Единую систему идентификации и аутентификации (ЕСИА). Планируется исключительно цифровое блокчейн-взаимодействие с органами государственной власти субъектов РФ в области лесных отношений: заключению договоров по использованию лесов для рубок, учёту древесины и сделок с ней и т. д. Сделки с древесиной, которая ранее попадала в серый оборот, будут регистрироваться в государственной информационной системе. Положение с расхищением лесного богатства России может исправить и запрет с 1 января 2022 г. на вывоз из РФ необработанных лесоматериалов хвойных и ценных лиственных пород, в том случае, если будет исключена коррупционная составляющая.

Не только незаконные рубки создают КР. Лесные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности, могут быть предоставлены в постоянное пользование на основании решения уполномоченного органа государственной власти или органа местного самоуправления. Коррупционный аспект заключается в том, что лесные насаждения намеренно не включаются в Государственный лесной реестр, безлесные лесные участки переходят в распоряжение органов местного самоуправления и затем неправомерно переводятся в земли других категорий. В июле 2019 г. очередные изменения ЛК РФ (№ 538-ФЗ от 27.12.2018 г.) должны были на комплексной основе урегулировать вопросы правового статуса и режима защитных лесов. Но эксплуатационные леса не попали под режим усиленной охраны. По-прежнему велик риск неправомерных сделок с целью изменения целевого назначения земель.

Проявления коррупции предопределены и умолчанием законодательства по вопросу финансирования лесовосстановительных мероприятий. Эта деятельность (за исключением лесов, переданных в аренду) находится на бюджетном финансировании.

Федеральный закон от 19.07.2018 г. № 212-ФЗ обязывает лиц, осуществляющих рубки, в течение одного года создавать посадки равных по площади «компенсационных» лесов. В соответствии с «Правилами лесовосстановления», утвержденными приказом МПР от 4 декабря 2020 года № 1014 эта функция закрепляется за лицами, осуществляющими разрешённые рубки лесных насаждений. Нередко пользователи выполняют только часть мероприятий и проводят их некачественно. Снабжение посадочным материалом является обязанностью органов лесного хозяйства. Однако семена поступают в малом количестве, ненадлежащего качества [2]. При получении посадочного материал ис-

пользуется коррупционный механизм: только 20 % саженцев производится легальными питомниками; остальное составляет «серый» рынок.

Наряду с перечисленными имеются и другие КР. Однако сложно говорить о коррупции, пока не принят в третьем чтении Законопроект № 1078992-7. Речь идет о случаях, когда коррупция признается «следствием независимых от воли правоприменителя обстоятельств».

Список литературы

1. Майорова Е. И. Правовой анализ проблем противодействия коррупции в лесной сфере : монография. М. : ФОРУМ, 2016. 152 с.
2. Шуплецова Ю. И. Правовое регулирование лесных отношений в Российской Федерации. М. : ИЗиСП ; КОНТРАКТ, 2018. 216 с.
3. Ярошенко А. Лесные отношения: сложно и нелогично. Некоторые важнейшие изменения в российском лесном законодательстве // Экология и право. № 3. 2018.

УДК 630.53

О. Н. Орехова,

к. с.-х. н., доцент кафедры ЛТиЛУ ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
orekhovaon@m.usfeu.ru

Т. С. Воробьева,

к. с.-х. н., доцент кафедры ЛТиЛУ ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
vorobyevats@m.usfeu.ru

А. А. Бартыш,

к. с.-х. н., доцент кафедры ЛТиЛУ ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
bartyshaa@m.usfeu.ru

СТРОЕНИЕ ХВОЙНЫХ МОЛОДНЯКОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТАЁЖНОЙ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И СОСНЫ СИБИРСКОЙ

Молодняки являются наименее изученным этапом жизни леса. По своему строению и росту существенно отличаются от древостоя старшего возраста. Это в одинаковой мере относится к молоднякам естественного и искусственного происхождения. Между тем именно в этом периоде закладываются основные признаки будущего древостоя, и в это же время хозяйственными мероприятиями можно изменять сложившуюся структуру молодняков и улучшать их состояние.

Ключевые слова: хвойные молодняки, строение, рост, структура, ранги, редуциционные числа.

O. N. Orekhova,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, "Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russian Federation,
orekhovaon@m.usfeu.ru

T. S. Vorobyeva,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, "Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russian Federation,
vorobyevats@m.usfeu.ru

A. A. Bartish,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, "Ural State Forestry University, Yekaterinburg, Russian Federation,
bartyshaa@m.usfeu.ru

THE STRUCTURE OF CONIFEROUS YOUNG TREES OF ARTIFICIAL ORIGIN IN THE CONDITIONS OF THE TAIGA FOREST-GROWING ZONE ON THE EXAMPLE OF SCOTS PINE AND SIBERIAN PINE

Young trees are the least studied stage of forest life. In their structure and growth, they differ significantly from the older stands. This applies equally to young animals of natural and artificial origin. Meanwhile, it is in this period that the main signs of the future stand are laid, and at the same time, economic measures can change the existing structure of young trees and improve their condition.

Keywords: coniferous young trees, structure, growth, structure, ranks, reduction numbers.

При создании лесных культур основное внимание обращается на их приживаемость и сохранность, но к сожалению не увязывается строение молодых древостоев с последующим их формированием, вследствие чего утрачивается возможность правильно влиять рубками ухода на выращивание высокопродуктивных древостоев.

Цель работы: выявить особенности строения и состояния созданных лесных культур и оценить влияние на рост и структуру молодняков возраста молодых древостоев.

Исследования проводились в условиях Сухоложского лесничества Свердловской области. Все леса Сухоложского лесничества относятся к Средне-Уральскому таёжному лесному району таёжной лесорастительной зоны.

Для выполнения работы использованы материалы лесничества и данные, полученные с заложённых пробных площадей в молодых искусственных древостоях разного возраста [1].

Объектами исследования послужили культуры сосны обыкновенной (22 года) и сосны сибирской (29 лет), Богдановичского лесничества Свердловской области, созданные под меч Колесова.

Для выражения строения древостоев молодняков сосны обыкновенной и сосны сибирской были составлены ряды распределения деревьев по 10 ступеням толщины, которые были названы условными, поскольку для этих ступеней, выраженных порядковыми номерами мы показывали распределение разных древесных видов, у которых действительные ступени были различные [2]. В результате можно сравнить ряды значений таксационных показателей разноразмерных деревьев строго определенных рангов [3]. Так, у сосны сибирской наблюдается симметричное распределение, что соответствует нормальному распределению, а у сосны обыкновенной – асимметричное с отрицательной косостью, так как правая ветвь меньше левой.

Для выявления закономерностей формирования, оценки дифференциации и строения молодых древостоев искусственного происхождения, необходимо использовать метод редукционных чисел и рангов. Для того, чтобы использовать ряды редукционных чисел необходимо вычислять эти числа по строго определенным расчетам. Было замечено, что деревья, входящие в ранг 90 имеют самую низкую изменчивость, поэтому редукционное число этого ранга и принимается за единицу [4].

В таблице представлены ряды относительных значений признаков деревьев по рангам.

Таблица

Ряды относительных значений признаков молодых деревьев сосны обыкновенной и сосны сибирской по рангам

Показатель	Редукционные числа по рангам сосны обыкновенной (числитель) и сосны сибирской (знаменатель) по рангам										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
d	2,50	4,86	7,18	9,12	10,45	11,55	12,56	13,54	14,64	15,93	20,40
Rd	0,16	0,31	0,45	0,57	0,66	0,73	0,79	0,85	0,92	1,00	1,28
h	4,10	7,05	10,5	11,65	12,10	12,70	13,00	13,25	13,50	13,80	14,40
Rh	0,30	0,51	0,76	0,84	0,88	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	1,04
h\d	1,640	1,45	1,46	1,28	1,16	1,10	1,04	0,98	0,92	0,87	0,71
Rh\d	2,60	2,11	1,75	1,59	1,45	1,33	1,25	1,16	1,06	0,97	0,53
	1,89	1,68	1,69	1,48	1,34	1,27	1,20	1,13	1,06	1,00	0,82
	2,68	2,17	1,80	1,64	1,49	1,37	1,29	1,20	1,09	1,00	0,54

По абсолютным значениям высота сосны сибирской превосходит эти же значения у сосны обыкновенной, так как у них возраст соответственно 29 лет и 22 года. Но если сравнить суммарные средние приросты по диаметру, то оказывается суммарный средний прирост (сложить диаметры и разделить на возраст 29 и 22) у 10 ранжированных деревьев у сосны сибирской 4,3, а у сосны обыкновенной – 5,6. Это соответствует природным особенностям рассматриваемых видов. Сосна обыкновенная – светолюбивая порода, а сосна сибирская отличается большей теневыносливостью.

Что касается строения сравниваемых древостоев по диаметру, высоте и относительной высоте, то оно также имеет существенное различие.

По высоте наибольшее различие просматривается в низших рангах 0–30 %, а по диаметру в пределах рангов 30–90 %. По относительной высоте как показателю эндогенной дифференциации сосна сибирская имеет более высокое значение относительной высоты, чем светолюбивая сосна обыкновенная. Русский ботаник Медведев Я. С. разделил породы по светолюбию именно по этому показателю. Светолюбивые древесные породы погибают при меньших высотах в сравнении с теневыносливыми [5].

При анализе строения и роста молодых древостоев сосны сибирской и сосны обыкновенной эти древесные виды отличаются существенно по росту и строению древостоя. Это необходимо учитывать при таксации молодняков и разработке рекомендаций по уходу за молодняками.

Список литературы

1. ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 24 с.
2. Соловьев В. М., Орехова О. Н., Уварова С. С. Изучение структуры древостоев разными методами : учебное пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2008. 48 с.
3. Моисеев В. С. Таксация молодняков : учебное пособие. Ленинград : ЛТА, 1971. С. 40–43.
4. Высоцкий К. К. Закономерности строения смешанных древостоев. М. : Гослесбумиздат, 1962. С. 50–53.
5. Нестеров Н. С. Вопросы современного лесоводства. М. : Сельхозиздат, 1961. С. 47–48.

УДК 338.242.4

А. Н. Панютин,

к. э. н., доцент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Россия,
alpanyutin@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕСУРСОВ В ЛЕСНОМ СЕКТОРЕ РФ

Производство продукции в лесном секторе осуществляется преимущественно коммерческими нефинансовыми организациями, объединяемыми общими технологическими цепочками от заготовки и воспроизводства древесных ресурсов до их механической или химической переработки. Финансовые ресурсы лесного сектора концентрируются, прежде всего, при выпуске целлюлозы, бумаги, картона. Концентрация производств позволяет обеспечивать финансовыми ресурсами лесозаготовительные производства.

Ключевые слова: лесной сектор, финансовые ресурсы, источники финансирования.

A. N. Panyutin,

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg state forest technical University, Saint-Petersburg, Russia,
alpanyutin@yandex.ru

FEATURES OF THE REDISTRIBUTION OF FINANCIAL RESOURCES IN THE FOREST SECTOR OF THE RUSSIAN FEDERATION

Production in the forest sector is carried out mainly by commercial non-financial organizations, united by common technological chains from harvesting and reproduction of wood resources to their mechanical or chemical processing. The financial resources of the forest sector are concentrated primarily in the production of pulp, paper, and cardboard. The concentration of production makes it possible to provide financial resources for logging operations.

Keywords: forest sector, financial resources, sources of financing.

Как известно, сектора экономики представляет собой некоторую часть хозяйственной деятельности общества, направленную на производство экономических благ, то есть товаров и услуг, призванных удовлетворять определённые потребности их пользователей. Производство продукции из древесины осуществляется преимущественно сектором коммерческих нефинансовых организаций, объединяемых общими технологическими цепочками от заготовки и воспроизводства древесных ресурсов до их механической или химической переработки и отгрузки конечной продукции торговым организациям и потребителям.

Заготовка лесных ресурсов производится на землях лесного фонда, ограниченных в хозяйственном обороте и находящихся в государственной собственности. В бюджетную систему Российской Федерации поступает лесной доход, представляющий собой плату за пользование лесными ресурсами, причём не только за пользование древесиной, но и за использование иных полезностей лесных земель, например, рекреационных. Основным правом доступа к заготовке древесины в настоящее время выступает договор аренды земель лесного фонда и в составе лесного дохода преобладает арендная плата, взимаемая за древесину, отпускаемую на корню. Некоторую часть древесины заготавливают путём заключения договора купли-продажи участка лесного фонда.

Полномочия по предоставлению земель лесного фонда в пользование на платной основе переданы органам власти субъектов Российской Федерации, которые реализуют их с привлечением работников лесничеств и лесопарков. Лесничества и лесопарки – это основные территориальные единицы на землях лесного фонда, реализующие функцию управления лесами. Лесозаготовители получают право на заключение договоров аренды участка лесного фонда сроком от 10 до 49 лет по результатам торговых процедур на аукционах или конкурсах. При заготовке древесины на арендуемом земельном участке или участке, приобретаемом на условиях купли-продажи участка лесного фонда, лесозаготовители уплачивают:

– суммы, направляемые в федеральный бюджет, в размере минимальных ценовых ставок на древесину, отпускаемую на корню, устанавливаемые с учётом условий их эксплуатации;

– суммы, фиксируемые по итогам торговых процедур, которые получают сверх минимальных ценовых ставок на древесину, отпускаемую на корню, и поступающие в бюджеты субъектов федерации.

Поступающие в бюджетную систему суммы финансовых ресурсов представлены ниже в таблице 1 [1]. Как видно из представленных данных, несмотря на более быстрый рост суммы платежей за использование лесов, их доля в бюджетных доходах не превышает 0,18 %. Кроме того, из бюджетной системы на финансирование управления лесами, тушение пожаров в лесах, расположенных на землях лесного фонда, на иные нужды лесохозяйственной деятельности выделялись существенные суммы, что снижает значимость объектов управления лесами для финансовой системы государства.

Таблица 1

Динамика доходов бюджетов бюджетной системы и платежей за использование лесов Российской Федерации за 2015–2019 годы, млн руб.

Показатель	Год				
	2015	2016	2017	2018	2019
Доходы консолидированного бюджета и бюджетов государственных внебюджетных фондов, всего	26687195,0	27970175,7	30797506,2	37042739,5	39243911,1
Из них:					
- доходы федерального бюджета	13551394,6	13371483,0	14969634,0	19318136,3	20061882,5
- доходы консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации	9181207,4	9801039,6	10629262,6	12251075,9	13445556,3
Плата за использование лесов, расположенных на землях лесного фонда, по договору купли-продажи лесных насаждений и арендной платы, всего	23248,8	26543,5	30160,9	42198,6	48746,6
В том числе:					
- плата за использование лесов, расположенных на землях лесного фонда, в части минимального размера платы по договору купли-продажи лесных насаждений, поступающая в федеральный бюджет	862,5	969,2	1225,8	1930,2	1950,9
- плата за использование лесов, расположенных на землях лесного фонда, в части минимального размера арендной платы, поступающая в федеральный бюджет	16836,6	18227,6	19742,6	27608,9	32505,9
- плата за использование лесов, расположенных на землях лесного фонда, в части, превышающей минимальный размер платы по договору купли-продажи лесных насаждений	376,1	1544,6	2712,2	4039,2	4614,1
- плата за использование лесов, расположенных на землях лесного фонда, в части, превышающей минимальный размер арендной платы	5173,6	5802,1	6480,3	8620,3	9675,7

Предприятия, осуществляющие заготовку и переработку древесины, реализуя готовую продукцию, перечисляют в бюджетную систему налоговые платежи и формируют собственные финансовые ресурсы в виде чистых денежных потоков, включающих чистую прибыль и амортизацию. Поскольку объёмы выпуска продукции в лесном секторе в рассматриваемый период времени характеризуются ростом, то для его поддержания требуются значительные финансовые ресурсы, превышающие величину начисляемой амортизации. Их источником могут выступать чистая прибыль и привлекаемые внешние источники финансирования (банковские кредиты, займы и так далее). Сальдированный финансовый результат в виде прибыли по видам деятельности в лесном секторе представлен в таблице 2 [2].

**Сальдированный финансовый результат в виде прибыли по видам деятельности
в лесном секторе за 2017–2019 годы, млн руб.**

Виды деятельности	Год		
	2017	2018	2019
Лесоводство и лесозаготовки	–593	–275	–1513
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	2338	10742	27101
Производство мебели	4867	5329	4469
Производство бумаги и бумажных изделий	79813	128723	114203

Как видно, лесозаготовительное производство не формирует достаточные для развития суммы прибыли, поэтому рост объемов выпускаемой продукции должен поддерживаться за счет либо расширения числа действующих предприятий, что маловероятно, учитывая рентабельность данного вида деятельности, либо за счет финансовых ресурсов, привлекаемых из внешних источников финансирования.

Наиболее капиталоемкими производствами в лесном секторе выступают производства по выпуску целлюлозы, бумаги и бумажных изделий. Предприятия данного вида деятельности характеризуются более развитой системой корпоративного управления, подразумевающей большую открытость и более совершенную систему взаимодействия между менеджерами, акционерами, кредиторами, иными заинтересованными лицами. Указанные особенности позволяют более широко привлекать внешние источники финансирования. В настоящее время на химическую переработку древесины направляется приблизительно 35 % от объемов лесозаготовок, что предопределяет заинтересованность этих производств в бесперебойном их снабжении сырьевыми ресурсами. Происходящие процессы концентрации производства позволяют обеспечивать лесозаготовительные производства финансовыми ресурсами в требуемых объемах.

Список литературы

1. Базы данных: Электронный каталог E-ECOLOG.RU. URL: <https://roskazna.gov.ru/ispolnenie-byudzheto/federalnyj-byudzhet> (дата обращения: 08.04.2021).
2. Российский статистический ежегодник. 2020 : Стат. сб. / Росстат. М., 2020. 700 с.

УДК 628.477.6

Д. А. Слюсарев,

магистр 1 года, Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Мытищи, МО, РФ,
slusarevda@gmail.com

О. В. Маслова,

к. х. н., научный сотрудник, МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, РФ,
olga.maslova.rabota@gmail.com

О. В. Сенько,

к. х. н., научный сотрудник, МГУ им. М. В. Ломоносова, ИБХФ им. Н. М. Эмануэля РАН, г. Москва, РФ,
senkoov@gmail.com

О. И. Морозова,

к. э. н., доцент, Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Мытищи, МО, РФ,
zoi79@inbox.ru

ВЫБОР ПОДХОДА К ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Выполнено при финансовой поддержке госзадания АААА-А21-121011290089-4.

Комплексный подход к переработке отходов деревообработки ориентируется не только на экономическую, но и экологическую и социальную составляющие. Применение комбинированных технологий, содержащих биокаталитическую стадию, позволяет улучшить экологичность процессов переработки. Необходимо учитывать и достижение экономической эффективности переработки.

***Ключевые слова:** переработка отходов, отходы деревообработки, комбинированный подход, биокаталитические технологии.*

D. A. Slyusarev,

Master of 1 year, Mytishchi branch of the Moscow State Technical University N. E. Bauman, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation,
slusarevda@gmail.com

O. V. Maslova,

Ph.D., Researcher, Lomonosov Moscow State University, Moscow. Moscow, Russian Federation,
olga.maslova.rabota@gmail.com

O. V. Senko,

Ph.D., Researcher, Lomonosov Moscow State University, IBCP RAS, Moscow, Russian Federation,
senkoov@gmail.com

O. I. Morozova,

Ph.D, Associate Professor, Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation,
zoi79@inbox.ru

CHOOSING AN APPROACH TO WOODWORKING WASTE PROCESSING

An integrated approach to the processing of woodworking waste focuses not only on the economic, but also environmental and social components. The use of combined technologies containing the biocatalytic stage makes it possible to improve the environmental friendliness of the processing processes. It is also necessary to take into account the achievement of economic efficiency of processing.

Keywords: waste processing, woodworking waste, combined approach, biocatalytic technologies.

При заготовке и переработке древесины количество образующихся отходов может достигать более 50 %. Они преимущественно не токсичны, однако в процессе хранения занимают большие площади, вызывают переувлажнение участка, а также, постепенно разлагаются под действием микроорганизмов [1]. Отходы деревообработки являлись и являются ценным сырьевым источником [2–3]. Сегодня они в основном используются в качестве топлива и компонентов строительных материалов. На их основе разрабатываются композитные материалы, которые постоянно модернизируются с учетом современных требований и имеющихся технологий. Ограничением для использования древесных отходов в качестве дешевых топливных паллет (15–20 руб./кг) в условиях перехода к устойчивому развитию является факт того, что при их сжигании в атмосфере увеличивается количество углекислого газа. Строительные материалы, получаемые сейчас из таких отходов, не относятся к продуктам с высокой добавленной стоимостью.

В связи с переходом к устойчивому развитию ужесточаются требования к экологизации производств, технологий и материалов, происходит переориентирование производственных цепочек с учетом социальной и экологической составляющих. Актуальными являются проблемы усовершенствования существующих, а также поиски принципиально новых подходов к переработке отходов деревозаготовки [4–8]. Лесной сектор является капиталоемким и имеет длительные инвестиционные циклы. При поиске наилучших технологических решений сегодня следует ориентироваться на устойчивое развитие, которое позволяет обеспечивать долгосрочную окупаемость инвестиций. При выборе подхода к переработке определяющими являются состав и основные характеристики отходов деревопереработки, их исходное местоположение, а также доступность практической реализации той или иной технологии переработки. Помимо экономической эффективности технологию оценивают с учетом социальной и экологической составляющих [9].

В связи с особой актуальностью проблем, связанных со снижением количества отходов, в настоящее время активно ведутся научные и технические разработки в этой области, поэтому специалистам, работающим в сфере деревопереработки, необходимо осуществлять постоянный мониторинг соответствующих технологий. Кроме того, важно понимать, какие из известных технологий уже реализованы на практике, или формально уже доступны для реализации (имеется требуемое оборудование, лабораторные регламенты). Отобранные (с учетом типа отходов деревопереработки и их исходного местоположения) в качестве возможных для практической реализации технологии переработки необходимо далее рассмотреть с трех точек зрения: экономической, экологической, социальной.

Несомненно, для любого владельца компании или фирмы сегодня определяющей будет именно экономическая составляющая (получение максимальной прибыли или минимизация затрат, в случае необходимой утилизации). В долгосрочной перспективе следует ориентироваться на реализацию политики двойного выигрыша (win-win policy) в рамках циркулярной экономики, подразумевающей одновременное обеспечение экономической эффективности и достижение экологических эффектов [6, 10]. Для снижения экономических рисков при разработке и внедрении новых ресурсосберегающих экологических технологий переработки древесных отходов целесообразным можно считать привлечение в технологические циклы ферментных биокатализаторов или клеточных конструкций, являющихся продуцентами продуктов или полупродуктов для получения товаров с высокой добавленной стоимостью (например, полимерные материалы для медицинской, фармацевтической и космической промышленности) и комплексного подхода, учитывающего не только экономическую, но и социальную составляющую технологии, а также ее экологичность. Практическая реализация новых технологий позволяет создавать новые рабочие места, что положительно влияет на социальную составляющую в направлении снижения уровня безработицы. Оценка разноплановых параметров воздействия

процесса на окружающую среду (потребление энергии, истощение природных ресурсов, озоноразрушающая способность, влияние на изменения климата и др.) позволяет оценивать экологическую составляющую процесса переработки отходов [9].

С учетом вышеизложенного и в результате проведения сравнительного анализа среди известных перспективных направлений переработки отходов древесины можно выделить получение наноцеллюлозы – ценного полупродукта для получения нанокомпозитов (табл.). Важно, что производство наноцеллюлозы может быть организовано непосредственно на месте складирования древесных отходов.

Также к перспективным можно отнести подходы, связанные с получением полилактидов и полигидроксиалканоатов (см. табл.). Они характеризуются одновременно высоким рыночным потенциалом, так как вышеобозначенные полимеры могут быть использованы как для получения дорогостоящих материалов, используемых в медицине и фармацевтике, так и позволяют решать проблему накопления отходов, уже сегодня из них изготавливают дешевые биоразлагаемые упаковочные материалы и т. п. [7].

Т а б л и ц а

Некоторые известные подходы к переработке древесных отходов

Исходные отходы	Особенность подхода к переработке	Целевой продукт	Рыночная стоимость продукта*	Экологичность **
Древесная мука, полученная из хвойных плит (<i>Pinus taeda</i>) [9]	Ферментативный гидролиз	Наноцеллюлоза с размером частиц 250 нм и менее	750 руб./кг	5
Стружка и опилки [11]	Комбинирование с гипсом	Плиты для строительства подвесных потолков	200 руб./кг	5
Сосновые опилки и полиэтилен высокой плотности [12]	Непрерывный пиролиз-риформинг	Водород	110 руб./л	2
Осиновые опилки [8]	Ферментативный гидролиз и микробиологическая трансформация	Полилактиды через молочную кислоту	100–1800 руб./кг	5
		Фумаровая кислота	100 руб./кг	5
		Янтарная кислота	400 руб./кг	5
Опилки [13]	Обогащенный продуцентами ПГА ацидогенный ил	Полигидроксиалканоаты через жирные кислоты	150–1300 руб./кг	5
Отходы сосны и тополя [14]	Ферментативный гидролиз и микробиологическая трансформация	Биоэтанол	100 руб./л	5

* – данные из коммерческих предложений официальных поставщиков продукции на территории РФ, январь 2021 г.

** – оценка по пятибалльной шкале, где наилучший показатель соответствует 5.

Таким образом, при выборе подхода к переработке отходов деревообработки следует использовать комплексный подход, ориентироваться не только на экономическую, но и экологическую и социальную составляющие. Включение биокатализаторов в химические технологические циклы позволяет улучшить экологичность процессов переработки. Достижение экономической эффективности возможно при ориентации на получение целевых продуктов с потенциально высокой добавленной стоимостью.

Список литературы

1. Ведерников К. Е., Бухарина И. Л. Проблемы использования отходов деревообработки // Наука Удмуртии. 2017. № 4. С. 15–18.
2. Ведерников К. Е., Бухарина И. Л., Загребин Е. А. Использование отходов деревообработки для получения топливных гранул // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 11. С. 61–63.
3. Зиатдинова Д. Ф., Сафин Р. Г., Тимербаев Н. Ф., Левашко Л. И. Анализ современного состояния производства теплоизоляционных материалов и возможности создания новых материалов на основе отходов деревообработки // Вестник КазГУ. 2011. № 18. С. 63–68.
4. Денисова Т. Р., Шайхиев И. Г., Маврин Г. В., Сиппель И. Я., Мубаракшина А. Ю. Удаление нефтяных пленок с поверхности воды модифицированными отходами деревообработки липы // Вестник КазГУ. 2017. Т. 20. № 3. С. 156–158.
5. Садртдинов А. Р., Исмагилова Л. М., Мухаметзянов Р. Р. Перспективные направления переработки неликвидной древесной биомассы лесозаготовок и деревообработки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2(2-3). С. 117–119.

6. Маслова О. В., Сенько О. В., Ефременко Е. Н. Биотехнологические процессы получения органических кислот для решения задач экономики устойчивого развития // Сборник Международной научно-практической конференции «Экологические чтения – 2018». Омск, 2018. С. 184–187.
7. Химия биомассы: биотоплива и биопластики / под ред. С. Д. Варфоломеев. М. : Научныймир, 2017. 790 с.
8. Maslova O., Stepanov N., Senko O., Efremenko E. Production of various organic acids from different renewable sources by immobilized cells in the regimes of separate hydrolysis and fermentation (SHF) and simultaneous saccharification and fermentation (SSF) // Bioresource technology. 2019. V. 272. P. 1–9.
9. Bauli C. R., Rocha D. B., de Oliviera S. A., Rosa D. S. Cellulose nanostructures from wood waste with low input consumption // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 211. P. 408–416.
10. Generowicz N., Kowalski Z. Cascade use of post-production waste from the wood industry // Polityka Energetyczna-Energy Policy Journal, 2020, P. 87-102.
11. Pedreño-Rojas M. A., Morales-Conda N. J., Perz-Gonvales F., Rodriguez-Linan C. Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste // Journal of Cleaner Production. 2017. V. 166/ P. 690–705.
12. Arregi A., Amutio M., Lopez G., Artetxe M., Alvares J., Bilbao J., Olazar M. Hydrogen-rich gas production by continuous pyrolysis and in-line catalytic reforming of pine wood waste and HDPE mixtures // Energy Conversion and Management. 2017. V. 136. P. 192–201.
13. Li D., Yin F., Ma X. Towards biodegradable polyhydroxyalkanoate production from wood waste: Using volatile fatty acids as conversion medium // Bioresource Technology. 2020. V. 299. 122629.
14. Bay M. S., Karimi K., Esfahani M. S., Kumar R. Structural modification of pine and poplar wood by alkali pretreatment to improve ethanol production // Industrial Crops and Products. 2020. V. 152. 112506.

УДК 630*221.02

Н. Н. Теринов,

д. с.-х. н., профессор кафедры ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» г. Екатеринбург, РФ,

n_n_terinov@mail.ru

Э. Ф. Герц,

д. т. н., профессор кафедры ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» г. Екатеринбург, РФ,

gerz.e@mail.ru

А. В. Мехренцев,

к. т. н., зав. каф. ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» г. Екатеринбург, РФ,

mehrentsevav@m.usfeu.ru

В. А. Азаренок,

д. с.-х. н., профессор кафедры ТОЛП, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» г. Екатеринбург, РФ,

v.azarenok@yandex.ru

СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРЕСТОЙНЫХ БЕРЕЗНЯКОВ ПОСЛЕ ПЕРВОГО ПРИЕМА ВЫБОРОЧНОЙ РУБКИ

После первого приема равномерно-постепенной рубки выявлено увеличение темнохвойных пород в составе нижнего яруса древостоев за счет перехода крупного подроста в категорию тонкомерных деревьев. Больше чем в половине случаев сформировался II ярус. В составе подроста доминирует благонадежная ель и пихта крупной категории высот. При последнем исследовании (2019) установлено, что поврежденная в результате трелевки хлыстов, грибных заболеваний или других факторов береза из II и III категории перешла в категорию VII (деревья со структурными изъянами). Установлено, что доля таких деревьев на участках рубок составляет от 15 до 30 % по запасу. Кроме того, эта категория деревьев имеет высокую вероятность погибнуть от ветра и ее следует отнести наравне с категориями IV и V к текущему отпаду. Таким образом, в перестойных березняках период между приемами рубки должен быть минимальным. Удобным для производства документов при определении санитарного состояния деревьев является шкала 1995 года с добавлением деревьев VII категории.

Ключевые слова: выборочная рубка, шкала санитарного состояния деревьев.

N. N. Terinov,

Doctor of Agricultural Science, Professor, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation,

n_n_terinov@mail.ru

E. F. Gertz,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation,

gerz.e@mail.ru

A. V. Mekhrentsev,

Candidate of Technical Sciences, Head of Technology and Equipment for Timber Industry Department, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation,
mehrentsevav@m.usfeu.ru

V. A. Azarenok

Doctor of Agricultural Science, Professor, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation,
v.azarenok@yandex.ru

THE STATE OF THE SECONDARY OLD BIRCH STANDS AFTER FIRST OF SELECTIVE CUTTING

After the first stage of evenly-gradual cutting, an increase in dark coniferous species in the lower story of stands was revealed. This was due to the transition of large undergrowth to the category of thin trees. In more than half of the cases, the second story was formed. The undergrowth is dominated by reliable of large spruce and fir. In the latest study (2019) it was found that birch trees damaged as a result of skidding, fungal diseases or other factors from the II and III categories moved to the VIII category (trees with structural defects). It is established that the share of such trees in the area cuttings is from 15 to 30 % from the volume of wood. In addition this category of trees has a high probability of dying from the wind and it should be attributed along with the categories IV and V to the dead trees. Thus, in the old birch stands the period between stage of cutting should be minimal. A convenient document for production in determining the sanitary condition of trees is the scale of 1995 with the addition of trees of the VII category.

Keywords: selective cuttings, scale of the sanitary condition of trees.

Одним из обязательных элементов системы мониторинга лесных насаждений является санитарная оценка эдификатора – древостоя. В 2017 и 2020 годах приняты новые Правила санитарной безопасности в лесах, где дополнительно введена категория – VII, а категории V и VI были расширены: деревья подразделялись по причине и времени их гибели. Целью данного исследования являлось изучение восстановительной динамики перестойных березняков после первого приема выборочной рубки и использование правил санитарной безопасности в лесах с точки зрения практического их применения на производстве.

Объект исследований находится в округе широколиственно хвойных лесов Нижнесергинском лесничестве Бардымском участковом лесничестве в кв. 124, выд. 3, 4, 7 (лесоустройство 1999 г.) и представляет собой лесосеки первого приема равномерно-постепенной рубки в перестойном производном мягколиственном насаждении 16–17-летней давности общей площадью 40,2 га. Их интенсивность составляла 45–55 %. На объекте сразу после рубки в 2002–2003 годах заложено 6 пробных площадей (ПП). Периодически с интервалом в 3 года (с 2005 по 2013 гг.) в конце лета – начале осени на ПП проводились наблюдения за санитарным состоянием деревьев. При последнем исследовании в 2019 году на пробных площадях одновременно со сплошным пересчетом для каждого дерева определялась категория его санитарного состояния в соответствии с тогда действующими правилами Санитарной безопасности в лесах (2017).

На основании проведенных исследований установлено, что на объекте сформировались среднеполнотное производные мягколиственные насаждения III класса бонитета в большинстве случаев со II ярусом и подростом темнохвойных пород. Возраст березы и осины верхнего яруса составляет 100 лет, ели и пихты – 135 лет, нижнего яруса от 40 до 60 лет, темнохвойного подростка 30 лет. По отношению к начальной стадии формирования древостоя после первого приема равномерно-постепенной рубки выявлено снижение среднего возраста и увеличение темнохвойных древесных пород в составе нижнего яруса древостоев за счет перехода крупного подростка в категорию тонкомерных деревьев. В составе подростка зафиксировано безусловное доминирование благонадежной ели и пихты крупной категории высот.

Исследование в 2019 году показало, что в период между последним учетом санитарное состояние древостоев (2013–2019 гг.) существенно ухудшилось. Этому способствовала также изменившаяся методика учета санитарного состояния древостоя. В процессе исследования было отмечена трудность определения причины гибели деревьев: либо это старый сухостой со сломленным стволом, либо дерево погибло в результате бурелома. Кроме того, сухостойное дерево также могло быть повалено ветром. Точную причину можно установить при ежегодном обследовании древостоев, но в практической деятельности это далеко не всегда представляется возможным и целесообразным. Вместе с тем при таком подходе исключается старый сухостой (категория б), ветровал (категория ба) и бурелом (бб). Реально состояние древостоев фиксируется в процессе таксации насаждений при проведении лесоустройства в идеале через каждые 10 лет. С точки зрения лесозаготовителя сухостойные деревья можно аккуратно положить вершиной на пасечный волок. При трелевке буреломных и ветровальных деревьев, когда стволы лежат бессистемно, может серьезно пострадать подрост и древостой. По этим причинам в наших исследованиях оставшиеся на корню отдельно сухостойные деревья и отдельно ветровальные и буреломные деревья без учета срока их гибели были объединены в две

группы. Деревья первых трех категорий вполне жизнеспособны, составляют от 58,2 до 82,2 % по запасу и в отличие от деревьев IV-й категории (усыхающие), представленная в основном перестойной крупномерной осиной и тонкомерной елью и пихтой, их гибель в ближайшей перспективе не ожидается.

Погибшие деревья составляют от 2,6 до 21,2 % по запасу. Из древесных пород по этому показателю лидирует тонкомерная пихта, гибель которой достигает 61,6 %, в т. ч. запас сухостойных деревьев пихты – 46,2 %. Ветровалу подвержены как правило крупномерные деревья. Несмотря на то, что участие в составе ели и пихты (за исключением ПП 2) составляет 2–3 единицы на их долю приходится от 8,7 до 64,5 % погибших от ветровала деревьев.

В 2017 году была принята VII категория состояния деревьев, к которым отнесли деревья со структурными изъянами (наличие дупел, гнилей, обрыв корней, опасный наклон), способными привести к падению всего дерева или его части [1] (рис. 1). Одной из причин является повреждение камбия и древесины в процессе трелевки хлыстов из пасеки.

Впоследствии на поврежденном месте образуется гниль. Учитывая возраст деревьев, процесс разложения древесины происходит довольно активно [2]. Объем деревьев со структурными изъянами на обследованных участках рубок находился в пределах от 15 до 30,0 % от общего запаса древостоя, что в абсолютных единицах составляет от 24,7 до 48,3 м³/га. При этом деревья VII категории имеют здоровую крону без признаков ослабления (рис. 2). По совокупным характеристикам такие деревья можно отнести к III [3] или ко II [4, 5] категории санитарного состояния деревьев, а это означает, что в рубку они могут не назначаться. В то же время деревья VII категории имеют высокую степень ветровальности (рис. 3) и их следует отнести наравне с категориями IV и V к текущему отпаду [6]. Ожидается, что значительная их гибель произойдет в ближайшей перспективе.



Рис. 1. Поврежденный гнилью комлевая часть ствола березы



Рис. 2. Крона пораженной гнилью березы



Рис. 3. Погибшие деревья березы поврежденные гнилью

Таким образом, по нашему мнению наиболее удобным для производства инструментом при определении санитарного состояния деревьев является шкала 1995 (возможно шкала 2005 года) с добавлением в деревья VII категории. В этом случае в рубку будут назначаться деревья IV, V, VI и VII категорий санитарного состояния. Захламленность насаждения фиксируется либо при обследовании

таксационного выдела в карточке таксации, либо при отводе лесосеки в рубку, либо при лесопатологическом обследовании участка.

Работа выполнена в рамках темы «Экологические аспекты рационального природопользования» (Номер государственной регистрации FEUG-2020-0013).

Список литературы

1. О Правилах санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства РФ № 607 от 20.05.2017 // ИПС «ГАРАНТ». URL: <https://base.garant.ru/71685642> (дата обращения: 29.03.2021).
2. Амосова И. Б., Феклистов П. А. Поражение стволов березы повислой (*Betula pendula* Roth.) деревьями разрушающими грибами // Экологические проблемы Севера. Архангельск : САФУ, 2010. С. 18–23.
3. Санитарные правила в лесах Российской Федерации (ред. от 20.01.95): приказ Рослесхоза № 90 от 18.05.92 // Законодательная база Российской Федерации. URL: <https://zakonbase.ru/content /base/12126> (дата обращения: 29.03.2021).
4. Санитарные правила в лесах Российской Федерации: приказ МПР РФ № 350 от 27 декабря 2005 г.: зарегистрировано в Минюсте РФ 16 марта 2006 г. // Законы, кодексы и нормативные акты в Российской Федерации. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-mp-rf-ot-27122005-n-350> (дата обращения: 29.03.2021).
5. Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства РФ № 2047 от 9 декабря 2020 г. // ИПС «ГАРАНТ». URL: <https://base.garant.ru/75037636> (дата обращения: 29.03.2021).
6. Залесов С. В., Ведерников Е. А., Залесова Е. С., Иванчина Л. А., Эфа Д. Э. Определение санитарного состояния древостоев // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 54–61.

УДК 57.06

И. А. Толбина,

аспирант 1 года, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
tolbina1995@mail.ru

М. П. Чернышов,

профессор, к. с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
lestaks53@mail.ru

ХРЕНОВСКОЙ БОР – ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Хреновской бор – один из крупных лесных массивов в лесостепной зоне Восточной Европы. Его площадь составляет 35 тыс. га. Так как площадь бора достаточно велика, то нужно более тщательно проводить уход за культурами, в который входит ряд мероприятий по сохранению неисчерпаемых ресурсов. В настоящее время под влиянием антропогенного воздействия ухудшается санитарное состояние сосновых насаждений и происходит истощение лесных ресурсов. Сохранение уникальных средневозрастных, старовозрастных, групп и отдельно стоящих деревьев искусственных сосновых насаждений Хреновского бора – это важнейшая задача по сохранению биоразнообразия. На данный момент необходимо совершенствовать способы искусственного лесоразведения, поскольку оптимальное использование генетического потенциала видов возможно только при создании устойчивых популяционных систем.

Ключевые слова: Хреновской бор, сосна обыкновенная, лесной массив, живой напочвенный покров.

I. A. Tolbina,

1 year postgraduate student, Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, Voronezh, RF,
tolbina1995@mail.ru

M. P. Chernyshov,

professor, Candidate of Agricultural Sciences, Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, Voronezh, RF,
lestaks53@mail.ru

KHRENOVSKY BOR – PROBLEMS OF CONSERVATION AND RESTORATION

Khrenovskaya Bor is one of the largest forests in the forest-steppe zone of Eastern Europe. Its area is 35 thousand hectares. Since the boron area is large enough, it is necessary to more carefully care for crops: which include a number of measures to preserve non-depleting resources. At present, under the influence of anthropogenic impact, the sanitary state of pine plantations is deteriorating and forest resources are being depleted. The preservation of unique middle-aged, old-growth, groups and separate trees of artificial pine plantations of the Khrenovsky pine forest is the most important task for the preservation of biodiversity. At the moment, it is necessary to improve the methods of artificial afforestation, since the optimal use of the genetic potential of species is possible only with the creation of sustainable population systems.

Keywords: Khrenovskaya boron, Scots pine, forest, living ground cover.

Хреновской бор – островной лесной массив на территории Бобровского района в юго-восточной части Воронежской области, на левом берегу реки Битюг. Это уникальный по своим качествам памятник природы, в перспективе природный заказник. Хреновской бор служит предметом исследований лесоводов, ботаников, энтомологов, почвоведов. Он играет огромную природоохранную роль, защищая поля от степных суховеев и предохраняя почву от эрозии.

Хреновской бор сформировался в подзоне типичной лесостепи и занимает площадь 35 тыс. га [2]. Здесь проходит южная граница ареала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*). В Хреновском бору сосна растет на песках и на супесях. Рудовая сосна в бору произрастает на высоких песках. Древесина плотная, годовичные слои узкие. В древесине содержится большое количество живицы.

Мендовая сосна растет в низменных участках, в основном на супесях. Древесина более рыхлая, с широкими слоями мягкой древесины. Менее смолистая. Между дюнами сосна образует насаждения, которые выдающийся лесовод Г. Ф. Морозов назвал низинными борами [3].

Живой напочвенный покров в Хреновском бору довольно скуден. В низинах: мох, грущанка, брусника, земляника, вейник наземный. На пустырях встречается самосев березы бородавчатой (*Betula verrucosa Ehrh.*). В низинах встречается небольшие группы из осины (*Populus tremula L.*). Главным достоинством осины является то, что осина хорошо возобновляется корневыми отпрысками, которые способствуют разрастанию пустырей. Это очень важно для Хреновского бора, расположенного в сухом климате. Среди берез и осин можно наблюдается редкий самосев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia L.*). Из других подлесочных пород между дюнами растут крушина ломкая (*Frangula alnus*) и ракитник русский (*Cytisus ruthenicus Fisch. ex Bess.*).

В настоящее время под влиянием антропогенного воздействия ухудшается санитарное состояние сосновых насаждений, что приводит, к истощению природных ресурсов Хреновского бора.

Сохранение уникальных средневозрастных, старовозрастных, групп и отдельно стоящих деревьев естественных и искусственных сосновых насаждений Хреновского бора – это важнейшая задача по сохранению биоразнообразия. На данный момент необходимо совершенствовать способы искусственного лесовосстановления и лесоразведения, поскольку оптимальное использование генетического потенциала видов возможно только при создании устойчивых популяционных систем [1].

С целью изучения современного состояния лесных насаждений Хреновского бора, для разработки рекомендаций по дальнейшему сохранению и восстановлению сосновых насаждений нами были заложены пробные площади. Пробные площади закладывались в различных возрастных группах чистых по составу сосновых насаждениях (табл.).

Т а б л и ц а

Сводная ведомость пробных площадей в искусственных насаждениях

№ ПП	Возраст, лет	Средние			Бонитет	Запас, м ³ /га	Сохранность, %
		высота, м	диаметр, см	Прирост по высоте, м			
1	60	18,0	28,0 ± 1,0	0,30	II	166	70
2	80	21,3	34,0 ± 0,9	0,26	III	198	60
3	70	19,2	30,0 ± 0,8	0,27	II	177	64
4	80	21,5	36,0 ± 1,1	0,26	III	199	55
5	70	19,0	28,0 ± 0,9	0,27	II	206	63
6	15	5,0	12,0 ± 0,6	0,33	II	37	85
7	30	9,2	18,0 ± 1,4	0,30	III	73	80

На пробной площади № 1 сосна обыкновенная растет на песчаных почвах.

В возрасте 60 лет сосна обыкновенная имеет среднюю высоту 18,0 м, средний диаметр – 28,0 см, средний прирост в высоту – 0,3 м. Запас равен 166 м³/га. Сохранность насаждения составляет 70 %.

Пробная площадь находится вблизи опушки, поэтому живой напочвенный покров представлен следующими видами: одуванчик лекарственный, гравилат городской, полынь горькая и другие травянистые видами.

На пробной площади № 2 сосна растет на супесчаных почвах. В возрасте 80 лет сосна обыкновенная имеет среднюю высоту 21,3 м и средний диаметр – 34,0 ± 0,9 см, средний прирост в высоту составил 0,26 м. Запас равен 198 м³/га. Сохранность в настоящее время составляет 60 %, продолжается выпадение отдельных деревьев и усыхание крон. Живой напочвенный покров довольно скуден, из-за наличия толстого слоя неразложившейся лесной подстилки из хвои.

Сосна обыкновенная на пробной площади № 3, в возрасте 70 лет, имеет среднюю высоту 19,2 м и средний диаметр – 30,0 ± 0,8 см, средний прирост в высоту составил – 0,27 м. Запас равен 177 м³/га. Сохранность насаждения в настоящее время составляет 64 %.

Живой напочвенный покров представлен следующими видами растений: одуванчик лекарственный, гравилат городской, цикорий обыкновенный, подорожник большой, полынь горькая.

На пробной площади № 4 в возрасте 80 лет сосна имеет среднюю высоту 21,5 м и средний диаметр – $36,0 \pm 1,15$ см, средний прирост по высоте составил 0,26 м. Запас равен $199 \text{ м}^3/\text{га}$.

Сохранность 80-летних деревьев в настоящее время составляет 55 %.

Живой напочвенный покров представлен следующими видами растений: осока волосистая, цикорий обыкновенный, подорожник большой, полынь горькая.

На пробной площади № 5 имеет среднюю высоту 19,0 м и средний диаметр – $28,0 \pm 0,9$ см, а средний прирост по высоте составляет 0,27 м. Запас равен $206 \text{ м}^3/\text{га}$. Сохранность в настоящее время составляет 63 %.

На пробной площади № 6 в возрасте 15 лет сосна обыкновенная имеет среднюю высоту 5,0 м и средний диаметр – $12,0 \pm 0,6$ см, средний прирост по высоте составил 0,33 м. Запас равен $37 \text{ м}^3/\text{га}$. Сохранность в настоящее время составляет 85 %.

Культуры сосны обыкновенной, на ПП № 6 произрастают на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования. Поскольку культуры произрастают на песчаных почвах, особенной в сухих условиях местопроизрастания, они не отличаются высокой продуктивностью.

Живой напочвенный покров представлен следующими видами растений: кощачья лапка, овсяница песчаная, полынь горькая, осока волосистая.

Насаждения на пробной площади № 7 в возрасте 30 лет имеет среднюю высоту 9,2 м и средний диаметр – $18,0 \pm 1,4$ см, средний прирост в высоту составил 0,30 м. Запас равен $73 \text{ м}^3/\text{га}$. Сохранность в настоящее время составляет 80 %.

На пробной площади имеется подрост березы повислой. Живой напочвенный покров представлен следующими видами растений: кощачья лапка, одуванчик лекарственный, полынь горькая, осока волосистая, клевер белый.

В заложенных пробных площадях 1, 3, 5 и 6 сосна обыкновенная растет по II классу бонитета. В настоящее время состояние насаждений можно оценить, как удовлетворительное. Наблюдаются группы самосева, представленные сосной. По III классу бонитета растет сосна на 2,4 и 7 площадях. Наблюдается выпадение отдельных деревьев и усыхание крон.

Хозяйственная деятельность человека и глобальные изменения климата требуют всестороннего изучения их влияния на состояние, рост, биоразнообразие и структуру Хреновского бора.

Список литературы

1. Кузин Н. Л. Защитная роль сосны обыкновенной : автореферат дис. ... кан. с.-х. наук ; 060304 – Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов ; 060301 – Лесные культуры, селекция, семеноводство. Саратов, 2007. 22 с.
2. Мильков Ф. Н. Природные зоны СССР. М., 1977. 293 с.
3. Морозов Г. Ф. Учение о лесе. М., 1930. 57 с.

УДК 630

С. М. Хамитова,

к. с.-х. н., доцент кафедры ГиРП, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, РФ,
xamitowa.sveta@yandex.ru

А. С. Пестовский,

к. с.-х. н., научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, г. Москва, РФ,
apestovski@mail.ru

М. А. Иванова,

старший преподаватель кафедры ГиРП, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, РФ;
аспирант 2 года, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет», г. Архангельск, РФ,
ivmarso@yandex.ru

Е. И. Федченко,

старший преподаватель кафедры ГиРП, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, РФ,
ellenn08@yandex.ru

С. П. Базюк,

магистрант 1 года, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет», г. Архангельск, РФ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В Вологодской области существуют некоторые проблемы с лесовосстановительными мероприятиями. Решение этих проблем может коренным образом улучшить качество и продуктивность лесовосстановления в регионе. Одной из главных

задач национального проекта «Экология» является увеличение количества сеянцев с закрытой корневой системой. В связи с чем, в Вологодской области расширяются существующие питомники.

Ключевые слова: лесовосстановление, природные ресурсы, лесные культуры, закрытая корневая система.

S. M. Hamitova,

Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor, Vologda State University, Vologda, Russian Federation, xamitowa.sveta@yandex.ru

A. S. Pestovskyi,

Candidate of Agriculture Sciences, Research Associate, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow, Russian Federation, apestovski@mail.ru

M. A. Ivanova,

Senior Lecturer, Vologda State University, Vologda, Russian Federation; 2nd year graduate student, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russian Federation, ivmarso@yandex.ru

E. I. Fedchenko,

Senior Lecturer, Vologda State University, Vologda, Russian Federation, ellenn08@yandex.ru

S. P. Bazyuk,

1stMaster's Student, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russian Federation

MODERN PROBLEMS AND PROSPECTS OF REFORESTATION IN THE VOLOGDA REGION

In the Vologda Oblast, there are some problems with reforestation activities. Addressing these challenges can dramatically improve the quality and productivity of reforestation in the region. One of the main tasks of the national project "Ecology" is to increase the number of seedlings with a closed root system. In this connection, the existing nurseries are being expanded in the Vologda region.

Keywords: reforestation, natural resources, forest crops, closed root system.

Динамичное социально-экономическое развитие территорий во многом зависит от наличия и уровня использования природных ресурсов. В Вологодской области, как и в целом в Северо-Западном федеральном округе, самым значимым видом природных ресурсов являются леса. Однако в настоящее время наблюдается интенсивная смена хвойных пород на лиственные, сосны – на ель, что приводит к уменьшению их площадей, особенно сосновых лесов. Для увеличения доли сосны и ели в лесном фонде необходимо проводить лесовосстановление.

Основной древесной культивируемой породой в Вологодской области является ель, что связано с большей, чем у сосны, заготовкой её семян. В общем объеме искусственного возобновления на её долю приходится около 70–80 %.

В настоящее время в регионе существуют две основные проблемы восстановления лесов, решение которых позволит повысить их качество и продуктивность: 1) обеспечение лесохозяйственных предприятий качественным семенным материалом хвойных пород для лесовосстановления; 2) совершенствование технологии создания лесных культур.

Ежегодная потребность в семенах для региона составляет 40 т. Среднегодовые объемы заготовки по сосне составляют всего 2,3 т, по ели – 22,7 т. Незначительный объем заготовок семян сосны обусловлен тем, что в стадию семеношения вступает только третья часть постоянных лесосеменных участков и плантаций.

Неполное восстановление лесов на площадях после сплошных рубок ведет к истощению лесов, снижению потребительских качеств и утрате целостности леса как экосистемы. Причина этого состоит главным образом в том, что лесопользователи не в полной мере обеспечивают финансирование лесовосстановительных мероприятий.

Кроме того, законодательно лесопользователь не обязан вкладывать средства в расширенное воспроизводство лесов. Лесопользователь основную долю средств (74,9 %) вкладывает в собственный основной капитал, и лишь 17,5 % идет на восстановление используемой им государственной собственности – лесов.

В Вологодской области лесовосстановление ведется в основном методом содействия естественному возобновлению. Оставление вырубок на естественное зарастание обуславливает ускорение смены пород, и, как следствие, уменьшение площади насаждений с преобладанием хвойных пород.

С 22 по 23 октября 2020 г. в Санкт-Петербурге прошел Международный форум «Экология». На нём эксперты обсудили вопросы экологии и сохранения лесов. От Вологодской области выдвинули инициативу ввести в стране систему лесосеменного контроля на базе ЛесЕГАИС. Она направлена на отслеживание за цепочкой выращивания посадочного материала от сбора шишек до высадки сеянцев. Посевной и посадочный материал неизвестного происхождения и качество программы не допускают к работам по воспроизводству лесов.

За последние 10 лет объемы лесовосстановления в нашем регионе увеличились в 2,5 раза – с 31 тыс. га в 2009 году до 78,5 тыс. га в 2019 году. Этот показатель является третьим в стране. Кроме того, площадь лесных культур, созданная с использованием семян с закрытой корневой системой, за последние 8 лет выросла в 12 раз – с 136 га в 2013 году до 1754 га в 2020 году. К 2024 году планируется довести уровень лесовосстановления к объемам вырубок к 100% [1].

В Вологодском районе планируется строительство трёх новых теплиц для выращивания лесных семян: в 2020 году планируется установка двух теплиц площадью по 2500 м², производительностью по 1 млн семян в год каждая. Еще одна строится и будет готова к маю 2021 года. Эти три теплицы станут частью большого питомника, который располагается в Вологодском селекцентре. Благодаря трем вновь построенным теплицам, производительность питомника в Вологодском районе составит 3,5 млн семян в год.

В 2019 году выращено более 18 млн. штук семян ели и сосны. Одна из серьезных задач национального проекта «Экология» – увеличение количества семян с закрытой корневой системой.

Согласно правилам лесовосстановления [2], к 2030 году их доля в общем количестве посаженных семян должна составлять 45 %. На сегодняшний день в Вологодской области 18 % таких семян, к 2022 году планируется 20 % лесных культур из семян с закрытой корневой системой.

В Вологодской области реализуется пилотный проект по внедрению модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, в соответствии с которым арендатор имеет право выбора выращиваемой породы. Так, если арендатор имеет мощности по переработке лиственной древесины, то и выращивать для переработки он может именно лиственную древесину.

Список литературы

1. Лесной план Вологодской области на период 2018–2027 гг. Вологда : Деп. лесного комплекса, 2018. 211 с.
2. Правила лесовосстановления. М. : Кодекс, 2019. 128 с.



ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 674:006.91

Э. А. Анисимов,

к. т. н., доцент, доцент кафедры «Стандартизация, сертификация и товароведение» (ССТ), Поволжский государственный технологический университет, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, РФ,
eduaran@mail.ru

А. Н. Носова,

аспирант, старший преподаватель кафедры «Стандартизация, сертификация и товароведение», Поволжский государственный технологический университет, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, РФ,
NosovaAN79@mail.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

В работе представлен анализ качества изделий из древесины, на примере бытовой мебели. Идентификация и оценка соответствия мебели осуществлялась в соответствии с национальными стандартами. В этом аспекте особую актуальность имеют не только органолептические показатели, но и физико-химические, которые дают наиболее полную картину о качестве мебели.

Ключевые слова: *древесина, оценка соответствия, качество мебели.*

E. A. Anisimov,

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Standardization, Certification and Merchandising, Volga State University of Technology, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
eduaran@mail.ru

A. N. Nosova,

postgraduate student, senior lecturer of the Department of Standardization, Certification and Merchandising, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
NosovaAN79@mail.ru

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WOOD PRODUCTS

The paper presents an analysis of the quality of wood products, using the example of household furniture. The identification and conformity assessment of the furniture was carried out in accordance with national standards. In this aspect, not only organoleptic indicators are of particular relevance, but also physico-chemical indicators, which give the most complete picture of the quality of furniture.

Keywords: *wood, conformity assessment, quality of furniture.*

Древесина – это строительный материал, который использовался и используется в настоящее время. В современном строительстве применяются самые различные породы древесины: от традиционных (сосна, дуб, береза) до редких (вишня, груша, орех) и экзотических (морода, венге, палисандр).

Изделия из древесины классифицируются по разным признакам. Самым распространенным типом классификации деревянных изделий можно считать классификацию по назначению. В соответствии с ней изделия делят на основные группы: мебель, музыкальные инструменты, средства передвижения, посуда, ручной инструмент и т. п. Каждую из этих групп, в свою очередь, можно также классифицировать по нескольким признакам. Например, мебель из древесины и древесных материалов классифицируют по таким основным признакам как назначение, по размерам, по форме изделия, по материалу, по конструктивному исполнению и т. д.

В настоящее время стоит вопрос о качестве изделий из древесины, в частности, мебели. Но как проверить качество изготовления мебели самим покупателям? Покупатель может лишь оценить качество органолептическим методом по таким показателям как – внешний вид, габаритные размеры, цвет, механические повреждения, запах и др.

Проведем оценку соответствия некоторых видов мебели и результаты представим в виде графиков на рисунках 1–4.

Как видно из рис. 1, все изделия не превышают допустимого значения, однако необходимо отметить, что у комода и шкафа, величина находится близко к нормативной.

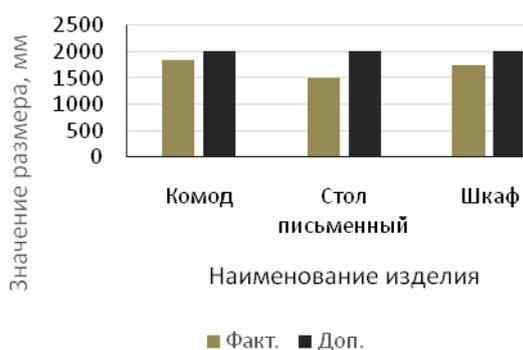


Рис. 1. Оценка соответствия изделий по габаритным размерам

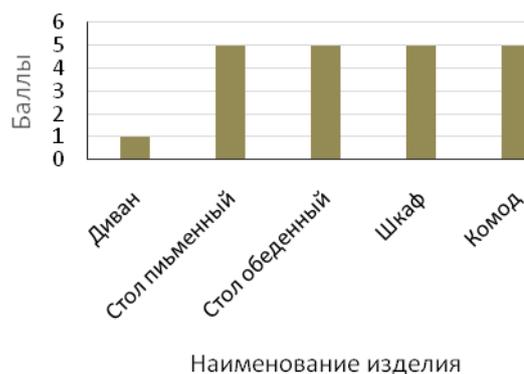


Рис. 2. Оценка соответствия изделий по наличию запаха

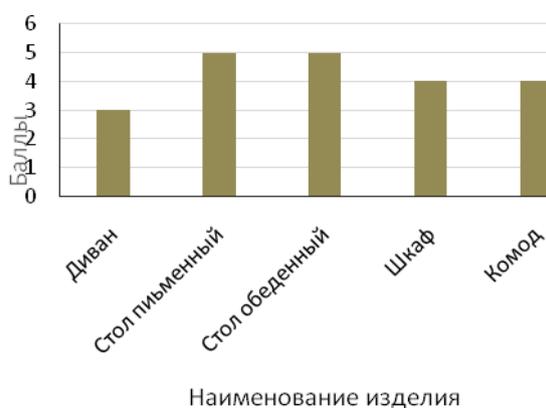


Рис. 3. Оценка соответствия изделий по цвету

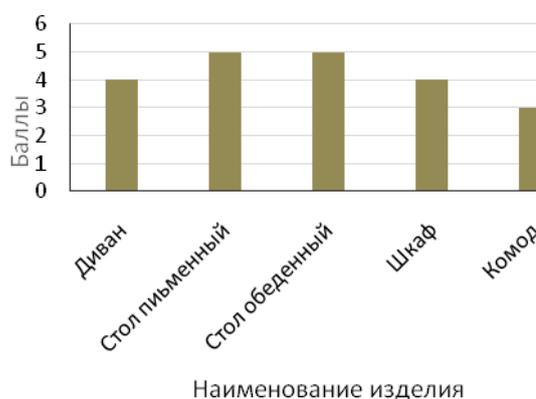


Рис. 4. Оценка соответствия изделий по внешнему виду

Балльная оценка на рис. 2 (шкала от 1 до 5 баллов, где 1 балл – несоответствие, 5 баллов – полное соответствие) показала несоответствие дивана, то есть имелся посторонний запах, в то время как у шкафа, комода, столов письменного и обеденного он отсутствовал.

Как видно из рис. 3, некоторые изделия не совсем соответствуют по параметру цвета (шкала от 1 до 5 баллов, где 1 балл – несоответствие, 5 баллов – полное соответствие): диван имеет балл «3» (удовлетворительно); шкаф и комод – балл «4» (почти соответствуют). А у столов письменного и обеденного соответствуют.

Балльная оценка на рис. 4 показала (шкала аналогична определению соответствия по цвету), что комод имеет балл «3» по внешнему виду, то есть имелись некоторые механические повреждения; у дивана и шкафа они были небольшие (балл «4»). И только столы письменный и обеденный полностью соответствовали нормативу.

Таким образом, из образцов мебели, которые «подверглись» оценке соответствия, большинство практически соответствуют требованиям нормативных документов по всем органолептическим показателям; однако, у дивана выявлено несоответствие по наличию запаха, удовлетворительное соответствие по цвету; у шкафа и комода – небольшое несоответствие по цвету, по внешнему виду шкаф почти соответствует, а у комода имелись механические повреждения.

Однако этих показателей недостаточно, чтобы оценить мебель в полном объеме. Необходимо учитывать качество применяемых в производстве мебели материалов и особенности их обработки, качества сборки мебели и отделки, включая качество отделочных материалов.

Список литературы

1. ГОСТ 19917–93. Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия. Введ. 01.01.1995. М. : Стандартинформ, 1995. 25 с.
2. ГОСТ 16371–2014. Мебель. Общие технические условия. Введ. 01.01.2016. М. : Стандартинформ, 2014. 28 с.
3. ГОСТ 13025.3–85. Мебель бытовая. Функциональные размеры столов. Введ. 1987-01-01. М. : Стандартинформ, 2006. 3 с.

УДК 674.815

А. И. Карпов,

аспирант 2 года, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
ipalexeykarpov@yandex.ru

С. Ю. Сивандаева,

магистрант 2 года, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
ssnezhana.s@yandex.ru

О. Г. Тарасова,

к. т. н., доцент кафедры ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
TarasovaOG@volgatech.net

ОПЫТ СЕРТИФИКАЦИИ ЗАВОДСКОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ В СИСТЕМАХ CARB, E1DE2020 и CE В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ КОРОНАВИРУСА

В статье изложены основные проблемы и положительные моменты развития компании ООО «ИнвестФорэст» на пути к получению сертификатов соответствия, подтверждающих качество и безопасность фанеры для продвижения на рынки стран ЕС и США с выполнением жестких обязательных требований по безопасности продукции. Опыт процесса создания и сертификации заводской испытательной лаборатории по системам сертификации CARB, E1DE2020 и CE в условиях пандемии COVID-19 будет полезен многим предприятиям, занимающимся производством фанеры.

Ключевые слова: эмиссия формальдегида, Калифорнийская комиссия по воздушным ресурсам (CARB), Европейская сертификация безопасности (CE), безопасность продукции, производство фанеры, сертификация системы качества.

А. А. Карпов,

2nd year graduate student, Volga state University of technology, Yoshkar-Ola, Russia,
ipalexeykarpov@yandex.ru

S. Y. Sivandaeva,

master of 2 years, Volga state University of technology, Yoshkar-Ola, Russia,
ssnezhana.s@yandex.ru

O. G. Tarasova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volga state University of technology, Yoshkar-Ola, Russia,
TarasovaOG@volgatech.net

EXPERIENCE IN CERTIFICATION OF A FACTORY TESTING LABORATORY IN CARB, E1DE2020 and CE SYSTEMS IN THE CONTEXT OF THE CORONAVIRUS PANDEMIC

The article describes the main problems and positive aspects of the development of InvestForest LLC on the way to obtaining certificates of conformity that confirm the quality and safety of plywood for promotion to the markets of the EU and the United States with the implementation of strict mandatory requirements for product safety. The experience of establishing and certifying a factorytesting laboratory for the CARB, E1DE2020 and CE certification systems in the context of the COVID-19 pandemic will be useful for many plywood manufacturing enterprises.

Keywords: formaldehyde emission, California Air Resources Board (CARB), European Safety Certification (CE), product safety, plywood production, quality system certification.

Фанера, в настоящее время, является крайне востребованным строительным материалом во всем мире и активно импортируется многими ведущими странами: ЕС, США, Япония и др. По результатам исследований производство фанеры в России по состоянию на 2020 год достигло порядка 5 млн м³, причем объемы внутреннего потребления составляют 1,7–2 млн в год, остальное реализуется на экспорт [1].

Россия занимает 3 место в мире по объемам производства фанеры, уступая лишь Китаю и США [2]. Основной породой древесины для производства фанеры в России служит береза, а березовая фанера благодаря своим физико-механическим свойствам пользуется большим спросом на экспортных рынках строительных материалов.

Принятие ряда нормативно-правовых актов в США и ЕС, содержащих жесткие требования к качеству и безопасности строительных материалов (фанера является одним из основных строительных материалов в мире), и особенно в части эмиссии формальдегида, требуют от производителей организации и внедрения новых форм контроля качества продукции.

С 1 января 2020 года в Германии введено применение стандарта DINEN 16516 и внедрена система сертификации E1DE2020 (E[D2020]) она же «евроКАРБ». Производители фанеры знают о том, как востребован для организации экспорта в США сертификат системы CARB, требования к которому регламентированы в «Final Regulation Order airborne toxic control measure to reduce formaldehyde emissions from composite wood products».

Руководство ООО «ИнвестФорэст» – единственного предприятия в Республике Марий Эл по производству березовой фанеры, в 2019 году приняло решение пройти сертификацию сразу в трех системах, регулирующих требования к эмиссии формальдегида:

- CARB;
- E1DE2020;
- CE – на соответствие стандарту EN 13986: 2004 + A1: 2015.

Одним из ключевых требований всех систем для успешного проведения сертификации – является наличие постоянного производственного контроля качества и мониторинга за параметрами содержания формальдегида путем постоянного тестирования образцов производимой продукции.

Количество отбираемых образцов и проводимых тестов на эмиссию формальдегида и определение физико-механических свойств фанеры напрямую зависит от объемов производства, в условиях производственных мощностей ООО «ИнвестФорэст» данную процедуру необходимо проводить практически ежедневно.

Для решения этой задачи было принято решение об организации заводской испытательной лаборатории (далее ЗИЛ), с созданием отдельного структурного подразделения, оснащением необходимым оборудованием и специалистами с определенным уровнем подготовки. Подбор кадров с соответствующей квалификацией проходил с некоторыми трудностями, поскольку требовались специалисты и в области организации деятельности ЗИЛ, выполнения тестов физико-механических свойств на современном оборудовании и проведения непосредственно физико-химических испытаний по трем методам оценки содержания формальдегида:

- камерный – по ГОСТ 30255–2014. «Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах»;
- метод газового анализа – по ГОСТ 32155–2013. «Плиты древесные и фанера. Определение выделения формальдегида методом газового анализа»;
- перфораторный – по ГОСТ 27678–2014. «Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида».

Применение всех трёх методов обосновано несколькими условиями, характеризующими преимуществами их применения, основными являются:

- возможность сравнения достоверности результатов испытаний, полученных в ЗИЛ для каждого из методов оценки миграции формальдегида с результатами испытаний, представленными аккредитованной ИЛ;
- оперативное подтверждение заводской лабораторией соответствия древесных материалов классу эмиссии формальдегида E0,5, E1 или E2 и возможность предоставить результаты оценки миграции формальдегида для установления коэффициента корреляции с результатами оценки из этих же листов фанеры, полученных в нотифицированных лабораториях ЕС или США и др.

Сложностью организации деятельности при сертификации по трем системам является необходимость разработки нескольких документов, регламентирующих деятельность ИЛ, а именно Руководств по качеству (далее РК) и других документированных процедур управления. В начале 2020 года разработано и внедрено РК для сертификации по системам CARB и E1DE2020 на русском и английском языках, руководство по качеству в системе CE.

Еще одним фактором, усложняющим деятельность производителей фанеры не только в Российской Федерации, но и других странах-поставщиках данной продукции, является новое ужесточение требований и разработка внутренних стандартов по выделению и содержанию формальдегида со стороны крупных европейских производителей мебели.

Проведенная ранее работа по добровольной лесной сертификации цепочки поставок на фанерном производстве ООО «ИнвестФорэст» позволила эффективно наладить процесс постоянного заводского мониторинга за соблюдением технологической дисциплины и контролем качества продукции.

Одним из ключевых моментов процесса сертификации ЗИЛ по эмиссии формальдегида является организация выездного аудита представителями аккредитованного органа по сертификации (ОС), включающего в себя: ознакомление с производством; анализ РК; контроль проведения заводских испытаний и контроля качества; отбор образцов для сличительных испытаний в заводской лаборатории и лаборатории органа по сертификации, установления коэффициента воспроизводимости результатов, корреляции и итогового значения показателя выделения формальдегида для конкретного предприятия.

Отбор проб по требованиям сертификации CARB должен осуществляться инспектором ОС во время аудита, образцы должны быть подготовлены, герметично упакованы и отправлены в лаборатории для последующего проведения одновременных сличительных испытаний.

Серьезным испытанием для предприятия явилась пандемия COVID-19, поскольку запланированный на апрель 2020 года аудит лаборатории ООО «ИнвестФорэст» был сорван и принято решение произвести отбор образцов под контролем органа по сертификации при сеансе видеосвязи, что было впервые в практике ОС, и выполнено по исключительному разрешению CARB. В результате успешно проведенного отбора для ОС подготовлено 60 и для ЗИЛ – 36 образцов соответственно.

В течение мая 2020 г. проведены сличительные тесты, которые позволили выявить высокий коэффициент корреляции значений содержания формальдегида, составивший 0,8, и установить нормативное значение уровня допустимой эмиссии формальдегида (QCL) для контроля качества в испытательной лаборатории ООО «ИнвестФорэст».

Несмотря на отличные показатели содержания формальдегида, на проведение сертификационного аудита в условиях COVID-19 дистанционным методом в мае 2020 по инициативе CARB США был наложен запрет, и аудит был отложен до августа 2020. Путем сложных переговоров, с привлечением региональных экспертов и компромиссным подходом в методах оценки аудит в августе 2020 все же удалось провести. По его результатам испытательная лаборатория и служба контроля качества ООО «ИнвестФорэст» успешно подтвердила свою компетентности и компания получила сертификаты соответствия по всем трем системам сертификации.

Результаты сличительного тестирования порядка 30 партий фанеры, отобранных в рамках основного сертификационного аудита систем контроля качества, показали стабильность производственного процесса и низкий уровень содержания формальдегида в продукции ООО «ИнвестФорэст». Так же компания провела несколько успешных инспекционных аудитов путем квартальных тестирований партий продукции в испытательной лаборатории органа по сертификации в конце 2020 и начале 2021 года.

Список литературы

1. Анализ рынка фанеры в России в 2016–2020 гг. // BUSINESSSTAT. Готовые обзоры рынков. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id8517> (дата обращения: 12.04.2021)
2. Статистический материал по потреблению фанеры // Лесной комплекс. Отраслевой портал. URL: <https://forestcomplex.ru/wood-based-panels-production/fanernyy-biznes-na-grani-syirevogo-krizisa> (дата обращения: 12.04.2021)

УДК 634.075

В. И. Федюков,

д. т. н., зав. кафедрой ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ, fiv48@mail.ru

В. Ю. Чернов,

к. т. н., доцент кафедры ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ, chernov.vas7936@yandex.ru

М. С. Чернова,

аспирант кафедры ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ, mashael0906@mail.ru

Е. Ю. Салдаева,

к. т. н., доцент кафедры ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ, saleka583@mail.ru

СТАНДАРТИЗАЦИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ НА КОРНЮ, В СОРТИМЕНТАХ И КОНСТРУКЦИЯХ ДЕРЕВЯННОГО СООРУЖЕНИЯ

Анализируется эффективность использования национальных стандартов на физико-механические испытания древесины разрушающими методами. Обоснована необходимость разработки и внедрения новых стандартов, основанных на методах неразрушающей диагностики технического качества древесины на корню, в сортиментах, деталях и конструкциях деревянного сооружения. Приводятся технологии и технические средства для достижения этой цели.

Ключевые слова: свойства древесины, действующие ГОСТ Р на испытания древесины, взаимосвязь свойств древесины ствола и боковых веток, макроструктура древесины, технические устройства, сопротивление сверлению, резонансная частота колебаний, неразрушающие методы диагностики.

V. I. Fedjukov,

Doctor of Technical Sciences, Head. Department of FST, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, RF, fiv48@mail.ru

V. Yu. Chernov,

Ph.D., Associate Professor of the Department of FST, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, RF,
chernov.vas7936@yandex.ru

M. S. Chernova,

postgraduate student of the Department of FST, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, RF,
masha0906@mail.ru

E. Yu. Saldaeva,

Ph.D., Associate Professor of the Department of SST, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, RF,
saleka583@mail.ru

STANDARDIZATION OF NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL QUALITY OF WOOD ON THE ROOT, IN THE VARIETIES AND CONSTRUCTIONS OF WOODEN STRUCTURES

The efficiency of using national standards for physical and mechanical testing of wood by destructive methods is analyzed. The necessity of developing and introducing new standards based on methods of non-destructive diagnostics of the technical quality of standing timber, in assortments, parts and structures of a wooden structure has been substantiated. Technologies and technical means for achieving this goal are presented.

Keywords: *properties of wood, acting GOST R on wood testing, the relationship between the properties of wood of the trunk and side branches, the macrostructure of wood, technical devices, drilling resistance, resonant vibration frequency, non-destructive diagnostic methods.*

Наукой доказана, а практикой в глобальных масштабах подтверждена, незыблемость аксиомы – основным инструментом стратегического развития любой отрасли, да и общества в целом, является стандартизация и своевременная актуализация тех или стандартов с учетом назревших трендов [1].

Стандарты серии ГОСТ 16483 на технические условия и методы физико-механических испытаний свойств древесины были приняты в СССР еще в сороковых годах прошлого года и сыграли большую роль в становлении науки и учебной дисциплине по древесиноведению. Однако ввиду сложности и больших затрат времени и средств, связанных с рубкой модельного дерева, его раскряжевкой и распиловкой, изготовлением стандартных образцов и их кондиционированием в сушильных камерах и т. д., эти методы не нашли широкого внедрения в практику.

С учетом современных трендов ускоренного развития лесопромышленного комплекса требуется разработка новых ГОСТ Р и внедрение *неразрушающих методов экспресс-диагностики* технического качества древесного сырья на корню, в сортиментах и деталях, а также конструкциях деревянного сооружения.

Пути стандартизации и внедрения неразрушающих методов экспресс-диагностики древесины на корню. К настоящему времени в лесоводственной практике накоплен достаточно большой опыт использования *полого бурава* для определения возраста дерева и динамики ежегодного радиального прироста; извлекаемые этим инструментом радиально-поперечные керны диаметром 4–5 мм служат также объектом для определения локальной, то есть вблизи места высверливания, плотности древесины у растущего дерева [2].

В последние годы диапазон использования «метода керна» значительно расширился как в России, так и за рубежом [3, 11]. Например, в ПГТУ апробирован новый способ и техническое устройство для определения динамического модуля упругости, а также акустической константы акад. Н. Н. Андреева (критерии резонансных свойств древесины) у растущих деревьев без их спиливания [4].

Не вдаваясь в детальное изложение, отметим, что техническое устройство представляет собой программно-аппаратный комплекс (рис.).

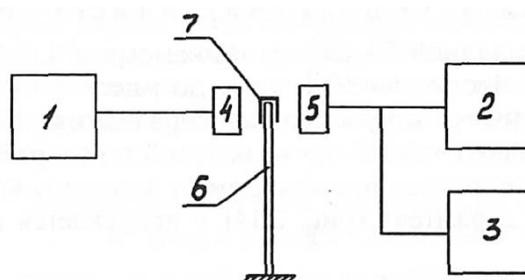


Рис. Структурная схема технического устройства для выявления частотно-амплитудных показателей древесины:

1 – звуковой генератор ГЗ-117; 2 – милливольтметр ВЗ-56; 3 – осциллограф С1-93;
4 – вибратор типа ТК-67-Н; 5 – приемник; 6 – образец в виде керна; 7 – «колпачок» из железа

С помощью данного устройства выявляются частотно- амплитудные характеристики радиального керна длиной 70–150 мм, на основе которых по известным формулам определяются динамический модуль упругости $E_{дин}$ и акустическая константа К:

$$E_{дин} = 12,775 \frac{l^4 f^2 \rho}{r^2}, \quad (1)$$

$$K = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho^2}}, \quad (2)$$

где l – длина колеблющейся части образца, м;

f – частота собственных колебаний образца для основного тона, Гц;

ρ – плотность, кг/м³;

r – радиус образца, м².

Поскольку между показателями модуля упругости и прочностью материала существует прямая корреляционная связь [5], то данный способ можно стандартизировать и внедрить для *неразрушающей* диагностики прочностных свойств древесины на корню.

«Метод керна» также имеет свои преимущества по сравнению с условиями ГОСТ 16483.18–72 «Древесина. Метод определения числа годовичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годовичном слое». К тому же, для его осуществления апробировано новое устройство [6], принцип действия которого основан на выявлении макростроения путем дифференцированного измерения *микротвердости* поверхности ранней и поздней древесины внутри каждого годовичного кольца [7].

Раннюю экспресс-диагностику модуля упругости древесины у молодняков и даже подроста в растущем состоянии можно проводить частотно-амплитудным методом; в этом случае в качестве опытного образца используются черенки определенных размеров, изготовленные из боковых веток [8].

Диагностика технического качества древесины в сооружениях проводится по ГОСТ Р 58459–2019 «Конструкции деревянные. Определение нормативных и расчетных значений механических свойств древесины и материалов на ее основе», который ссылается на те же ГОСТы серии 16483 и предусматривает испытания ФМС древесины *разрушающими* методами.

Между тем, имеются реальные апробированные варианты для разработки и внедрения нового ГОСТ Р «Древесина. **Неразрушающий метод определения плотности, модуля упругости и прочности после длительной эксплуатации в старом сооружении**» [9, 10].

Таким образом, достигнутые приоритеты позволяют стандартизировать и внедрить в широкую практику неразрушающие методы диагностики технического качества древесины на корню, в сортаментах и конструкциях деревянного сооружения.

Список литературы

1. Белобрагин В. Я. Стандартизация и новая технологическая революция // Стандарты и качество. 2018. № 10(76). С. 24–28.
2. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесн. пром-ть, 1976. 159 с.
3. Федюков В. И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, целевое использование. Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. 256 с.
4. Пат. 2577886 РФ. МПК G 01 N 33/46. Устройство для экспресс-диагностики резонансных свойств древесины на корню / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева. RU 2577886 С2; Заявл. 05.05.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. изобрет. 2016. № 31.
5. Волинский В. Н. О взаимосвязи прочности древесины с несколькими ее параметрами, определяющими неразрушающим способом // ИВУЗ. Лесной журнал. 1991. № 4. С. 60–64.
6. Патент 2130611 РФ. МПК G 01 N 33/46. Способ диагностики резонансных свойств древесины и устройство для его осуществления / В. И. Федюков, Л. Н. Веселов. RU 97109185 С2; Заявл. 28.05.97; опубл. 20.05.1999, Бюл. изобрет. 1999. № 4.
7. Санаев В. Г. Анизотропия физико-механических свойств поверхности древесины // 11 Междунар. симпоз. «Строение, свойства и качество древесины – 96» 21–24 окт. 1996 : труды. М., 1997. С. 219–223.
8. Патент 2439561 РФ. МПК G 01 N 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины на корню / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева. RU 2439561 С2; Заявл. 26.03.2009; опубл. 10.01.2012, Бюл. изобрет. 2012. № 1.

9. Пат. 2665149 РФ. МПК G 01 N 33/46 Способ для экспресс- диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины / В. И. Федюков, В. Ю. Чернов, М. С. Чернова. RU 2665149 С2; Заявл. 07.08.2017; опубл. 28.08.2018, Бюл. изобрет. 2018. № 25.
10. Шарипов Е. С., Чернов В. Ю. Обоснование конструкции устройства для исследования свойств древесины сверлением // Известия СПбГЛТА. 2011. № 195. С. 134–142.
11. Bucur V. An ultrasonic method for measuring the elastic constants of wood increment cores bored from living trees // Ultrasonic. 1983. May. P. 116–126.

УДК 634.075

Е. М. Цветкова,

ст. преподаватель кафедры ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
ekaterinadudina@mail.ru

Е. Ю. Салдаева,

к. т. н., доцент кафедры ССТ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
saleka583@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В работе описаны задачи применения статистических методов управления качеством. Рассматривается практическое применение инструментов контроля качества на примере деревообрабатывающего предприятия, в частности диаграмма Парето, метод стратификации. Проводится анализ причин дефектности с помощью причинно-следственной диаграммы Исикава.

Ключевые слова: статистические методы управления качеством, инструменты контроля качества, диаграмма Парето, Исикава, метод стратификации, анализ дефектности.

E. M. Tsvetkova,

Art. teacher, Associate Professor of the Department of SST, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, RF,
ekaterinadudina@mail.ru

E. Yu. Saldaeva,

Ph.D., Associate Professor of the Department of SST, Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, RF,
saleka583@mail.ru

APPLICATION OF INSTRUMENTS FOR CONTROL AND QUALITY MANAGEMENT IN WOODWORKING ENTERPRISES

The paper presents the tasks of applying statistical methods of quality management. The practical application of quality control tools is considered on the example of a woodworking enterprise, in particular, the Pareto diagram, the stratification method. The analysis of the causes of defectiveness is carried out using the Ishikawa causal diagram.

Keywords: statistical methods of quality management, quality control tools, Pareto diagram, Ishikawa, stratification method, analysis of defectiveness.

В настоящее время промышленные предприятия находятся в условиях жесткой конкуренции. Главной фигурой, определяющей успешность и направление развития организации, является потребитель. В условиях этой конкуренции особую актуальность приобрел вопрос качества выпускаемой продукции с учетом возросших требований к необходимым показателям, формирующим качество продукции.

Информацию, поступающую от потребителя и внутреннюю информацию о качестве продукции следует детально анализировать, контролировать. Существуют различные методы контроля качества продукции, среди которых особое место занимают статистические методы.

Многие из современных методов математической статистики довольно сложны для восприятия, а тем более для широкого применения всеми участниками процесса управления качеством. Поэтому японские ученые отобрали из всего множества семь методов, которые наиболее применимы в процессах контроля качества. Заслуга японцев состоит в том, что они обеспечили простоту, наглядность, визуализацию этих методов, превратив их в инструменты контроля качества, которые можно понять и эффективно использовать без специальной математической подготовки. В то же время, при всей своей простоте эти методы позволяют сохранить связь со статистикой и дают возможность профессионалам при необходимости совершенствовать их.

Итак, к семи основным методам или инструментам контроля качества относятся следующие статистические методы:

- контрольный листок;
- гистограмма;
- диаграмма разброса;
- диаграмма Парето;
- стратификация (расслоение);
- диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма);
- контрольная карта [1, 3].

Данные инструменты были апробированы на примере одного из предприятий г. Йошкар-Ола. Первым шагом была оценка уровня дефектности на примере одного цеха. Для этого использовали внедренные на предприятии цифровые статистические пакеты (табл.).

Т а б л и ц а

MDR-уровень внутренней дефектности за 5 месяцев

ppm	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	YTD
MDR stamping	819	595	424	503	451								549
MDR painting	57 288	57 659	57 801	60 734	52 357								57 078
MDR molding	15 220	19 086	18 222	19 408	19 977								18 490
MDR assy	3 328	2 062	3 057	3 725	3 638								3 179
MDR cons.	5 653	7 291	6 348	6 625	7 558								6 684

MDR Stamping – Штамповка деталей;
 MDR painting – покраска;
 MDR Molding – прессовка;
 MDR Assy – сборка;
 MDR Cons– контроль.

Уровень дефектности характеризует качество партии продукции. Чем меньше уровень дефектности партии, тем выше ее качество.

Уровень дефектности (MDR – Manufacturing Defect Rate (уровень внутрицехового брака, ppm)) может быть выражен процентом дефектных единиц продукции, определяемым из соотношения:

$$MDR_7 = \frac{ND_7}{TR_7} 1000000, \quad (1)$$

где ND – количество дефектной продукции;

TR – общий объем производства цеха.

Для наглядности построили гистограмму MDR представленную на рисунке 1.

MDR - уровень внутренней дефектности, ppm

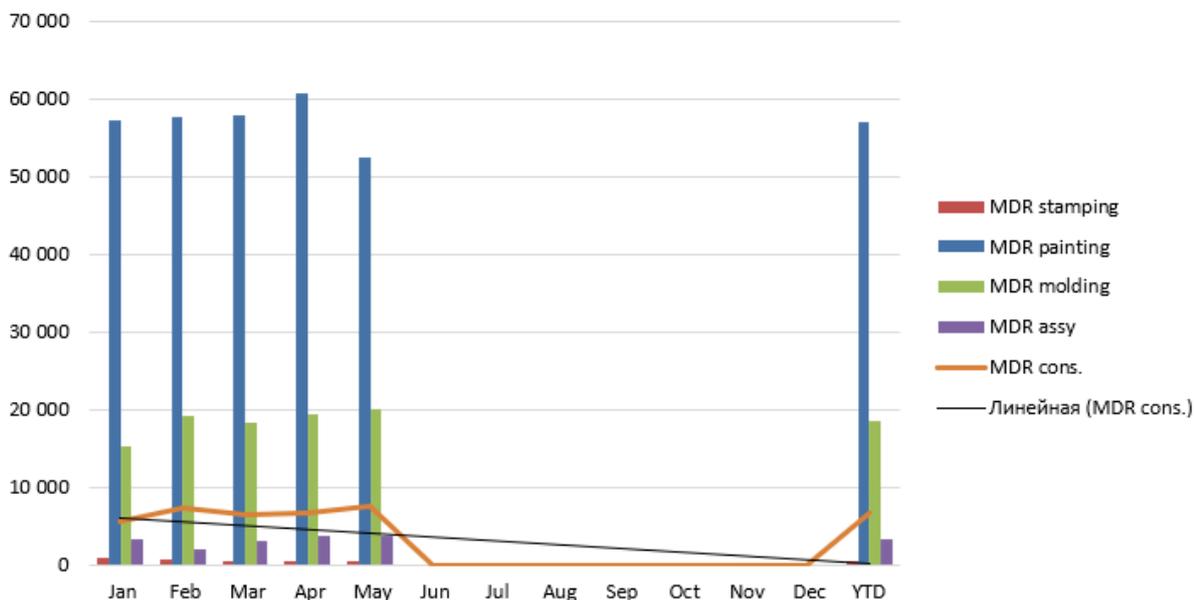


Рис. 1. Гистограмма MDR

По данной гистограмме можно сделать вывод, что самый высокий уровень дефектности в покрасочном цехе. Анализ причин рассмотрен далее. Самый низкий уровень дефектности на процессе штамповка, так как является одним из самых простых операций.

Проведем ABC-анализ с помощью диаграммы Парето (рис. 2). Данный инструмент позволяет выявить основные проблемы, которые требуют скорейшего решения [2, 4].

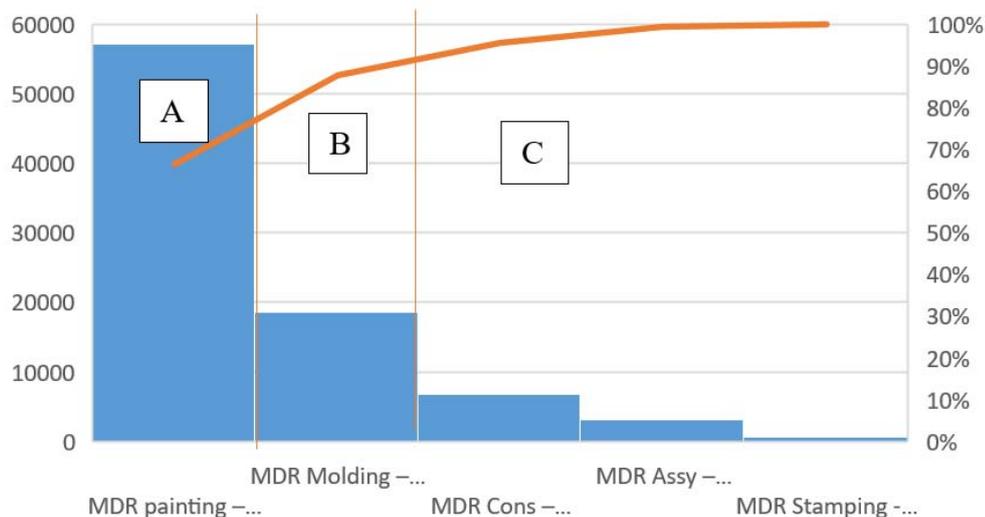


Рис. 2. Диаграмма Парето и ABC-анализ по уровню внутренней дефективности MDR

По ABC-анализ, в группу А, вошел процесс покраски, в процентном соотношении это 67 % дефектов от суммарного количества всех дефектов при производстве изделия.

Для дальнейшего анализа воспользуемся причинно-следственной диаграммой Исикава (рис. 3). Данный инструмент позволяет выявить все возможные причины появления данной проблемы [1].

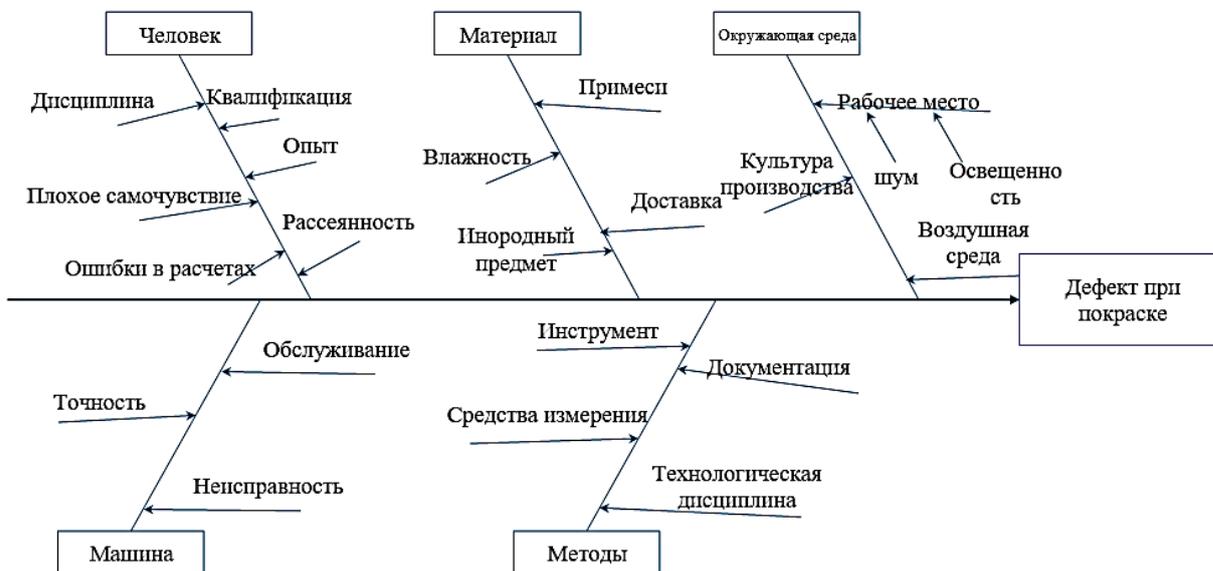


Рис. 3. Причинно-следственная диаграмма

Основные причины дефектности при покраске связаны с текучкой сотрудников, сложностью выполнения работы, а также неудовлетворительным состоянием помещения (грязь, пыль, слабое освещение и недостаточная вентиляция).

По построенной диаграмме можно сделать вывод, что предприятию для стабилизации данного процесса следует внедрить бережливое производство, которое существенно повлияет на производственную среду внутри предприятия и позволит оптимизировать процесс.

Список литературы

1. Системы, методы и инструменты менеджмента качества : учебник для студентов вузов / М. М. Кане [и др.] ; под ред. М. М. Кане. 2-е изд., обновл. и доп. СПб. [и др.] : Питер, 2012. 572 с.

2. Суров В. П., Рыкунина И. С. Управление качеством продукции деревообрабатывающих производств / ГОУ ВПО «Моск. гос. ун-т леса». М. : МГУЛ, 2009. 191 с.
3. Салдаева Е. Ю., Цветкова Е. М. Управление качеством : учебное пособие. Йошкар-Ола : Поволжский гос. технол. ун-т, 2017. 154 с.
4. Адлер Ю. П., Полховская Т. М., Шпер В. Л., Нестеренко П. А. Управление качеством : [учеб. пособие для вузов по специальностям профиля и специальности 072000 «Стандартизация и сертификация»]. 2-е изд., перераб. и доп. М. : МИСИС, 2002. Ч. 1 : Семь простых методов. 2002. 156 с.

УДК 006.07; 674.04

В. Ю. Чернов,

к. т. н., доцент кафедры «Стандартизация, сертификация и товароведение» ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ,
chernovyu@volgatech.net

А. Н. Носова,

аспирант, старший преподаватель кафедры «Стандартизация, сертификация и товароведение» ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ,
NosovaAN@volgatech.net

В. И. Федюков,

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Стандартизация, сертификация и товароведение» ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ,
fiv48@mail.ru

СОСТОЯНИЕ И ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ В РОССИИ

В работе представлен обзор отечественной нормативно-технической документации на термическую модификацию древесины (ТМД). Выполнен анализ нормативно-технических источников и определены направления, требующие актуализации на основе новых разработок. В этом аспекте особую актуальность имеют комплексные исследования по выявлению новых качественных показателей и характеристик данного материала – срок службы (долговечность), сортовой состав включающий пороки высокотемпературной обработки древесины, классификация термической модификации, основные параметры и размеры входного сырья с учетом уменьшения размеров (усадки) в процессе термической модификации.

Ключевые слова: пороки высокотемпературной обработки древесины, срок службы ТМД стандартизация ТМД, термически модифицированная древесина, технические условия на пиломатериалы и профильные изделия из ТМД, усадка ТМД.

V. Yu. Chernov,

Ph.D., Associate Professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
chernovyu@volgatech.net

A. N. Nosova,

postgraduate student, senior lecturer, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
NosovaAN@volgatech.net

V. I. Fedyukov,

Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Standardization, Certification and Merchandising, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
fiv48@mail.ru

STATE AND BACKGROUND OF THERMALLY MODIFIED WOOD STANDARDIZATION DEVELOPMENT IN RUSSIA

The word provides an overview of domestic regulatory and technical documentation for TMD. The analysis of normative and technical sources has been carried out and areas requiring updating based on new developments have been identified. In this aspect, complex studies to identify new qualitative indicators and characteristics of this material are of particular relevance – this is the definition of durability, the varietal composition and defects of high-temperature processing of wood and a breakdown by classes of thermal modification, the main parameters and dimensions of the input raw materials, taking into account the reduction in size (shrinkage) in the process of thermal modification.

Keywords: defects of high-temperature wood processing, durability of TMD, standardization of TMD, thermally modified wood, specifications for sawn timber and profile products from TMD, shrinkage of TMD.

Неотъемлемой частью обеспечения качества и безопасности продукции для человека, окружающей среды является стандартизация, то есть разработка и установление технических, экологических и иных норм. Эта деятельность базируется на глубоких прикладных и фундаментальных знаниях и объективной оценке различных свойств, характеризующих тот или иной объект.

Одной из непроработанных в этом плане областей является термическая модификация древесины. Анализ нормативно-технической документации показала, что на данный момент существует

целый ряд ГОСТов на методы определения различных физико-механических свойств и технические условия на модифицированную древесину (МД). В большинстве случаев они распространяются на МД [3] полученную:

- термомеханическим способом (ТРММ) – прессование и высокотемпературная сушка и термообработка;
- химико-механическое модифицирование (ХММ) – уплотнение с одновременной пластификацией аммиаком, мочевиной или пропиткой смолами и термообработкой;
- термохимическое модифицирование (ТХМ) – пропитка мономерами, олигомерами или смолами с последующей термообработкой
- химическое модифицирование (ХМ) – химическая обработка аммиаком, уксусным ангидридом или катонами;
- радиационно-химическое модифицирование (РХМ) – пропитка мономерами, олигомерами или смолами с последующим воздействием мионизирующего излучения.

В результате получается МД с улучшенными физико-механическими, теплофизическими, трибофизическими или биохимическими свойствами.

Однако термически модифицированная древесина по физической сущности модификации не относится ни к одному из указанных методов, а значит, для нее должны быть установлены свои технические показатели.

Анализ показал, что на данный момент лишь несколько российских НТД (табл.) посвящены термически модифицированной древесине (ТМД).

Т а б л и ц а

Критический анализ существующей в России НТД на ТМД

№ п/п	Номер и название	Содержание	Выявленные недостатки
1	ГОСТ Р 58561–2019. Конструкции деревян-ные. Термически мо-дифицированная дре-весина. Физико-механические и экс-плуатационные свой-ства. Термины и опре-деления [1]	Термины и определения, обозначения и сокращения, характеристики (равно-весная влажность, стабильность разме-ров, сопротивление к поражению гри-бами, плотность, механические свой-ства (прочность на изгиб и модуль упругости, ударная прочность, поверх-ностная твердость, растяжение попе-рек волокон, прочность при сжатии) теплопроводность, склеивание, адгезия лакокрасочных материалов к ТМД, выбросы, огнестойкость, стойкость к поражению насекомыми, цвет, оценка характеристик (отбор образцов, произ-водственный контроль), маркировка	<ol style="list-style-type: none"> 1. Документ является переводом стандарта CEN/TS 15679:2007 “Thermalmodified-timber – Definitionsandcharacteristics” («Термически модифицированная древе-сина. Определения и характеристики»). 2. В стандарте даны ссылки на другие НТД по определению тех или иных показателей (характеристик) ТМД, причем 11 ссыла-ются на стандарты ГОСТ и ГОСТ Р, а 43– на зарубежные стандарты EN (в стандарте указаны как EN), ENV, CEN/TS и т. д. 3. Приведены «примеры характеристики», то есть справочные данные по равновесной влажности, стабильности размеров, уменьшению плотности только для «се-верной сосны» и «норвежской ели». 4. Наблюдается использование различных наименований одного и того же. Напри-мер, ТМД и ТМТ (ТМТ – thermallymodi-fiedtimber), определение и тестирование (testing). В целом с точки зрения изложе-ния и структуры стандарт может быть значительно улучшен
2	ГОСТ Р 54577-2011 Древесина модифици-рованная. Технические условия[2]	Предельные отклонения от номиналь-ных (стандартных размеров), требова-ния по качеству, нормативные показа-тели физико-механических свойств (плотность, влажность, влагопоглоще-ние, разбухание в направлении прессо-вания, предел прочности при сжатии вдоль волокон, торцовая твердость), правила приемки, методы контроля, транспортирование и хранение, гаран-тии изготовителя	<ol style="list-style-type: none"> 1. Стандарт распространяется только на тер-мически модифицированную древесину по технологии Thermo Wood (WEST-WOOD). 2. Нет разбивки показателей по породам древесины и по классам термической мо-дификации (например, по Thermo Wood: Thermo-S, Thermo-D)
3	ТУ 5331-001-73809198–2004 Древе-сина и пиломатериалы стабилизированные по технологии "WEST-WOOD"		Нет данных

Немаловажными и малоизученными являются вопросы, возникающие в процессе промышленного производства ТМД. Сюда относятся пороки высокотемпературной обработки: пережоги, внутренние трещины, неравномерность модификации и т. д. Также не изучены закономерности изменения размеров (усадки) древесины в процессе термообработки, что существенно влияет на основные параметры и размеры готовой продукции. Не представлены методы определения и нормативные показатели по сроку службы (долговечности), как одного из базовых показателей ТМД.

Для решения эти вопросов и обеспечения качества ТМД в России, а также с целью систематизации, унификации и повышения информационной доступности как для производителя, так и для потребителя необходимо выполнить стандартизацию, а именно следует разработать:

1) стандарт на определение физико-механических свойств, основанных на действующих ГОСТах на МД, с обязательным включением методов определения срока службы (долговечности) ТМД;

2) технические условия на пиломатериалы из ТМД и строганную (профильную) термическую модифицированную древесину для строительства.

В ГОСТы на технические условия необходимо включить:

– нормативные показатели, полученные стандартизованными в России методами определения физико-механических свойств МД;

– требования к основным параметрам и размерам заготовок (полуфабрикатов) для последующей термической модификации и строгания.

– требования к качественному (сортовому) составу пиломатериалов и изделий из ТМД с включением пороков высокотемпературной обработки древесины;

– разбивка по классам термической модификации с целью определения нормативных показателей ТМД для разных областей использования (например, облицовочная, конструкционная и т. п.). С учетом разнообразия технологий термической модификации древесины, следует создать универсальную простую и понятную классификацию.

Поэтому актуальной задачей в научно-исследовательской и прикладной области на ближайший период является разработка и внедрение стандартов на уровне предприятий изготовителей, ТУ или проектов национальных стандартов. Для выполнения этой задачи необходимо систематизировать и актуализировать современные результаты исследований свойств ТМД, выполнить исследования и установить те нормативные показатели ТМД, которые ранее не были изучены.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54577–2011. Древесина модифицированная. Технические условия. Введ. 01.01.2013. М. : Стандартинформ, 2012. 12 с.
2. ГОСТ Р 58561–2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Конструкции деревянные. Термически модифицированная древесина. Физико-механические и эксплуатационные свойства. Термины и определения. Введ. 03.01.2020. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.
3. ГОСТ 23944–80. Древесина модифицированная. Термины и определения. Введ. 01.01.1981. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. 9 с.

УДК 674.046.7:658.562

В. Ю. Чернов,

канд. техн. наук, доцент каф. ССТ, ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ,
chernovvy@volgatech.net

А. А. Палкин,

магистрант, ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ

Е. С. Шарапов,

д-р техн. наук, вед. науч. сотр. УНИД, ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ

ТЕХНИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В работе рассмотрена проблематика оценки качества термически модифицированной древесины (ТМД). Представлен анализ применяемых методов контроля качества ТМД. Приведены результаты аналитических исследований дефектов ТМД промышленного производства. Обозначены основные и перспективные направления по разработке и исследованию новых методов и средств контроля качества и диагностики ТМД.

Ключевые слова: оценка качества, термически модифицированная древесина, дефекты ТМД, физико-механические свойства ТМД.

V. Yu. Chernov,

Ph.D, associate professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
chernovvy@volgatech.net

A. A. Palkin,

master's degree student, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

E. S. Sharapov,

Dr. habil., senior researcher, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

TECHNICAL AND METHODOLOGICAL ISSUE OF QUALITY ASSESSMENT OF THERMALLY MODIFIED TIMBER

The paper considers the problem of the quality parameters assessment of thermally modified timber (TMT). The limited analysis of the actually and potentially applied methods for TMT quality control is presented. The results of analytical studies of defects for industrially produced TMD are presented. The main and promising directions for the development and research of new methods and tools for TMT quality control and properties evaluation are indicated.

Keywords: quality control, thermally modified timber, defects, physical and mechanical properties of thermally modified timber.

Основной целью термической обработки древесины является улучшение эксплуатационных свойств материала. Известно, что термически модифицированная древесина (ТМД) по сравнению с необработанной древесиной имеет более высокую стойкость к грибным поражениям, а также повышенную стабильность формы и размеров при воздействии влаги, ультрафиолетового излучения и других условий внешней среды [1, 2]. При этом к ее базовым показателям качества можно отнести срок службы (долговечность), влаго- и водопоглощение (гигроскопичность), механические и технологические свойства [3, 4].

Существуют различные технологии термической модификации древесины [2, 5, 6]. Основные отличия между ними заключаются в среде обработки (перегретый пар, инертные газы, органические масла) и давлении среды обработки (атмосферное или повышенное давление, вакуум). В большинстве случаев, в зависимости от интенсивности обработки, по каждой из них учеными выделяются несколько классов термической модификации. В зависимости от применяемой технологии и классов термической модификации обработанная древесина имеет варьируемые физико-механические, защитные свойства и, как следствие, базовые показатели качества.

Вместе с тем возникает вопрос, как определить качественные показатели ТМД. Здесь следует отметить то, что понятие качества древесины может относиться к большому количеству ее физических и механических свойств, характеристикам безопасности продукции, соответствию ее свойств (показателей) установленным нормам, определенным в стандартах или другой нормативно-технической документации. Анализ нормативных источников по данному вопросу позволил сделать вывод, что в России на данный момент представлены технические показатели лишь на ТМД, полученную по технологии ThermoWood (WEST-WOOD), а именно на плотность обработанной древесины, влажность, водопоглощение, разбухание, предел прочности при статическом сжатии вдоль волокон и торцовую твердость [7].

Для изучения современных подходов в области оценки качества ТМД был выполнен анализ научно-исследовательских работ в данной области. Следует также отметить ограниченность исследований, направленных на изучение качественных показателей ТМД в условиях реального производства. Это касается в первую очередь малых предприятий, занимающихся производством ТМД и зачастую ограниченных в современных средствах контроля качества. В работе [8] представлен анализ некоторых показателей, характеризующих свойства и качественные характеристики ТМД: потеря массы древесины, гигроскопические свойства ТМД (равновесная влажность), прочностные показатели (предел прочности при статическом изгибе, поверхностная твердость и т. д.), параметры шероховатости, пористости и проницаемости (жидкостями и газами), электрическое сопротивление, изменение цвета, ЭПР-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия, ИК-спектроскопия, термический анализ (термогравиметрический анализ), химический анализ летучих веществ, определение соотношения кислород/углерод и т. д. Большинство методов контроля качества охарактеризованы как непригодные для использования в реальных производственных условиях по причине дороговизны, сложности или невысокой точности измерений. При этом были выделены перспективные методы оценки контроля качества ТМД:

- 1) механические методы, основанные на взаимодействии материала с металлическими инденторами (твердость, различные виды прочности, сопротивление внедрению иглы, просверливанию и т. д.);
- 2) оптические методы контроля (цвет, блеск и т. д.);
- 3) методы, основанные на оценке физических характеристик (изменение размеров, гигроскопичность, плотность, потеря массы и т. д.);

- 4) методы, основанные на химическом анализе (обрабатываемого материала, летучих веществ или среды обработки);
- 5) методы, основанные на оценке акустических показателей;
- 6) некоторые методы спектроскопии, в частности ИК-спектроскопия;
- 7) методы, основанные на оценке электрических параметров (сопротивление, проводимость) материала.

Немаловажную роль при получении качественной продукции играет точность и стабильность технологических процессов производства, которые связаны в основном с техническим совершенством применяемого оборудования и измерительных средств и квалифицированностью персонала. Для изучения этого вопроса в области производства ТМД был выполнен анализ продукции изготавливаемой на территории Республики Марий Эл. Выявлено не менее пяти производителей и, соответственно, столько же установок для термической модификации древесины. Опрос заказчиков, в основном являющихся розничными продавцами термически обработанных пиломатериалов, показал, что среди основных видов брака продукции встречаются:

- следы непромодифицированных участков пиломатериалов, оставленных от прокладок или по другим причинам;
- обжиг и обугленность от локального воздействия высоких температур;
- неравномерность цвета по штабелю в целом, а также по длине и сечению отдельно взятых пиломатериалов;
- поднятие ворса на поверхности строганных профильных пиломатериалов, как правило, в установках, где средой модификации являются топочные газы.

Для опроса конечных потребителей была составлена анкета. Анкетирование показало, что подавляющее большинство из покупателей не знают или не могут четко описать качественные характеристики изделий из ТМД.

Было установлено, что заказчики и конечные потребители чаще всего обращают внимание на цвет ТМД, а именно на поверхностное изменение оттенка обработанной древесины. При этом существует большая вероятность приобрести пиломатериал:

- 1) обожженный снаружи и непромодифицированный внутри;
- 2) неравномерно модифицированный по длине и сечению;
- 3) пережженный или хрупкий с опасно низкими механическими свойствами;
- 4) со скрытыми пороками, например, внутренними трещинами;
- 5) выдаваемый за ТМД, выдержанный в обычных сушильных камерах пиломатериал при максимально возможных температурах до незначительного потемнения.

Все это дает возможность недобросовестным производителям выдавать свою продукцию за качественную и недорогую, после чего у потребителей складывается неоднозначное мнение о термически модифицированной древесине в целом, а также возникают сомнения в целесообразности приобретения такого материала.

Решение представленных проблем лежит в области разработки простых и эффективных методов и средств для оперативного контроля и оценки качественных характеристик ТМД, а также разработки и принятия соответствующих стандартов на продукцию из ТМД (ГОСТ, ТУ, СТО). В связи с тем, что базовые показатели качества ТМД (срок службы, гигроскопичность и механические свойства) имеют высокую корреляцию между собой, предлагается использовать универсальные показатели, такие как твердость, потеря массы и цвет. Дальнейшими направлениями исследований в данной области являются разработка устройств и программно-аппаратных комплексов контроля качества и диагностики технических характеристик ТМД, исследование взаимодействия данных показателей между собой и установление взаимосвязи с базовыми показателями качества ТМД, а также разработка рекомендаций и проектов стандартов для промышленного внедрения.

Список литературы

1. ГОСТ Р 58561–2019. Конструкции деревянные. Термически модифицированная древесина. Физико-механические и эксплуатационные свойства. Терминыопределения. М. : Стандартинформ, 2019.
2. Hill, C. (2006) Wood modification. Chichester, England, John Wiley & Sons.
3. Шарапов Е. С., Торопов А. С., Королев А. С. Исследование влияния процесса термической модификации древесины на изменение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 6(348). С. 85–95.
4. Wentzel, M. (2018) Process optimization of thermal modification of Chilean *Eucalyptus nitens* plantation wood. Ph.D. thesis, University of Goettingen, Germany.

5. Esteves, B., Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources* 4:370-404. 10.15376/biores.4.1.370-404.
6. Militz, H. (2002) Heat treatment of wood: European Processes and their background. Document No. IRG/WP 02–40241. The International Research Group on Wood Preservation, Cardiff, Wales.
7. ГОСТ Р 54577–2011. Древесина модифицированная. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012.
8. Willems, W., Lykidis, C., Altgen, M., Clauder, L. (2015). Quality control methods for thermally modified wood. *Holzforschung* 69:875-884. 10.1515/hf-2014-0185.

УДК 674.8

М. С. Чернова,

аспирант 4 года, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, РФ,
ChernovaMS@volgatech.net

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЗАГотовок ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ДОЛГОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ СТАРОГО СООРУЖЕНИЯ

Цель данной работы – выявление эффективности возможности вторичного использования древесины в старых сооружениях в качестве резонансного материала. Для этого выполнялся расчет эффективности в части объемного выхода резонансной древесины из деревянного сооружения после 70-летней его эксплуатации.

Ключевые слова: резонансные заготовки, старая (выдержанная) древесина, старое сооружение, повторная переработка древесины, древесина половых и потолочных конструкций.

M. S. Chernova,

4nd year graduate student, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation,
ChernovaMS@volgatech.net

ON THE EFFICIENCY OF MANUFACTURING RESONANT BLOCKS FROM WOOD AFTER LONG OPERATION IN DIFFERENT CONSTRUCTIONS OF THE OLD STRUCTURE

The purpose of this work is to identify the effectiveness of the possibility of recycling wood in old buildings as a resonant material. For this, calculations of the effective production of blanks were carried out to identify the resonant properties of the wood of a wooden structure after 70 years of its operation.

Keywords: resonant blanks, old (aged) wood, old building, recycling, floor and ceiling structures.

Многие жители сельской местности по ряду причин переселяются в поселки городского типа и города. В качестве строительного материала все чаще применяется кирпич, керамзитобетонные, газобетонные блоки и т. д. Многие дома становятся заброшенными и со временем либо гниют и разрушаются, либо используются в качестве твердого топлива.

Использование древесных отходов для вторичного использования приобретает все большее значение во всем мире. Переработка древесины вторичного использования является источником ценного сырья в промышленности древесных материалов. Использование такого сырья способствует снижению затрат на закупку древесины и минимизации потребления энергии сушилкой, повышая рентабельность производства.

Рост объемов производства и потребления древесины ведет к увеличению абсолютных объемов образования вторичных материальных ресурсов – древесных отходов и так называемой старой древесины. Анализ ситуации в сфере обращения с вторичными древесными ресурсами показывает, что решению проблемы древесных отходов региональные органы власти много лесных регионов стараются уделять внимание, однако вопрос использования старой древесины остается открытым [1].

В отличие от зарубежных стран в России переработкой старой древесины занимаются немногие. Для возможности применения старой древесины и формирования спроса на нее необходимо изучить не только ее физико-механические резонансные и иные свойства, но и рассчитать эффективность ее переработки и последующего использования.

Целью данной работы было определение эффективности изготовления резонансных заготовок из древесины после долгой эксплуатации в разных конструкциях старого сооружения. В качестве объекта исследования был выбран дом пригодный для проживания (рис. 1). Объект расположен в северном районе республики Марий Эл. Срок эксплуатации дома более 70 лет [2]. Он построен преимущественно из сосновых бревен (более 65 %). Однако также встречаются и еловые бревна. Дом

имеет три наружные, выходящие на улицу стены: северная, южная (2 окна на рис. 1) и западная (3 окна на рис. 1); восточная стена – закрытая, граничит с верандой.

Исходя из размера дома $5000 \times 5000 \times 3500$ мм и средней толщины бревна 26 см, был произведен расчет объема древесины сруба, половых и потолочных конструкциях (рис. 2, 3).



Рис. 1. Объект исследования



Рис. 2. Выпиливание заготовок из досок потолочной конструкции



Рис. 3. Выпиливание заготовок из досок половой конструкции

Количество бревен в одной стене – 13 штук.

Объем одного бревна рассчитывается по формуле:

$$V_{бр} = \pi R^2 L,$$

где R – радиус бревна, м;

L – длина бревна, м.

Общий объем древесины сруба 4-х стенового дома указанных размеров составил 13,8 м³.

Полезный выход деловой древесины из бревен с учетом естественного износа составляет около 50 %, т. е. 6,9 м³.

Расчет деловой древесины с учетом естественного износа из данных досок показал 90 % пригодной для дальнейшего использования древесины, что составляет порядка 4,4 м³.

На основе выпиленных образцов и последующее проведенных исследований было установлено, что из стеновой конструкции прогнозируемый объем резонансной древесины составляет 7,7 % или 0,53 м³, из потолочных и половых досок – 45 % или 1,98 м³.

Таким образом, эффективность изготовления резонансных заготовок из древесины из половых и потолочных досок намного выгоднее, чем из стеновых конструкций дома. Наиболее ярко выраженными резонансными свойствами преобладают стеновые конструкции с южной стороны.

Список литературы

1. Мочаева Т. В., Федюков В. И., Чернова М. С. Повторное использование древесины в контексте концепции устойчивого развития // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. 2020. № 3(47). С. 65–77.
2. Федюков В. И., Чернова М. С., Чернов В. Ю. Колориметрические особенности выдержанной в старых сооружениях древесины // Строение, свойства и качество древесины – 2018 : материалы VI Международного симпозиума имени Б. Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального Координационного совета по современным проблемам древесиноведения (Красноярск, 10–16 сентября 2018 г.). Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2018. С. 208–211.



ЭКОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

УДК 630.16:630*114.261

Г. И. Антонов,

к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
egoan@yandex.ru

И. Д. Гродницкая,

д. б. н., главный научный сотрудник лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
igrod@ksc.krasn.ru

В. А. Сенашова,

к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
vera0612@mail.ru

О. Э. Пашкеева,

к. б. н., научный сотрудник лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, РФ,
koeandkoe@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ БИОУДОБРЕНИЙ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В связи с возросшим объемом рубок в Красноярском крае обостряется проблема рециклинга отходов на предприятиях лесного сектора. Мелкие отходы лесопиления пока еще не нашли широкого применения, но уже имеют перспективные направления использования в виде экологических удобрений. Коллективом лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН разработаны варианты удобрительных композиций на основе опилочно-почвенной смеси, содержащих микродозы различных азотных удобрений. Выполненные исследования указали на необходимость сочетания микопродукта на основе хвойных опилок с азотными удобрениями для стимулирования роста и развития саженцев сосны и ели. В результате были получены два вида опилочно-почвенных субстратов с добавлением микродоз азотных удобрений без микопродукта (ОПС) и с внесением микопродукта (ОПСМ). После применения ОПСМ на питомнике экспериментального хозяйства «Погорельский Бор» с микродозами диаммофоски саженцы сосны обыкновенной оказались выше на 62 см (53 %), чем на участке с ОПС. Саженцы ели сибирской, произрастающие на ОПСМ, были также выше на 30–58 %, чем саженцы того же возраста на ОПС. Внесение микопродукта (ОПСМ) также привело к увеличению приростов верхушечной почки главного побега саженцев сосны и ели после применения данного субстрата в течение сезона. В случае микоконтролируемого с диаммофоской и аммонийной селитрой прирост увеличился на 45–51 %. Данная технология в перспективе может быть рекомендована для искусственного лесовыращивания с экологически-ориентированным ведением лесного хозяйства на территории Красноярского края.

Ключевые слова: биоудобрения, биоконтролируемое, лесные питомники, Красноярская лесостепь.

**Работа выполнена в рамках базового проекта № 0287-2021-0011,
а также проекта РФФИ 20-05-00540**

G. I. Antonov,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of microbiology and environmental biotechnology laboratory of Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation,
egoan@yandex.ru

I. D. Grodnitskaya,

Doctor of Biological Sciences, Head of microbiology and environmental biotechnology laboratory of Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation, *igrod@ksc.krasn.ru*

V. A. Senachova,

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of microbiology and environmental biotechnology laboratory of Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation,
vera0612@mail.ru

O. E. Pashkeeva,

Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher of microbiology and environmental biotechnology laboratory of Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Krasnoyarsk, Russian Federation,
koeandkoe@mail.ru

USING OF INNOVATIVE BIOFERTILIZERS IN FOREST NURSERIES OF THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

Due to the increased falling volume in the Krasnoyarsk Territory, the problem of waste recycling at forest sector enterprises is becoming more acute. Small-scale sawmill waste has not yet found wide application, but it already has promising areas of use in the form of eco-friendly fertilizers. The workshop of the Laboratory of Microbiology and Environmental Biotechnology of the V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS has developed variants of fertilizer compositions based on a sawdust-soil mixture containing microdoses of various nitrogen fertilizers. The performed studies indicated the need to combine a mycoproduct based on coniferous sawdust with nitrogen fertilizers to stimulate the growth and development of pine and spruce seedlings. As a result, two types of sawdust-soil substrates with the addition of micro-doses of nitrogen fertilizers without mycoproduct (sawdust soil substrate – SSS) and with the introduction of mycoproduct (SSSM) were obtained. After application of SSSM the nursery of the experimental farm “Pogorelsky Bor” with microdoses of diamphosca, the scots pine seedlings were higher by 62 cm (53 %) than in the site with SSS. Siberian spruce seedlings growing on SSSM were also 30–58 % higher than seedlings of the same age on SSS. The introduction of mycoproduct (SSSM) also led to an increase in the apical bud growth of the main shoot of pine and spruce seedlings after the application of this substrate during the season. In the case of mycocomposting with diammonium phosphate and ammonium nitrate growth increased by 45–51 %. In the future, this technology can be recommended for artificial forest cultivation with environmentally determined forest management in the Krasnoyarsk Territory.

Keywords: biofertilizers, mycocomposting, forest nurseries, Krasnoyarsk forest-steppe.

В настоящее время такой вид лесопромышленных отходов как опилки используются не более чем на 30 % от общего объема [1]. Наибольшая их часть вывозится на полигоны ТБО для перегнивания, либо сжигается в отвалах [2]. Коллективом лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН в ходе экспериментов по утилизации древесно-опилочной массы разработаны варианты композиций удобрений на основе опилочно-почвенной смеси, содержащих микродозы различных азотных удобрений [3, 4].

Цель настоящего исследования – оценить эффективность применения различных вариантов инновационных композиций – опилочно-почвенных смесей с азотными удобрениями в сочетании с микопродуктом (ОПСМ) и без него (ОПС) на состояние саженцев сосны обыкновенной и ели сибирской, а также почвенных микробоценозов под ними на опытных лесных участках

В 2017 г. были заложены различные варианты опытов с использованием биоудобрений ОПС и ОПСМ на участках с саженцами сосны обыкновенной и ели сибирской (табл.) на территории лесного питомника Погорельского стационара ИЛ СО РАН. С 2018 г. по 2020 г. на участках с внесенными вариантами опилочно-почвенных смесей ОПС и ОПСМ проводили наблюдения морфометрических показателей саженцев сосны и ели, параллельно анализировали биологические процессы, происходящие в почве под саженцами хвойных.

Т а б л и ц а

Варианты опытов по тестированию опилочно-почвенных субстратов (ОПС и ОПСМ) на участках с саженцами сосны обыкновенной и ели сибирской в лесопитомнике «Погорельский Бор»

Удобрительные композиции опилочно-почвенного субстрата (ОПС)		Удобрительные композиции опилочно-почвенного субстрата с добавлением микопродукта (ОПСМ)	
СОСНА	ЕЛЬ	СОСНА	ЕЛЬ
Контроль: Опилки + Почва (КО)		Контроль: Опилки+Почва + Микопродукт (КО + М)	
Диаммофоска (Д)		Диаммофоска + Микопродукт (Д + М)	
Аммонийная селитра (АС)		Аммонийная селитра + Микопродукт (АС + М)	
Сульфат аммония (СА)		Сульфат аммония + Микопродукт (СА + М)	
Мочевина (М)		Мочевина + Микопродукт (М + М)	

Измерения прироста верхушечной почки центрального побега и высоты саженцев в 2020 г. на участках с ОПСМ показали, что у саженцев сосны прирост достоверно увеличился в вариантах с сульфатом аммония (СА) до 68,3 см и в контроле (КО) до 65 см. На участках ОПС достоверное увеличение приростов сосны помимо контрольного варианта было зарегистрировано в вариантах с микродозами сульфата аммония (СА) и мочевины (М) (до 55–62 см). Высота саженцев сосны достоверно увеличилась как в контроле, так и практически во всех вариантах с микродозами азотных удобрений в обоих видах опилочно-почвенных субстратов, за исключением вариантов с аммонийной селитрой (АС) на ОПС и мочевиной (М) на ОПСМ. У саженцев ели отсутствовал достоверный прирост на ОПСМ (за исключением варианта с диаммофоской). Высота саженцев ели достоверно увеличилась во всех вариантах ОПС и ОПСМ, за исключением вариантов с аммонийной селитрой (АС) и сульфатом аммония (СА). Двухфакторным дисперсионным анализом установлено, что варьирование показателей высоты и прироста верхушечной почки обусловлено в основном возрастом саженцев (или длительностью эксперимента) нежели выбранными микродозами минеральных удобрений в субстратах. Уровень значимости для сосны: $p = 0,004 - 0,01$; для ели – $p = 0,0003 - 0,009$.

Исследования почвенного микробиоценоза под посадками саженцев в различных вариантах опилочно-почвенного субстрата с микопродуктом (ОПСМ) показали, что суммарная численность микроорганизмов под посадками сосны обыкновенной выше таковой под посадками ели сибирской. После внесения ОПСМ в 2018 г. общая микробная численность была выше, чем в 2020 г. в среднем под сосной в 4 раза, под елью – в 5,3 раза. На протяжении трех лет исследований доминировали, в основном, неспоровые бактерии. Самой малочисленной группой были грибы. Несмотря на то, что их численность не превышала в разные годы от 0,045 до $0,96 \cdot 10^6$ КОЕ, качественный состав был достаточно разнообразным.

Процессы гумусообразования и гумусонакопления были сбалансированы в течение всего вегетационного периода после применения ОПСМ. Сравнительный анализ ферментативной активности за три года (2018–2020 гг.) в вариантах ОПСМ показал ее снижение. Под саженцами обеих пород заметно снизилась активность полифенолоксидазы (с 35–55 мг до 17–34 мг под сосной, и с 46–64 до 21–31 мг под елью), что в итоге привело к снижению коэффициента гумификации (его значения во время эксперимента редко превышали 1 в среднем за сезон). Целлюлозоразложение в целом на участках питомника варьировало в пределах ошибки, за исключением повышения в контрольных вариантах: под сосной с 22 до 33 %, под елью – с 37 до 41 %. Наибольшее снижение целлюлозоразлагающей активности отмечено под елью в вариантах с СА с 47 до 35 % и М – с 45 до 39 %.

Таким образом, созданные и внесенные в почву биоудобрения (разные варианты ОПС и ОПСМ) не только оптимизировали процессы разложения и минерализации опилочной массы, но и положительно сказались на морфологических характеристиках саженцев хвойных. Несмотря на активную минерализацию почвенной биотой внесенные биоудобрения не истощились на протяжении трех лет эксперимента. Во всех вариантах ОПСМ наблюдали постепенное снижение биологических показателей почвы, которые в целом оставались выше контрольных вариантов (почва+опилки), что свидетельствует о пролонгированном действии биоудобрений. Следовательно, наиболее перспективные/эффективные варианты азотных композиций ОПСМ (СА, М, ДА) можно рекомендовать для использования в искусственном лесоразведении.

Список литературы

1. Ларченко В. М., Джафаров Т. А. Перспективы и проблемы использования отходов лесопромышленного сектора и древесного сырья в биоэнергетике Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2013. № 9. С. 206–210.
2. Дитрих В. И., Андрияс А. А., Пережилин А. И., Корпачев В. П. Оценка объемов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII. № 3-4. С. 346–351.
3. Патент на изобретение № 2681572 от 11.03.2019. Опилочно-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв / Г. И. Антонов, Н. В. Пашенова, И. Д. Гродницкая.
4. Антонов Г. И., Сорокин Н. Д., Барченков А. П., Кондакова О. Э. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2018. № 1. С. 56–64.

УДК 574.24

Е. Б. Атаманова,

к. с.-х. н., преподаватель 7 кафедры ФГКВОУ ВО «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты им. Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко», г. Кострома, РФ,
katebortsova@mail.ru

РОЛЬ ЭДТА И ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ТЕРРИТОРИЙ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕДЬЮ

В ходе экспериментальных исследований рассмотрена возможность применения этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА) и лимонной кислот в процессе фиторемедиации дерново-подзолистых почв с избыточным содержанием меди. В результате проведенных исследований определили, что хорошим фиторемедиантом почвы от избытка этого металла является Salix alba L. Также выявлено, что при внесении в почву растворов ЭДТА и лимонной кислот эффект фиторемедиации древесных растений увеличился на 14-47 % к контролю. Лучшим вариантом опыта для очистки территорий от избытка ионов меди является совместное действие ЭДТА и лимонной кислот. Эффективность по сравнению с контролем составила 38 и 47 % соответственно.

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, фиторемедиация, ЭДТА, лимонная кислота.

E. B. Atamanova,

candidate of agricultural sciences, Lecturer of the 7th department of the Federal State Educational Institution of Higher Education "Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko", Kostroma, Russian Federation, katebortsova@mail.ru

THE ROLE OF EDTA AND CITRIC ACID IN PHYTOREMEDIATION BY WOODY PLANTS IN TERRITORIES OF THE KOSTROM REGION CONTAMINATED WITH COPPER

In the course of experimental studies, the possibility of using ethylenediaminetetraacetic (EDTA) and citric acids in the process of phytoremediation of sod-podzolic soils with excess copper content was considered. As a result of the studies, it was determined that Salix alba L. is a good phytoremediant of the soil from an excess of this metal. It was also revealed that when EDTA and citric acid solutions were introduced into the soil, the phytoremediation effect of woody plants increased by 14–47 % compared to the control. The best variant of experience for cleaning territories from excess copper ions is the combined action of EDTA and citric acids. The effectiveness compared to the control was 38 and 47 %, respectively.

Keywords: heavy metals, copper, phytoremediation, EDTA, citric acid.

Из большого числа загрязняющих почву веществ, попадающих в почву вблизи функционирующих предприятий, особое место занимают тяжелые металлы (ТМ). В настоящее время пристальное внимание уделяют территориям, находящимся в зоне влияния ТЭЦ и полигонов промышленных и бытовых отходов.

В условиях Костромской области в 2019 году была проведена экологическая оценка почв этих территорий на наличие приоритетных загрязнителей (ТМ): меди, цинка, кадмия, свинца и никеля. Эти ТМ были выбраны при оценке коэффициента техногенной концентрации (Кс), рассчитанного по формуле: $K_c = C_i / C_{fi}$, где C_{fi} и C_i – фоновое и фактическое содержание i -го элемента в почве. По коэффициенту концентрации были сделаны выводы по комплексному показателю суммарного загрязнения $Z_{ст}$, учитывающего степень опасности ТМ. $Z_{ст} = \sum K_t - (n - 1)$, где n – число определяемых компонентов; K_t – коэффициент токсичности элемента (для первого класса опасности $K_t = 1,5$; для второго – $K_t = 1$; для третьего $K_t = 0,5$) [1].

Почвы, примыкающие к полигону ТБО «Каменка» (Нерехтский район), оказались чрезвычайно загрязнены медью. Превышение показателя ОДК [2] (ориентировочно допустимая концентрация) – в 27 раз. Остальные почвы изучаемых объектов относятся к категории допустимого загрязнения (< 16) [3] (табл.).

Т а б л и ц а

Загрязнение почв ТМ возле объектов ТЭЦ и полигонов ТБО

Место отбора почвы	Валовое содержание ТМ, мг/кг почвы					$Z_{ст}$
	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb	
ТЭЦ-1	13,7	0,15	25,8	5,8	10,8	10,6
ТЭЦ-2	12,0	0,17	39,0	4,2	7,5	12,2
Полигон ТБО «Каменка»	1765,0	0,05	19,9	9,4	5,3	253,9
Полигон ТБО «Семеново» (в настоящее время закрыт)	6,2	0,04	17,4	9,8	4,5	1,8

Одной из актуальных проблем Костромской области является разработка методов очистки загрязненных ТМ территорий. В последнее время все более широкое распространение приобретает метод фиторемедиации, под которым понимают вынос ТМ путем накопления в растительных объектах. Растения очищают почву на глубину распространения их корневой системы, поэтому деревья и кустарники, как правило, имеют определенные преимущества, чем травянистые растения.

Главное достоинство фиторемедиации – ее низкая стоимость, а недостаток – значительная продолжительность процесса. В среднем фиторемедиация обходится в 2–4 раза дешевле, чем удаление и захоронение загрязненного горизонта [4].

Основной показатель, по которому судят об эффективности фиторемедиации – это общий вынос ТМ с единицы площади по отношению к валовому содержанию в почве. Эффективность фиторемедиации напрямую зависит от концентрации ТМ в отчуждаемой биомассе, а также от ее количества. Из древесных растений наибольшей извлекающей способностью по отношению к меди обладают: *Salix alba L.*, *Acer negundo*, *Betula pendula*, *Ulmus minor L.*, *Syringavulgaris L.* [5].

Загрязненная биомасса древесных растений в дальнейшем подлежит сжиганию и захоронению, или использованию как вторичное сырье.

Известно, что доступность растениям металлов в почве является одним из ограничений эффективности фитоэкстракции. Накопление меди происходит по барьерному типу, данный металл входит в группу среднего захвата и слабого передвижения. Поэтому, ключом к фитоэкстракции ме-

таллов является увеличение их концентрации в почвенном растворе с помощью синтетических хелатообразующих агентов [6].

Применение ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной) и некоторых органических кислот не только повышает доступность металлов для растений, но и выполняет роль транспортного средства в растении. Установлено, что в комплексе с хелатообразующим агентом повышается растворимость металлов и снижается размер их частиц. Это обеспечивает преодоление ими препятствий при передвижении от корня к стеблю. При этом поступающие в растения металлы в комплексе с ЭДТА накапливаются обычно в надземных органах, что способствует более эффективному очищению почвы от ТМ.

Таким образом, целью исследования было устранить избыток меди в почве территорий, примыкающих к полигону ТБО «Каменка» с помощью древесных растений с дополнительным применением растворов этилендиаминтетрауксусной и лимонной кислот.

Из древесных растений, аккумуляторов меди, было выбрано два объекта исследований – *Salix alba* L. и *Betula pendula*.

Варианты опыта были следующие:

1. Контроль (без применения хелатов);
2. ЭДТА (раствор с концентрацией 8 мг/л);
3. Лимонная кислота (раствор с концентрацией 3 г/л);
4. ЭДТА + лимонная кислота (растворы с концентрацией 8 мг/л и 3 г/л).

Растворы хелатообразующих агентов применялись однократно весной в виде корневой подкормки растений в норме 200 л/га.

У выбранных объектов исследований определялось содержание меди методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Сбор биомассы (листья) проводили на 6 исследовательских участках в течение 2020 года на территории, примыкающей к полигону ТБО «Каменка».

Лучшим аккумулятором меди была ива белая (*S. alba*). В среднем вынос поллютанта растением с территории составил 19,6 мг/кг почвы.

Хелатирующие агенты (ЭДТА и лимонная кислота) оказали выраженное положительное влияние на аккумуляцию древесными растениями ионов меди. Прибавка к контролю составила 14–47 % (рис.).

Применение ЭДТА в фиторемедиационной технологии способствовало увеличению извлечения меди древесными культурами из почвы на 26–38 % к контролю, лимонной кислоты – на 14–16 % соответственно.

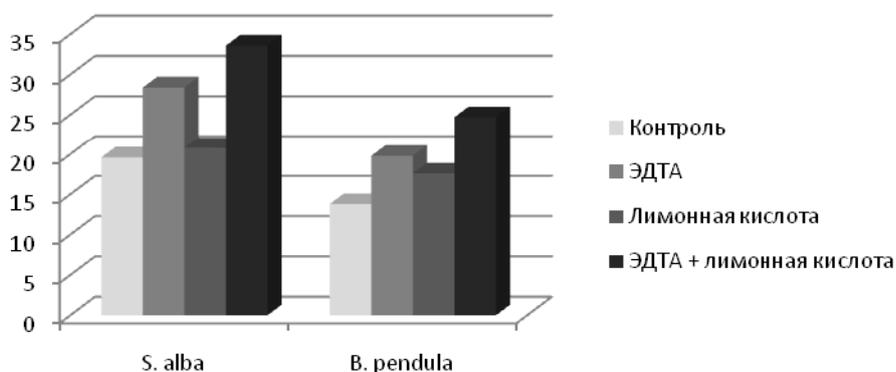


Рис. Валовое содержание меди в листовой биомассе *S. alba* и *B. pendula* в зависимости от вариантов опыта, мг/кг

Таким образом, в ходе проведенного эксперимента были определены объекты с избыточным содержанием ТМ и влияние элементов фиторемедиационной технологии в снижении избыточного содержания поллютанта в почвах. Среди вариантов опыта лучший эффект по извлечению меди древесными растениями был в результате совместного применения ЭДТА и лимонной кислоты (47 и 38 % соответственно).

Список литературы

1. Елизарьева Е. Н., Янбаев Ю. А., Редькина Н. Н., Кудашкина Н. В., Байков А. Г. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли // Вестник Оренбургского ГУ. 2007. № 9. С. 77–86.
2. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. М. : Академический проект; Гаудеамус, 2007. 237 с.

3. Атаманова Е. Б., Пригорелов Г. А. Оценка загрязнения почв промышленной территории Костромской области кадмием // Сборник статей и докладов науч.-практ. конф. ВА РХБЗ. Кострома, 2019. С. 31–35.
4. Андреева И. В., Байбеков Р. Ф., Злобина М. В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Мелиорация и рекультивация, экология. 2009. № 5. С. 5–11.
5. Григорьева И. Я. Изучение биоиндикационных свойств древесных растений на тяжёлые металлы // Инновационная наука. 2015. С. 26–28.
6. Галиулин Р. В., Башкин В. Н., Галиулина Р. Р. Влияние эффекторов фитоэкстракции на ферментную активность почвы, загрязненной тяжелыми металлами // Агрохимия. 1998. № 7. С. 77–86.

УДК 630.5181+630.57+630.91

Т. А. Беляев,

аспирант 3 года обучения, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ, belyaev@roslesperm.ru

З. Я. Нагимов,

д. с.-х. н., профессор, директор Института леса и природопользования, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ, nagimovzy@m.usfeu.ru

И. В. Шевелина,

к. с.-х. н., доцент, зав. кафедрой ЛТиЛУ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ, shevelinaiv@m.usfeu.ru

ТАКСАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ОСИННИКОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Осинники в южно-таежном районе европейской части Пермского края занимают 160629,3 га. Их площадь на протяжении последних 70 лет неуклонно возрастает. Насаждения осины произрастают в 18-ти типах леса, которые объединяются в 8 групп типов лесорастительных условий. Осинники предпочитают (94,4 % от площади) относительно богатые, влажные и относительно богатые, свежие группы типов лесорастительных условий. Среднеполнотные насаждения являются преобладающими (82,3 % от площади). Средняя полнота осинников составляет 0,70.

Ключевые слова: осина, лесной фонд, Пермский край, тип леса, полнота насаждений.

T. A. Belyaev,

3rd year graduate student, Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russian Federation, belyaev@roslesperm.ru

Z. Y. Nagimov,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Forest and Nature Management, Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russian Federation, nagimovzy@m.usfeu.ru

I. V. Shevelina,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of Forest Taxation and Forest Management Department, Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russian Federation, shevelinaiv@m.usfeu.ru

TAXATION STRUCTURE OF ASPEN FORESTS OF THE PERM REGION

Aspen forests in the southern taiga region of the European part of the Perm Region occupy 160629.3 hectares. Their area has been steadily increasing over the past 70 years. Aspen stands grow in 18 types of forest, which are grouped into 8 groups of types of forest conditions. Aspen trees prefer (94.4 % of the area) relatively rich, moist and relatively rich, fresh groups of types of vegetation conditions. Medium-sized plantings are predominant (82.3 % of the area). The average fullness of aspen trees is 0.70.

Keywords: aspen, Forest fund, Perm region, forest type, fullness of plantings.

В директивных материалах в области лесного хозяйства подчеркивается необходимость создания информационной базы о состоянии, использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов [1, 2]. При выполнении этой задачи особое внимание следует уделять древесным породам, площадь насаждений которых неуклонно возрастает. В лесном фонде Пермского края одной из таких пород является осина [3]. Осинники в последние десятилетия играют существенную роль в формировании лесного покрова и представляют большую хозяйственную ценность в регионе.

Цель исследования – оценка распределения площади осинников по лесоводственно-таксационным показателям.

Район исследований в соответствии с лесорастительным районированием относится к южно-таежному району европейской части Пермского края [4]. Он расположен в границах семи лесничеств:

Сивинского, Березниковского, Пермского, Закамского, Добрянского, Юсьвинского и Кудымкарского. Их общая площадь составляет 2126760 га.

Исследования выполнялись на основании лесохозяйственных регламентов и материалов прежнего лесоустройства, проведенного на землях лесного фонда указанных лесничеств. При анализе использовалась электронная база данных таксационных описаний и компьютерная программа Microsoft Excel.

В результате проведенных исследований установлено, что в составе лесов лесничеств насчитывается 17538 осиновых выделов (в которых осина в формуле состава стоит на первом месте), занимающих площадь 160629,3 га.

В лесном фонде по данным учета 2018 года встречаются насаждения с преобладанием 12 древесных пород: 5 – хвойных, 2 – твердолиственных, 5 – мягколиственных [3]. За последние десятилетия наблюдалась общая для всех лесов Урала тенденция в изменении площадей, занятых хвойными и мягколиственными породами [5, 6]: устойчивое сокращение площади, занятой хвойными породами (елью и пихтой) и одновременное увеличение площади мягколиственных пород (березы и осины).

По площади осинники в мягколиственном хозяйстве Пермского края занимают второе место. При этом их доля растет: в 1948 г. удельный вес равнялся 11,2 %, а в 2018 году – уже 13,7 % [3].

В исследуемом лесорастительном районе осина произрастает в 18-ти типах леса, которые объединяются в 8 групп типов лесорастительных условий (рис.).

Преобладающими группами типов леса, в которых произрастают осиновые насаждения, являются относительно богатая, влажная и относительно богатая, свежая группы. Доля первой группы в общей площади осинников составляет 55,1 %, а второй – 39,3 %. Относительно богатая, влажная группа объединяет типы леса ельник липняковый (45,7 %) и ельник травяной (54,3 %), а относительно богатая, свежая – ельник кисличниковый (99,6 %) и сосняк кисличниковый (0,4 %). Остальные группы типов лесорастительных условий в исследуемом районе имеют весьма ограниченное распространение и большого хозяйственного значения не имеют. Таким образом, насаждения осины предпочитают по плодородию относительно богатые почвы, по режиму увлажнения – влажные и свежие.

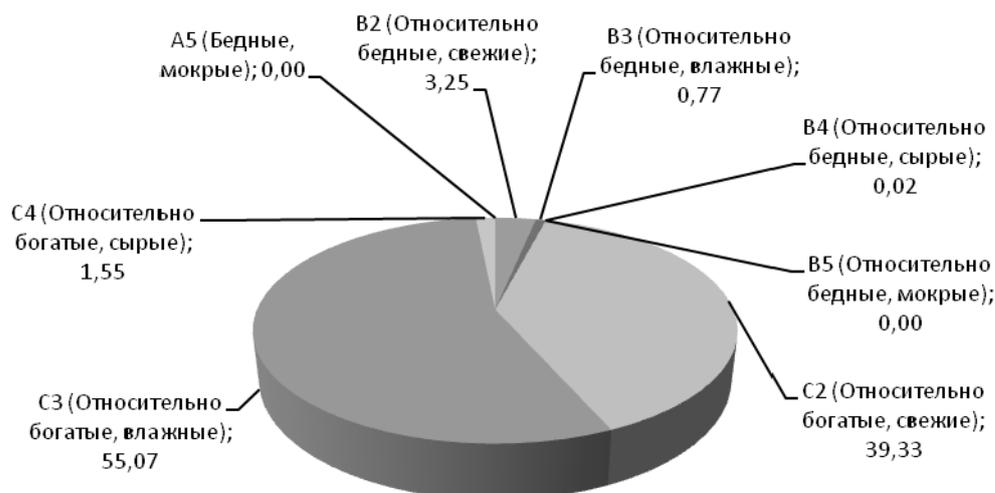


Рис. Распределение площади осинников по группам типов лесорастительных условий, %

При ведении лесного хозяйства важное значение имеет полнота древостоев. Это связано с тем, что лесорастительные условия, оцениваемые типами леса и классами бонитета, не учитывают специфику роста насаждений, обусловленную их начальной густотой и ходом последующего самоизреживания. Помимо определения запаса, показатели относительной полноты используются при проектировании многих лесохозяйственных мероприятий и характеристике лесного фонда.

Данные о распределении площади осинников в исследуемом районе по группам полноты представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Распределение площади осинников по группам полноты

Группы полноты	Площадь	
	га	%
Высокополнотная	25284,6	15,8
Среднеполнотная	132237,9	82,3
Низкополнотная	3106,8	1,9
Итого	160629,3	100

Данные таблицы свидетельствуют, что на исследуемой территории наибольшее распространение имеют среднеполнотные насаждения с полнотой 0,5–0,8. Они занимают площадь 132237,9 га или 82,3 % от общей площади осинников. Высокополнотные насаждения с полнотой 0,9–1,0 произрастают на площади 25284,6 га (15,8 %). Насаждения, относящихся к группе низкополнотных с полнотой 0,3–0,4, занимают площадь 3106,8 га (1,9 %). Средняя полнота осинников в исследуемом районе Пермского края составляет 0,70.

Осинники на исследуемой территории, как правило, представлены одновозрастными и одноярусными насаждениями с горизонтальной сомкнутостью полога. Общая площадь лесотаксационных выделов осины с закрытым типом ландшафта (с относительной полнотой 0,6 и выше) составляет 149570,3 га (или 93,1 % от площади покрытой лесной растительностью).

В целом по результатам проведенных исследований можно отметить следующее. В исследуемом лесорастительном районе осина является породой, площади насаждений которой на протяжении последних 70 лет неуклонно возрастают. В настоящее время осинники играют существенную роль в формировании лесного покрова региона. Это обстоятельство следует учесть при организации хозяйств в лесу, проектировании лесозаготовительных и лесоперерабатывающих производств. Осинники произрастают в 8 группах типов лесорастительных условий, существенно различающихся режимом увлажнения и трофностью почв. Однако в наибольшей степени (94,4 % по площади) они предпочитают относительно богатые, влажные и относительно богатые, свежие группы типов леса. Преобладающими насаждениями среди осинников являются среднеполнотные, их площадь составляет 132237,9 га (82,3 %). Средняя полнота составляет 0,70.

Список литературы

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ (в ред. от 13.07.2015 № 233-ФЗ) // СПС «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 17.03.2021).
2. Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов Российской Федерации. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 26.09.2013 № 1724-р // СПС «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 17.03.2021).
3. Дыренков С. Д., Шергольд О. Э., Канисев Г. Н., Воронова О. И., Жебряков В. Н. Лесорастительное и лесотаксационное районирование в Пермской области. Методические рекомендации. Л. : Ленинградский лесотехнический институт, 1977. 34 с.
4. Беляев Т. А., Нагимов З. Я. Шевелина И. В. Шерстнев В. А. Ретроспективный анализ изменения площадей насаждений различных пород в лесном фонде Пермского края // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 4(71). С. 10–17.
5. Соколов С. В. Исследование роста и товарности сосновых насаждений подзоны южной тайги Зауралья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00. Свердловск, 1970. 23 с.
6. Нагимов З. Я. Закономерности строения и роста сосновых древостоев и особенности рубок ухода в них на Среднем Урале : дис. ... к. с.-х.н.: 06.03.03. Свердловск, 1984. 329 с.

УДК 504.54.05

О. В. Игнатъева,

к. б. н., доцент кафедры ботаники и дендрологии ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, РФ,
ignateva_oksana@inbox.ru

В. Т. Ярмишко,

д. б. н., профессор кафедры ботаники и дендрологии ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, РФ,
vasliiyarmishko@yandex.ru

ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНАХ ИНТЕНСИВНОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

*Исследовались средневозрастные лишайниково-зеленомошнные сообщества *Pinus sylvestris* L., ненарушенные хозяйственной деятельностью человека, и сообщества, подвергающиеся хроническому воздействию отходов медно-никелевого производства на Кольском Севере. Установлено, что современные тенденции развития и состояние сосновых лесов на вырубках и гарях в фоновых условиях обусловлены естественными природными процессами и внутри популяционными взаимоотношениями. Аэротехногенное загрязнение является значимым фактором, повреждающим ассимиляционные органы и кроны деревьев, подавляющим ростовые процессы отдельных деревьев и древостоев в целом, определяющим виталитетную струк-*

туру сообществ, а вблизи крупного медно-никелевого комбината она выступает доминирующим фактором, вызывающим заметное ослабление и даже разрушение сосновых лесов. На фоне существенного снижения объемов атмосферных выбросов прослеживается тенденция улучшения жизненного состояния сосновых лесов даже в зоне сильного загрязнения.

Ключевые слова: сосна, древостои, Кольский Север, загрязнение, SO_2 , тяжелые металлы, хвоя, жизненное состояние, устойчивость.

O. V. Ignatieva,

Candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Saint Petersburg state forest technical University. S. M. Kirov, Saint-Petersburg, Russia,

igniteva_oksana@inbox.ru

V. T. Yarmishko,

Doctor of Biological Sciences, Professor, Saint Petersburg state forest technical University. S. M. Kirov, Saint-Petersburg, Russia,

vasliiyarmishko@yandex.ru

PROBLEMS OF FOREST ECOSYSTEM SUSTAINABILITY IN AREAS OF INTENSIVE HUMAN ECONOMIC ACTIVITY IN THE KOLA PENINSULA

*Middle-aged lichen-green moss communities of *Pinus sylvestris* L., undisturbed by human economic activity, and communities exposed to chronic effects of copper-nickel production waste in the Kola North were studied. It is established that the current trends in the development and condition of pine forests in deforestation and burning in the background conditions are due to natural processes and intra-population relationships. Aerotechnogenic pollution is a significant factor that damages the assimilation organs and crowns of trees, suppresses the growth processes of individual trees and stands as a whole, determines the vital structure of communities, and near a large copper-nickel combine, it is the dominant factor that causes a noticeable weakening and even destruction of pine forests. Against the background of a significant decrease in atmospheric emissions, there is a tendency to improve the living condition of pine forests, even in the zone of heavy pollution.*

Keywords: pine, stands, Kola North, pollution, SO_2 , heavy metals, needles, vital condition, stability.

Современный лесной покров на Кольском Севере представляет собой огромную сукцессионную систему, подавляющее большинство процессов в которой инициировано хозяйственной деятельностью человека. Начавшееся еще около 100 лет назад интенсивное строительство жилых и промышленных объектов на территории Кольского полуострова потребовало огромного количества древесных ресурсов. Площадь лесов, нарушенных рубками, в частности наиболее разрушительными сплошными рубками, во много раз превышала площадь лесов, пострадавших от воздействия другого мощного антропогенного фактора – промышленного атмосферного загрязнения [1]. Постоянно возрастающее количество промышленных отходов нередко вызывало нарушения в природных лесных комплексах, а в отдельных районах – деградацию веками формирующихся экологических систем [2, 3].

Одним из таких районов является Кольский полуостров, где расположен и работает с 1939 года комбинат по производству цветных металлов (Ni, Cu, Co и др.) – «Североникель», загрязняющий окружающую среду отходами своего производства. Максимальные выбросы, составляющие в среднем в год 230–240 тыс. т SO_2 и 15 тыс. т мелкодисперсной пыли, содержащей смесь сульфидов и оксидов Ni и Cu, наблюдались в период с 1973 по 1992 гг., когда комбинат перешел на переработку руды из Норильска, содержащей повышенное количество серы. В конце 1990-х гг. на комбинате была осуществлена реконструкция очистных сооружений, что позволило сократить объемы выбросов SO_2 почти в 6 раз, тяжелых металлов – в 3 раза [4, 5].

Цель настоящей работы – изучить и оценить жизненное состояние и устойчивость производных сосняков лишайниково-зеленомошных, формирующихся на вырубках и горяях, а также испытывающих в отдельных районах на Кольском полуострове воздействие аэротехногенного загрязнения.

Исследования проводились в средневозрастных лишайниково-зеленомошных сосновых лесах, формирующихся на вырубках и горяях, расположенных на различном расстоянии от источника эмиссии в пределах трех районов, различающихся по интенсивности промышленного атмосферного загрязнения: фоновом, умеренного и интенсивного загрязнения. Для оценки уровня загрязнения территории определяли содержание кислотрастворимых форм тяжелых металлов (Ni, Cu) в органогенном горизонте Al-Fe-подзолистых почв [5, 6].

В каждом районе были заложены постоянные пробные площади (ППП) размером 0,1–0,2 га. На каждой ППП были выполнены: таксация древостоя, определена виталитетная структура сообществ *Pinus sylvestris* L., оценены поврежденность, и продолжительность жизни хвои, интенсивность линейного и радиального роста деревьев, устойчивость в условиях антропогенного пресса в условиях Кольского Севера [6, 3]. Общей методической особенностью проведенных исследований было сравнение полученных результатов в сообществах сосны обыкновенной в условиях разных уровней атмосферного загрязнения с аналогичными показателями в фоновых лесах, принятыми нами за норму (эталон). Обработку количественных данных проводили методами описательной статистики, дисперсионного и регрессионного анализов.

Средневозрастные древостои *Pinus sylvestris* в центральной части Кольского полуострова являются одноярусными, V и V-а классов бонитета с полнотой 0,3–0,5 и запасом древесины до 50 м³/га⁻¹.

Одним из показателей жизненного состояния деревьев и древостоев в хвойных лесах на Кольском Севере является характер развития ассимиляционного аппарата и его состояние. Так, в исследуемых фоновых сосняках виталитетная структура хвои на деревьях была практически стабильной, поврежденность ее достоверно не различалась в течение последних 20–25 лет. В этих условиях лишь небольшая часть (не более 5 %) хвои сосны имела хлорозы и/или некрозы, которые занимали площадь менее 5 % от общей поверхности. Продолжительность жизни хвои на деревьях достигает 6–7 лет, иногда до 10 лет в северо-восточных районах полуострова. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей для сосновых лесов Кольского полуострова [7, 8].

В ходе наших исследований в сосняках лишайниково-зеленомошных была выявлена тенденция последовательного увеличения ежегодного линейного прироста сосны в высоту с некоторым замедлением в отдельные годы. Анализ данных по двум фоновым районам показывает, что в течение последних 12–15 лет прирост в высоту остается стабильным: в Ливском – на среднем уровне – около 20 см год⁻¹, в Ковдорском – на более высоком уровне – 27 см год⁻¹. Интенсивность радиального прироста у сосны обыкновенной в рассматриваемых условиях продолжает снижаться в исследованном временном интервале, не достигая стабильности в отличие от прироста в высоту. При этом величина прироста снижается в среднем в 2–2,5 раза: от 0,8–1,1 мм год⁻¹ до 0,3–0,5 мм год⁻¹.

В исследованных фоновых сосняках виталитетная структура древостоев представлена здоровыми особями и сохранялась она на всем протяжении периода наших наблюдений.

Первым, визуальным определяемым признаком отклонения жизненного состояния деревьев сосны обыкновенной от нормы, является изменение естественного цвета хвои (дехромация). При воздействии токсикантов площадь пораженной поверхности хвоинок хлорозами и некрозами может достигать 75 % и более. При этом происходит изменение зеленого цвета на красно-коричневый, бурый и серый.

Загрязнение лесных сообществ диоксидом серы в сочетании с тяжелыми металлами является основной причиной наблюдающегося прогрессивного усиления ажурности крон деревьев сосны. Оно происходит в результате повреждения и преждевременного опадения хвои и мелких веток. В районе интенсивного атмосферного загрязнения опад хвои сосны начинается уже в однолетнем возрасте (40–50 %), а двухлетней хвои на деревьях остается не более 25 % в сравнении с фоновыми древостоями. Повреждение и преждевременное опадение хвои сосны является причиной снижения продолжительности жизни ее на деревьях. В результате хронического воздействия токсикантов возраст хвои на деревьях снижается до 2–3 лет в районах интенсивного загрязнения по сравнению с 6–7 годами в фоновых древостоях. Увеличение продолжительности жизни хвои практически до фоновых значений произошло после резкого снижения объемов атмосферных выбросов загрязняющих веществ в начале XXI века.

Загрязнение заметно подавляет линейный и радиальный прирост у сосны обыкновенной. Так, интенсивность прироста в высоту центральных побегов может снижаться до 40 %, а в отдельные годы до 70 % в районах сильного загрязнения по сравнению с контролем. Радиальный прирост сосны подвержен меньшим изменениям. Его интенсивность снижалась на 30 % и более, чем в фоновых древостоях. В настоящее время интенсивность радиального прироста сосны в рассматриваемых условиях достаточно близкая, а в отдельные годы превосходит на 12–15 % прирост сосны в фоновых древостоях. Подобную реакцию древесных растений на снижение объемов промышленных отходов можно было ожидать, несмотря на накопленные значительные количества тяжелых металлов в почве [5].

Под воздействием токсикантов существенно ухудшается жизненное состояние древостоев *Pinus sylvestris*, а в непосредственной близости к источнику эмиссии они разрушаются. Сокращение объемов атмосферных выбросов комбинатом «Североникель» заметно улучшило виталитетную структуру сосновых лесов в районе исследований.

Заключая, отметим, что сообщества сосны обыкновенной на Кольском полуострове демонстрируют достаточно высокую устойчивость к воздействию антропогенных факторов. На вырубках и гарях сосна обыкновенная успешно возобновляется и формирует густые, интенсивно развивающиеся древостои. Под воздействием аэротехногенного загрязнения, древостои сосны обыкновенной претерпевают визуально наблюдаемые признаки угнетения и даже разрушения надземных органов. Однако на фоне существенного снижения объемов загрязнителей увеличивается продолжительность жизни хвои на деревьях, активизируются ростовые процессы, улучшается жизненное состояние сообществ в целом. Таким образом, сосна обыкновенная проявляет определенную устойчивость к такому агрессивному антропогенному фактору как аэротехногенное загрязнение.

Список литературы

1. Цветков В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск : Изд-во Арханг. гос. тех. ун-та, 2002. 380 с.
2. Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб. : ООО «ВВМ», 2005. 450 с.
3. Ярмишко В. Т., Игнатъева О. В. Скорость роста и структура фитомассы *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в средневозрастных сосняках Мурманской области // Раст. ресурсы/ 2020. Т. 56, вып. 4. С. 101–110.
4. Ежегодник Кольской КМК. № 5. Мончегорск, 2007. 71 с.
5. Lyanguzova I., Yarmishko V., Gorshkov V., Stavrova N., Bakkal I. Impact of Heavy Metals on Forest Ecosystems of the European North of Russia/Heavy Metals. Ch. 6. 2018. P. 92-114. DOI: 10.5772/intechopen.73323. ISBN: 978-1-78923-361-2.
6. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимииСПбГУ, 2002. 240 с.
7. Цветков В. Ф., Никонов В. В. Структура и запасы фитомассы хвои в сосновых молодняках Кольского полуострова // Лесоведение. 1985. № 1. С. 32–39.
8. Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. : Наука, 2002. 191 с.

УДК 581.2

Э. В. Марамохин,

аспирант 3 года, преподаватель кафедры биологии и экологии, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
maramokhin91@mail.ru

М. В. Сиротина,

д. б. н., зав. кафедрой биологии и экологии, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
mvsirotna@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ДЕСТРУКЦИИ И ДЕГРАДАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ МЕЛКОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕКОТОРЫХ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ

*Одной из важнейших биогеоценологических функций ксилотрофных базидиомицетов является разложение древесины. На этот процесс влияют экологические и биохимические особенности самих грибов, а также физико-химические особенности древесины у каждой конкретной древесной породы, погодные-климатические и гидрологические условия местообитания. Изменение любого из этих факторов влияет на особенности развития в определенных типах лесных сообществ ксилотрофов, специализирующихся на разрушении древесины, преобладающих видов фанерофитов. При этом скорость деструкции будет зависеть также и от широтного градиента. Деструкция и деградация древесины это сложный и многолетний процесс, изучать его в природных условиях крайне сложно, поэтому для решения этой задачи в ходе работы были использованы методы и приемы, применяемые в биотехнологии, а именно получение *in vitro* чистых культур некоторых ксилотрофных базидиомицетов с дальнейшим внедрением полученного мицелия в части древесины мелколиственных пород и последующей статистической обработкой полученных данных.*

Ключевые слова: ксилотрофные базидиомицеты, мелколиственные леса, деструкция, деградация, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quel., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pil.

E. V. Maramokhin,

3rd year graduate student, lecturer at the Department of Biology and Ecology, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
maramokhin91@mail.ru

M. V. Sirotna,

Doctor of Biological Sciences, Head Department of Biology and Ecology, Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation,
mvsirotna@gmail.com

PECULIARITIES OF DESTRUCTION AND DEGRADATION OF TREES OF SMALL-LEAVED FORESTS UNDER THE INFLUENCE OF XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES

*Wood decomposition is one of the most important biogeocenotic functions of xylotrophic basidiomycetes. This process is influenced by the ecological and biochemical characteristics of the fungi, as well as by the physicochemical characteristics of wood of each specific tree species and climatic and hydrological characteristics of the habitat. Changes in any of these factors affect the formation of xylotrophs which are specializing in the destruction of wood of the predominant species of phanerophytes in certain types of forest communities. In this case, the rate of destruction will also depend on the latitudinal gradient. The destruction and degradation of wood is a complex and long-term process, it is extremely difficult to study it in natural conditions, therefore, to solve this problem, the methods and techniques used in biotechnology were used in the course of the study. In particular the *in vitro* production of pure cultures of some xylotrophic basidiomycetes with the further infusion of the obtained mycelium into the wood of small-leaved species and subsequent statistical processing of the gathered data.*

Keywords: *xylotrophic basidiomycetes, small-leaved forests, destruction, degradation, Fomes fomentarius (L.) Fr., Phellinus igniarius (L.) Quel., Piptoporus betulinus (Bull.) P. Karst., Inonotus obliquus (Ach. ex Pers.) Pil.*

Введение. Ксилотрофные базидиомицеты в фитоценозах имеют исключительно важное значение как деструкторы и фитопатогены некоторых ценных мелколиственных пород, например, таких как *Betula pendula* Roth. и *Populus tremula* L. [3, с. 98]. Обладая сложным комплексом специфических ферментов, эти организмы способны разрушать древесную целлюлозу, высвобождать и делать доступным биологически связанный углерод [9, с. 118]. На разрушение целлюлозы оказывают влияние экологические и биохимические особенности самих грибных фитопатогенов, а также особенности древесины у каждой конкретной древесной породы, погоднo-климатические и гидрологические особенности местообитания и в целом широтный градиент [7, с. 74]. Изменение любого из этих факторов оказывает существенное влияние на особенности формирования в лесных сообществах ксилотрофов, специализирующихся на разрушении древесины, преобладающих видов мелколиственных древесных пород [10, с. 28]. Для Костромской области, основа экономики которой во многом связана с лесом, исследования деструкции и деградации древесины ксилотрофными базидиомицетами имеет очень важное значение при разработке мер по повышению качества древесины и планировании лесохозяйственных и фитосанитарных мероприятий [4, с. 5].

Материалы и методы. Объектом исследования были выбраны четыре вида ксилотрофных базидиомицетов, которые широко распространены в Костромской области, и являются основными возбудителями корневых и стволовых гнилей деревьев мелколиственных пород, а также производят деструкцию детрита в лесных фитоценозах [8, с. 55]. Это такие виды как *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Phellinus igniarius* (L.) Quel., *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst., *Inonotus obliquus* (Ach. Ex Pers.) Pil. Для этой группы организмов характерны макроскопические плодовые тела, которые примыкают одной из сторон к дереву с плотной консистенцией ткани [2, с. 15].

Для изучения особенностей деструкции и деградации древесины мицелием ксилотрофов были использованы методы, которые широко используются в биотехнологии растительных объектов [5, с. 13]. В культуре *in vitro* из части плодовых тел на питательных средах Мурасиге-Скуга и Чапека была получена чистая культура мицелия изучаемых фитопатогенов [1, с. 47].

Культуральный мицелий использовался для заражения предварительно подготовленной древесины *B. pendula* и *P. tremula*. Для этого части ветвей представленных мелколиственных пород предварительно стерилизовали в сухожаровом шкафу при температуре 160 °C с экспозицией 2,5 ч, а затем вымачивали в стерильной дистиллированной воде в течение 12 ч и измеряли массу древесины. Таким образом, исключалось первичное влияние возможно имевшихся фитопатогенов-деструкторов иной природы. Затем производили множественные надсечки на коре и инокулировали мицелий ксилотрофных базидиомицетов. Части ветвей помещались в естественные условия на 2 года, затем замерялась масса и производилась статистическая обработка полученных данных [6, с. 129].

Результаты. Как уже было отмечено, поставленный эксперимент продолжался на протяжении двух лет. За это время мицелий фитопатогенов активно внедрился в древесину, однако плодовые тела сформироваться не успели. У подавляющего числа образцов была отмечена белая гниль. В образцах пораженных *P. igniarius* были отмечены признаки деструктивной гнили, которые выражались в изменении окраски и структуры древесины. Нами была выявлена зависимость по скорости деструкции и деградации древесины. Кроме свойств самой древесины на скорость этих процессов влияет также ферментативный аппарат самого штамма ксилотрофного базидиомицета.

Быстрее разрушение древесины происходило у *B. pendula* под влиянием *F. fomentarius*, *P. betulinus* и *I. obliquus*. Более медленное отмечалось у *P. tremula* под влиянием *P. igniarius*. Скорость деструкции и деградации древесины у разных пород, пораженных ксилотрофами представлена в таблице.

Исходя из данных таблицы, если взять усредненные значения, то за двухлетний период отмечается примерно 30 % потери древесины под влиянием ферментного аппарата ксилотрофных базидиомицетов. Полученный результат позволяет нам также определить и срок полной деструкции и деградации древесины для нашей лесной зоны, что отражено на рисунке.

Т а б л и ц а

Скорость деструкции и деградации древесины мелколиственных пород за двухлетний период (n = 20)

Древесина	Потеря массы, %				
	Контроль $\bar{X} \pm S_x$	<i>F. fomentarius</i> $\bar{X} \pm S_x$	<i>P. betulinus</i> $\bar{X} \pm S_x$	<i>I. obliquus</i> $\bar{X} \pm S_x$	<i>P. igniarius</i> $\bar{X} \pm S_x$
<i>B. pendula</i>	9 ± 1,8	32 ± 2,3	43 ± 1,4	25 ± 2,7	-
<i>P. tremula</i>	7 ± 1,3	-	-	-	18 ± 1,2

Исходя из данных диаграммы видно, что в среднем скорость разрушения древесины составляет 6–7 лет для пород пораженных ксилотрофными базидиомицетами. А для древесины, первично не пораженной фитопатогенами он составляет более 25 лет при условии отсутствия или слабого поражения фитопатогенами (что в условиях реального лесного фитоценоза невозможно).

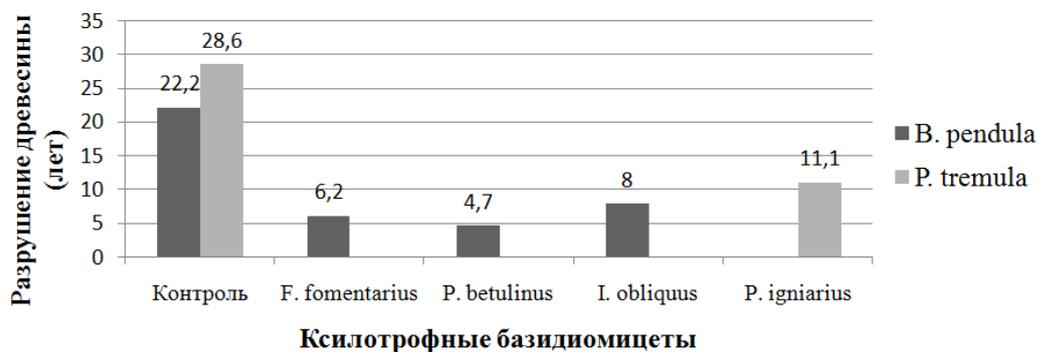


Рис. Расчетная скорость полной деструкции и деградации древесины в лесах Костромской области

Заключение. В лесных фитоценозах Костромской области ксилотрофные базидиомицеты занимают ведущую роль в биодеструкции и деградации древесины, что подтверждается полученными данными. За два года теряется до 30 % древесины, а скорость полного разрушения целлюлозы составляет всего около 6 лет. Результаты работы во многом проливают свет на экологию ксилотрофных базидиомицетов, и могут быть использованы при проведении санитарных и лесотехнических мероприятий по борьбе с фитопатогенами и для повышения качества древесины, получаемой от мелколиственных пород.

Список литературы

1. Ильин Д. Ю., Ильина Г. В., Сашенкова С. А., Шкаев Н. В., Филатов А. Экологические аспекты лабораторного культивирования природных изолятов ксилотрофных базидиомицетов, распространенных в Пензенской области и перспективных в биотехнологии // *Нива Поволжья*. 2015. № 4(37). С. 44–53.
2. Левченко А. В. Эколого-биологические особенности динамики развития ксилотрофных базидиомицетов долины нижней Волги / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Астраханский государственный университет. Астрахань, 2012. 23 с.
3. Марамохин Э. В. Некоторые особенности экологии ксилотрофных базидиомицетов мелколиственных лесов Красносельского района Костромской области // *Ступени роста – 2019 : тезисы 71-й межрегиональной науч.-практ. конф. молодых ученых*. Кострома, 2019. С. 98–99.
4. Марамохин Э. В. Ксилотрофные базидиомицеты мелколиственных лесов Костромской области // *Вестник Нижневартковского государственного университета*. 2020. № 1. С. 4–9. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/01>.
5. Марамохин Э. В., Сиротина М. В., Зонтиков Д. Н. Культивирование мицелия и изучение фитопатогенности некоторых ксилотрофных базидиомицетов в условиях *in vitro* // *Вестник Нижневартковского государственного университета*. 2020. № 2. С. 12–18. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/02>.
6. Сафонов М. А., Устинова Г. М. Субстратная специализация ксилотрофных грибов, как фактор, определяющий их расселение // *Вертикаль: вестник молодой науки Урала*. 1997. Т. 2. № 1. С. 128–130.
7. Сафонов М. А. Вклад пойменных лесов в биоразнообразие дереворазрушающих грибов Оренбургской области // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015. № 10(185). С. 73–76.
8. Стороженко В. Г. Пораженность осинников Костромской области ложным осиновым трутовиком // *Лесное хозяйство*. 1979. № 10. С. 54–55.
9. Тюкавина О. Н., Покрышкин С. А. Биологические основы устойчивости тополя бальзамического к ксилотрофным базидиомицетам // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2017. № 6(129). С. 116–121.
10. Burdon J. J., Thrall P. H. Spatial and temporal patterns in coevolving plant and pathogen associations // *The American Naturalist*. 1999. V. 153. № S5. P. S15–S33. <https://doi.org/10.1086/303209>.

УДК 502.171

М. В. Сиротина,

д. б. н., зав. кафедрой биологии и экологии, Костромской государственной университет, научный сотрудник заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына, г. Кострома, РФ,
mvsirotna@gmail.com

Л. В. Мурадова,

к. с.-х. н., доцент кафедры биологии и экологии, Костромской государственной университет, г. Кострома, РФ,
mlv44@mail.ru

О. Н. Ситникова,

старший преподаватель кафедры биологии и экологии, Костромской государственной университет, г. Кострома, РФ,
sitnikova.olga1989@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ЕВРОПЕЙСКОГО БОБРА НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ «ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА „КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС“ ИМ. М. Г. СИНИЦЫНА»

В статье приводятся результаты многолетних исследований жизнедеятельности бобра европейского на территории «Государственного природного заповедника „Кологривский лес“ им. М. Г. Синицына». Появление бобров в Кологривском заповеднике вызвало значительные процессы перестройки сложных взаимосвязей наземных и водных экосистем и оказало определенное воздействие на природу. Жизнедеятельность бобров является движущей силой сукцессионных преобразований лесных экосистем.

Ключевые слова: «Государственный природный заповедник „Кологривский лес“ им. М. Г. Синицына», европейский бобр, трансформация лесных экосистем, строительная деятельность бобра, кормовые предпочтения бобра.

M. V. Sirotina,

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biology and Ecology in Kostroma State University, Researcher in «Kologrivsky Forest» Reserve named after M. G. Sinitsyn, *mvsirotna@gmail.com*

L. V. Muradova,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biology and Ecology in Kostroma State University, City of Kostroma,
mlv44@mail.ru

O. N. Sitnikova,

Senior Lecturer of the Department of Biology and Ecology in Kostroma State University, City of Kostroma,
sitnikova.olga1989@yandex.ru

INFLUENCE OF THE EUROPEAN BEAVER ON FOREST ECOSYSTEMS OF STATE NATURAL RESERVE “KOLOGRIVSKY FOREST” NAMED AFTER M. G. SINITSYN

The article presents the results of long-term studies of the life activity of the European beaver in the territory of the State Natural Reserve "Kologrivsky Forest" named after M.G. Sinitsyn. The appearance of beavers in the Kologrivsky Reserve caused significant processes of restructuring of the complex relationships of terrestrial and aquatic ecosystems and had a certain impact on the nature. The activity of beavers is the driving force behind the successional transformations of forest ecosystems.

Keywords: “State Natural Reserve “Kologrivsky Forest” named after M. G. Sinitsyn”, *Castor fiber*, transformation of forest ecosystems, beaver building activity, beaver forage preferences.

В последнее время большое внимание уделяется изучению влияния бобров на водные и наземные экосистемы [1, 2]. В результате многочисленных исследований установлено, что появление в составе биоценозов и последующая жизнедеятельность бобров влияют на растительность в поймах рек, гидрологические характеристики водотоков, береговую линию, состав гидроценозов, таким образом вызывая существенные изменения наземных и водных экосистем. Трофическая и строительная деятельность бобров вызывают преобразование прибрежных фитоценозов и приводят к смене основных лесообразующих пород. Обыкновенный бобр (*Castor fiber*) поедает более 300 видов растений и при достаточно длительном обитании бобровая семья может уничтожить почти все деревья в пределах 30–50-метровой прибрежной зоны [3]. Таким образом, жизнедеятельность бобров может выступать в роли движущей силы сукцессионных преобразований, а бобры могут являться экосистемными инженерами.

Целью нашего исследования было изучение влияния обыкновенного бобра на лесные экосистемы заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына.

В качестве основного метода исследований использован эколого-статистический, включающий маршрутные обследования водоемов на стационарных территориях с учетом встреченных следов деятельности бобра. Всего обследовано 47 поселений бобра на кологривском кластере заповедника. При регистрации следов, построек, очертаний бобровых прудов и др. использовали лазерный дальномер, GPS, GPS-Глонас регистраторы.

Государственный природный заповедник «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына располагается в северо-восточной части Русской равнины на территории Костромской области, в подзонах европейской средней и южной тайги. Заповедник включает в себя 2 участка, расположенных в бассейнах рек Унжа и Нея – кологривский и мантуровский кластеры. На кологривском кластере располагаются участки коренных лесов и вторично сукцессионные участки на вырубках различной давности, старых гарях, на местах естественных вывалов. Наиболее ценными являются субнеморальные еловые леса с господством в древостое гибридных форм ели, с пихтой и липой в первом ярусе и клёном остролистным и вязом шершавым во втором. Также кологривский кластер включает бореальные ельники, бореальные елово-сосновые леса, бореальные сосновые леса, восстанавливающиеся гари, небольшое количество болот, фрагменты пойменных лугов в долинах рек.

До XVI в. обыкновенный бобр был распространён в подзоне южной тайги Верхневолжья. Однако, вследствие постепенного нарастания антропогенного воздействия, интенсивной добычи и высокого спроса на мех увеличивалось число добываемых бобров и его ареал стал довольно разреженным, численность снизилась до обособленных единичных поселений, а распространение приобрело мелкоочаговый характер. С середины XIX в. и к началу XX в. бобров в Костромском крае, а также и на всем северо-востоке центрального региона России не было. Современный ареал бобра на территории области представляет собой по большей части результат усилий по реинтродукции, которая была начата в конце 1950-х гг. В результате последующего расселения популяции бобра восстановились на значительной части своего ареала, начали целенаправленно преобразовывать местообитания, создавая своеобразную среду, что вызвало зоогенную трансформацию лесных ландшафтов. Появление бобров в Кологривском заповеднике вызвало значительные процессы перестройки сложных взаимосвязей наземных и водных экосистем и оказало определенное воздействие на природу.

В поселениях, окаймленных по берегам спелым и припевающим лесом, диаметр поврежденных стволов деревьев достигает значительных размеров. На реке Сеха на участке ельника с участием березы и в меньшей степени осины, бобрами были повреждены преимущественно березы с диаметром ствола на уровне погрызов $36,8 \pm 4,0$ см, что не всегда является типичной ситуацией. В поселении бобра в осиннике с участием ели и березы погрызенными оказались в основном осины (93 % из поврежденных деревьев) с диаметром на уровне погрызов $38,2 \pm 5,4$ см. В поселении на реке Лондушке в ельнике с участием осины и березы из всех поврежденных стволов 95 % составляли осины с диаметром на уровне погрызов $41,0 \pm 2,5$ см. Очень часто в рационе бобров используются ивы, особенно на участках, покрытых большей частью молодняком и подростом древесных растений. Преобладающее использование бобрами осины и ивы приводит к тому, что через несколько циклов заселения, из приречных местообитаний исчезают осинники, а из древостоев осины. Повреждения хвойных деревьев обычно незначительны, на части сосен и елей отмечена обгрызенная кора. Тем не менее, нарушение целостности коры деревьев в местах погрызов облегчает проникновение в ствол паразитов и спор грибов, ослабляет дерево и может стать причиной его усыхания.

В поисках корма бобры активно преобразуют ландшафты, формируя своеобразный рельеф, изрезанный тропами и каналами, по которым бобры перемещаются, транспортируют пищу и строительные материалы (рис.).

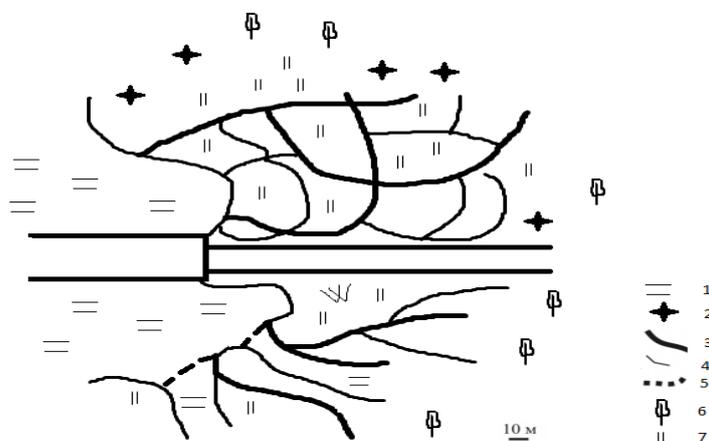


Рис. Схема канальной сети крупного бобрового поселения на реке Сеха:
 1 – открытая поверхность воды; 2 – сероольшанник; 3 – канал шириной более 1 м;
 4 – канал; 5 – плотина; 6 – лес; 7 – травянистая растительность

При этом древостой в пойме реки угнетается, усыхает и сменяется заболоченными участками и травянистой растительностью (см. рис.). Для заготовки кормов бобры уходят на расстояние до 65 м от уреза воды. Изъятие крупных деревьев из состава прибрежных фитоценозов растягивает период восстановления лесных ресурсов на несколько десятилетий.

Значительное влияние на состояние лесных экосистем оказывает и строительная деятельность бобра. Для поднятия уровня воды бобры строят плотины, перегораживающие водотоки, замедляющие течение рек и ручьев и часто приводящие к образованию крупных бобровых прудов. В настоящее время плотины встречаются на участках рек Вонюх, Нелка, Сеха, Понга, Лондушка, Черная, Робля, Талица и на многочисленных ручьях. Средняя длина плотин в заповеднике составляет $19,22 \pm 6,14$ м, ширина гребня плотины $0,99 \pm 0,11$ м, высота гребня – $0,89 \pm 0,13$ м ($n = 39$). Наиболее протяженная плотина, длина которой составила 200 м, ширина 1 м, высота гребня – 1,5 м, была обнаружена на небольшой речке – Талице. Тело плотин обычно содержит 50–80 % грунтовой массы и 20–50 % древесной, представленной осиной, берёзой с включениями ивы и ели [4]. Бобровые пруды на территории заповедника и его охранной зоны могут достигать площади 5 га и существуют, обычно, до тех пор, пока бобры поддерживают уровень воды, регулярно ремонтируя плотину. Подтопление уже в первый год приводит к постепенному усыханию вначале ели и сосны до 46 %, на второй год и лиственных деревьев. После ухода бобров из поселения в результате истощения кормовых ресурсов или в результате гибели бобровой семьи, плотина разрушается, и бобровый пруд может быть спущен. В этом случае на месте пруда формируется так называемый «бобровый луг», покрытый травянистой растительностью.

Таким образом, влияние бобра на трансформацию лесных экосистем заключается в выборочном изъятии ряда видов древесных растений, вследствие чего происходит изменение состава фитоценозов. Осинники с включением хвойных пород и березы по берегам рек сменяются на ассоциации, в которых начинает доминировать ольха серая, после ухода бобров с территории поселения на другой кормовой участок, активно растут ива, черемуха и рябина. Сооружение плотин приводит к затоплению участков лесов и формированию бобровых прудов, по берегам которых располагаются заросли ольхи серой и ивы. На части прежних прудов с подтоплением и сохраняющимися каналами долгое время доминируют травянистые сообщества, представленные в основном хвощами, осоками, тростником, а на подсыхающих участках злаками.

Список литературы

1. Завьялов Н. А., Крылов А. В., Бобров А. А., Иванов В. К., Дгебуадзе Ю.Ю. Влияние речного бобра на экосистемы малых рек. М. : Наука, 2005. 186 с.
2. Завьялов Н. А. Средообразующая деятельность бобра (*Castor fiber* L.) в европейской части России // Труды государственного природного заповедника «Рдейский». Вып. 3. Великий Новгород, 2015. 320 с.
3. Дежкин В. В., Дьяков Ю. В., Сафонов В. Г. Бобр. М.: Агропромиздат, 1986. 256 с.
4. Зайцев В. А., Сиротина М. В., Мурадова Л. В., Ситникова О. Н. Бобры заповедника «Кологривский лес» // Бобры в заповедниках Европейской части России. Труды гос. заповедника «Рдейский». Т. 4. Великие Луки : Великолукская типография, 2018. С.125–180.

УДК 630.532

З. Я. Нагимов,

д. с.-х. н., профессор кафедры ЛТиЛУ, директор Института леса и природопользования, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
nagimovz@m.usfeu.ru

М. Р. Кожевников,

аспирант 1 года обучения кафедры ЛТиЛУ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
mrx230596@yandex.ru

И. В. Шевелина,

к. с.-х. н., доцент, зав. кафедрой ЛТиЛУ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
shevelinaiv@m.usfeu.ru

В. З. Нагимов,

к. с.-х. н., доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ,
nagimovz@m.usfeu.ru

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ХВОИ СОСНЫ

При определении площади поверхности хвоинки ее периметр поперечного сечения корректно измеряется при помощи цифрового микроскопа Levenhuk 870T. Установлено, что периметр поперечного сечения увеличивается в направлении от базальной части хвоинки к апикальной до отметки 0,7–0,8 длины. При определении площади поверхности хвоинок наиболее оптимальным решением является нахождение среднего значения этого показателя среднеарифметическим путем по данным, полученным на отметках, соответствующих 0,1, 0,5 и 0,9 длины хвоинки.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, цифровой микроскоп, длина хвои, периметр поперечного сечения хвои, площадь поверхности хвои.

Z. Ya. Nagimov,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation, nagimovzy@m.usfeu.ru

M. R. Kozhevnikov,

First year graduate student, Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation, max230596@yandex.ru

I. V. Shevelina,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of Forest Taxation and Forest Management Department, Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation, shevelinaiv@m.usfeu.ru

V. Z. Nagimov,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation, nagimovvz@m.usfeu.ru

ESTIMATION OF THE SURFACE AREA OF PINE NEEDLES

The surface area of the needles is determined through the perimeter of the cross-section, which is correctly measured using a digital microscope Levenhuk 870T. It was found that the perimeter of the cross-section increases in the direction from the basal part of the needles to the apical part to the level of 0.7–0.8 length. The most optimal solution for determining the surface area of the needles is to find the average value of this indicator by the mean from the data obtained at the marks corresponding to 0.1, 0.5 and 0.9 of the length of the needles.

Keywords: Scots pine, digital microscope, perimeter of the cross-section of needles, surface area of needles.

На современном этапе на фоне увеличения техногенных выбросов в окружающую среду значительно возрастает социальное и средозащитное значение лесов. При оценке средозащитной роли лесных насаждений важнейшим показателем является площадь поверхности ассимиляционного аппарата (хвои, листвы), от которой зависит фильтрационная эффективность лесного полога и объемы трансформации поллютантов. В тоже время этот показатель сравнительно редко используется при экологических исследованиях и оценках. В первую очередь это объясняется трудоемкостью определения площади поверхности ассимиляционного аппарата и отсутствием общепризнанных методов ее оценки [1–3].

Целью настоящего исследования является оценка различных способов определения площади поверхности хвои сосны с использованием современных цифровых микроскопов.

В настоящее время одним из распространенных и обоснованных подходов при определении площади поверхности хвои является вычисление ее через периметр поперечного сечения и длину. При этом измерение первого показателя достаточно сложный процесс, так как хвоинки сосны имеют несколько сторон и разнообразные формы. Поэтому многие методические подходы основаны не на непосредственных измерениях периметра поперечного сечения хвои, а на определении его при помощи специальных формул с использованием толщины и ширины хвоинок [1, 2]. Такие подходы на фоне большого разнообразия формы хвои не могут гарантировать надежные результаты.

Современные технические средства и цифровые микроскопы позволяют непосредственно на срезах с высокой точностью измерить периметр поперечного сечения хвои. При этом для корректного определения площади поверхности хвои необходимо обосновать количество измерений периметра и выявить отметки на хвоинке, являющиеся наиболее информативными для нахождения его среднего значения.

Для решения поставленных задач была собрана хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на срубленном дереве, имеющего следующие таксационные показатели: возраст – 100 лет; диаметр на высоте груди – 14,2 см; длина – 14,17 м, класс санитарного состояния – третий. Из трех частей кроны (верхней, средней и нижней) случайным образом отбирались по 25 хвоинок второго года жизни. Таким образом, общий объем экспериментального материала составил 75 хвоинок. У каждой хвоинки измерялась длина (l) при помощи сертифицированного цифрового штангенциркуля «Калиброн 1-150», с точностью 0,01 мм. Затем каждая хвоинка делилась на 10 одинаковых по длине частей, равных $0,1l$. Для измерения периметра хвоинки, при помощи лезвия были взяты поперечные срезы на следующих отметках: у основания хвоинки (нулевой отметке), $0,1l$, $0,2l$, ..., $0,9l$. Они помещались под тринокулярный цифровой микроскоп Levenhuk 870T. Полученные снимки обрабатывались в специальной программе TourView. Для каждой хвоинки определялся периметр поперечного сечения, начиная от нулевой отметки и кончая отметкой $0,9l$. Таким образом, было произведено 750 измерений периметров.

В нашей предыдущей работе было показано, что средние значения толщины и ширины хвоинки, а, следовательно, периметра поперечного сечения, не находятся на ее серединке из-за веретенообразной формы [4]. Результаты данных исследований свидетельствуют, что по всему массиву хвоинок периметр поперечного сечения у основания хвоинки колеблется от 1,737 до 3,687 мм, на отметке 0,3l – от 2,456 до 3,996 мм, на 0,5l – от 2,618 до 4,396 мм и на 0,9l – от 2,049 до 4,281 мм. Этот показатель в верхней части кроны в среднем составляет 3,5277 мм, в средней части – 2,851 мм и нижней – 2,895 мм. Средняя длина хвоинок закономерно уменьшается от верхней части кроны (46,77 мм) к нижней (36,85 мм). Приведенные материалы показывают, что для определения площади поверхности хвоинки необходимо вычислить средний периметр ее поперечного сечения на основе данных, полученных на нескольких поперечных срезах.

Площадь поверхности каждой хвоинки определялась различными способами.

Первый способ заключался в суммировании площадей поверхности всех 10 секций хвоинки. Для каждой секции этот показатель определялся как произведение периметра на середине секции на ее длину. Причем периметр на середине секции устанавливался как полусумма периметров в начале и конце секции.

По *второму* способу средний периметр поперечного сечения устанавливался по трем периметрам, определенным на отметках 0,1l, 0,5l и 0,9l, а площадь поверхности хвоинки определялся по формуле:

$$F = \frac{P_{0,1} + P_{0,5} + P_{0,9}}{3} l, \quad (1)$$

где F – площадь поверхности хвоинки, мм²;

$P_{0,1}$, $P_{0,5}$, $P_{0,9}$ – периметр поперечного сечения хвои на отметках 0,1l, 0,5l и 0,9l, соответственно.

По *третьему* способу периметры поперечного сечения определялись на отметках 0,25l, 0,5l и 0,75l, а площадь поверхности хвоинки вычислялся по формуле:

$$F = \frac{P_{0,25} + P_{0,5} + P_{0,75}}{3} l, \quad (2)$$

где $P_{0,25}$, $P_{0,5}$, $P_{0,75}$ – периметр поперечного сечения хвои на отметках 0,25l, 0,5l и 0,75l, соответственно.

Четвертый способ основан на использовании двух периметров поперечного сечения ($P_{0,2}$, $P_{0,8}$), измеренных на отметках 0,2l и 0,8l:

$$F = \frac{P_{0,2} + P_{0,8}}{2} l, \quad (3)$$

Пятый, наиболее простой способ предполагал определение площади поверхности хвоинки как произведение периметра поперечного сечения на середине хвоинки на все ее длину:

$$F = P_{0,5} l, \quad (4)$$

Из всех способов определения площади поверхности хвоинки, безусловно, наиболее точным является первый. Однако он наиболее трудоемкий. Поэтому представляет интерес оценка точности определения исследуемого показателя другими способами. С этой целью данные, полученные вторым, третьим, четвертым и пятым способами сравнивались с данными первого способа. Результаты соответствующих математико-статистических расчетов представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Ошибки различных способов определения площади поверхности хвоинок

Способ	Ошибки измерения, %		
	систематическая	случайная	общая
Второй – по периметрам на отметках 0,1l, 0,5l и 0,9l	2,14	8,98	1,04
Третий – по периметрам на отметках 0,25l, 0,5l и 0,75l	9,64	9,11	1,06
Четвертый – по периметрам на отметках 0,2l и 0,8l	6,41	9,31	1,08
Пятый – по периметру на серединке хвои (на отметке 0,5l)	12,37	10,9	1,26

Анализ приведенных в таблице данных свидетельствует, что из четырех оцениваемых способов наилучшие результаты при определении площади поверхности хвоинок обеспечивает второй, когда средний периметр поперечного сечения вычисляется по данным, полученным на отметках 0,1l, 0,5l и 0,9l. Этот способ характеризуется наименьшими значениями систематических ошибок (2,14 %) и ошибок отдельных измерений (8,98 %). При этом общие ошибки для 75 хвоинок составляет всего 1,04 %.

В целом на основании проведенных исследований можно отметить следующее. Цифровой микроскоп Levenhuk 870T с соответствующим программным обеспечением позволяет корректно измерить периметр поперечного сечения хвоинки. В направлении от базальной части хвоинки к апикальной (до отметки 0,7–0,8l) наблюдается выраженное увеличение ее периметра поперечного сечения. При определении площади поверхности хвоинок наиболее оптимальным решением является нахождение среднего значения этого показателя среднеарифметическим путем по данным, полученным на отметках, соответствующих 0,1, 0,5 и 0,9 длины хвоинки.

Список литературы

1. Уткин А. И., Ермолова Л. С., Уткина И. А. Площадь поверхности лесных растений. Сущность. Параметры. Использование. М. : Наука, 2008. 292 с.
2. Цельникер Ю. Л. Упрощенный метод определения поверхности хвои сосны и ели. Лесоведение. 1982. № 4. С. 85–88.
3. Гиль А. Т. Метод и техническая реализация устройства для измерения площади поверхности листьев (хвои) при измерении фотосинтеза. Бюллетень ГНБС, 2017. Вып. 125. С. 114–118.
4. Шевелина И. В., Нагимов З. Я., Тимофеева Е. Е., Кожевников М. Р. Разработка методики оценки площади поверхности хвои сосны обыкновенной // Леса России и хоз-во в них. 2019. № 4(71). С. 18–26.

УДК 581.5 (470.317)

Н. В. Рыжова,

к. б. н., доцент кафедры ЛДП, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
ienjdfy@mail.ru

Н. С. Соколов,

студент 2 курса, ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет», г. Кострома, РФ,
ssnikita2001@gmail.com

ОБСЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВЬЕВ СКВЕРА НА ПЕРЕКРЕСТКЕ УЛИЦ КРЕСТЬЯНСКАЯ И ИВАНОВСКАЯ В ГОРОДЕ КОСТРОМЕ

Древесные растения городских насаждений подвергаются воздействию неблагоприятных факторов среды, и как следствие у них возникают различные повреждения. Эти повреждения вредят самому древесному растению, а также вызывают изменение его внешнего вида. Одной из основных задач городских зеленых насаждений является создание эстетического облика населенного пункта, поэтому определение повреждаемости деревьев стало целью нашего исследования.

Ключевые слова: городские насаждения, древесная растительность, повреждения деревьев, балл санитарного состояния, индекс состояния.

N. V. Ryzhova,

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kostroma State University, Kostroma, Russia,
ienjdfy@mail.ru

N. S. Sokolov,

2nd year student, Kostroma State University, Kostroma, Russia,
ssnikita2001@gmail.com

SURVEY OF THE TREES OF THE SQUARE AT THE INTERSECTION KRESTYANSKAYA AND IVANOVSKAYA STREETS IN THE CITY OF KOSTROMA

Woody plants of urban plantings are exposed to adverse environmental factors, and as a result, they have various damages. These damages harm the woody plant itself, and also cause a change in its appearance. One of the main tasks of urban green spaces is to create an aesthetic appearance of the locality, so the determination of the damage to trees was the goal of our study.

Keywords: urban plantings, woody vegetation, tree damage, sanitary condition score, condition index.

Зеленые массивы оказывают влияние на экологическое состояние городской среды: регулируют количество осадков, обогащают атмосферу кислородом, предохраняют почвенный покров от водной и ветровой эрозии, препятствуют оврагообразованию, предохраняют водные источники от высыхания и загрязнения.

Древесная городская растительность, как средовосстанавливающая система, обеспечивает комфортные условия для проживания людей в городе, влияет на газовый состав воздуха и степень его загрязненности, снижает влияние шумового фактора и является источником эстетического отдыха людей.

С ростом городов, развитием промышленности, увеличением количества транспорта становится все более насущной проблема охраны зелёных массивов города, к которым относятся парки, скверы, уличные древесные насаждения и прочее.

На городские насаждения влияют следующие факторы: задымленность и загазованность воздуха, кислотные осадки, загрязнение почвы, механические повреждения от снегоуборочной техники и вандального отношения людей, неправильная обрезка. Как следствие у деревьев возникают различные повреждения, которые вредят самому древесному растению, а также вызывают изменение его внешнего вида. Многочисленные наросты, раны, искривления, гнили можно увидеть на деревьях, растущих на улицах города. Снижаются эстетические свойства зеленых насаждений, человек не чувствует себя комфортно находясь рядом с больным или уродливым деревом.

Для изучения состояния городских насаждений были проведены обследования деревьев сквера, находящегося на перекрестке улиц Крестьянская и Ивановская. Исследования проводились в 2008 и 2021 годах. Площадь сквера 0,7 га, поэтому обследованы были все деревья. Измерялись диаметр и высота дерева с использованием таксационных инструментов, при визуальном осмотре фиксировались видимые пороки древесины и определялся балл санитарного состояния.

Результаты таксационных измерений представлены в таблице. Количество деревьев увеличилось, так как были проведены посадочные работы в центральной части сквера.

Таблица

Результаты таксационных измерений

Показатель насаждения		Год	
		2008	2021
Диаметр, см	Средний	38	44
	Минимальный	-	4
	Максимальный	-	120
Высота, м	Средний	15,8	21
	Минимальный	-	1,5
	Максимальный	-	31
Количество деревьев, шт.	Липа	77	84
	Дуб	1	1
	Тополь	1	1
	Сосна	1	1
	Лиственница	-	2

За тринадцатилетний период прирост насаждения по диаметру составил 15 %, по высоте – 33 %, что характерно для молодых насаждений (20–50 лет).

На деревьях были зафиксированы различные пороки: сухобокость, прорость, гниль, дупло и механические повреждения. Так же были отмечены физиологические изменения: многовершинность и водяные побеги. Результаты исследования повреждаемости деревьев представлены на рис. 1.

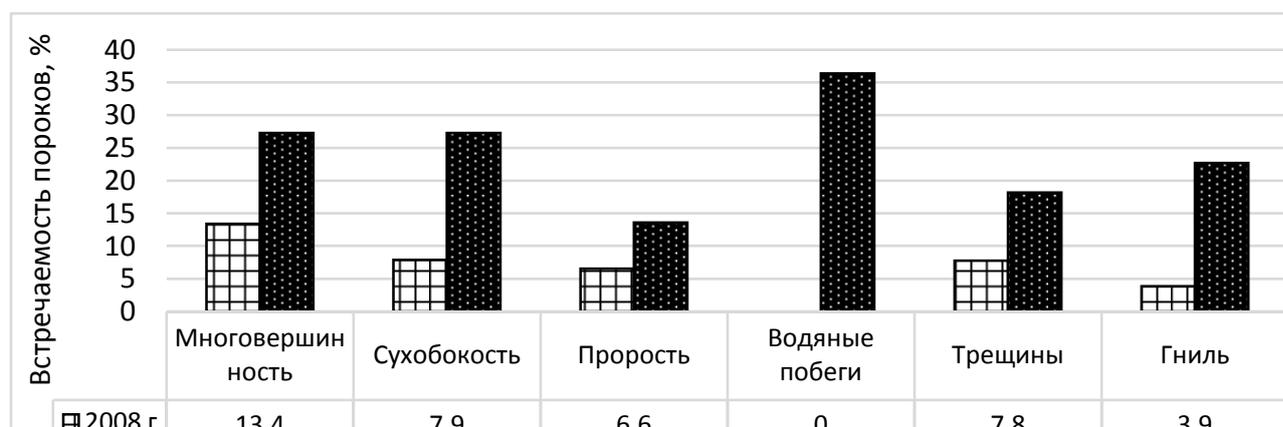


Рис. 1. Встречаемость пороков у деревьев

С течением времени некоторые повреждения преобразуются, гниль превращается в дупло, на месте механических повреждений коры возникают раны (прорость и сухобокость), после обрезки осевого побега появляется многовершинность и развиваются водяные побеги («волчки»).

На одном дереве может быть несколько повреждений, как однотипных, так и разных. По данным исследования 2021 г. были вычислена повреждаемость деревьев с учетом разных видов пороков и физиологических отклонений (рис. 2).

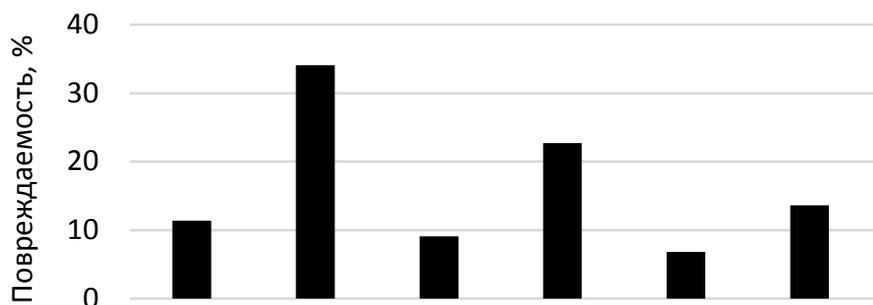


Рис. 2. Повреждаемость деревьев, % (2021 год)

На молодых деревьях, высотой до 2 м, не отмечалось ни одного повреждения. У одной трети всех деревьев есть хотя бы один порок.

Для определения санитарного состояния были использованы «Правила санитарной безопасности в лесах» (2020 г) и шкала категории состояния деревьев. Для наглядности балльная система была преобразована: отличное состояние – 1 балл, хорошее – 2, удовлетворительное – 3, неудовлетворительное – 4, погибшее – 5. Результаты показаны на рис. 3.

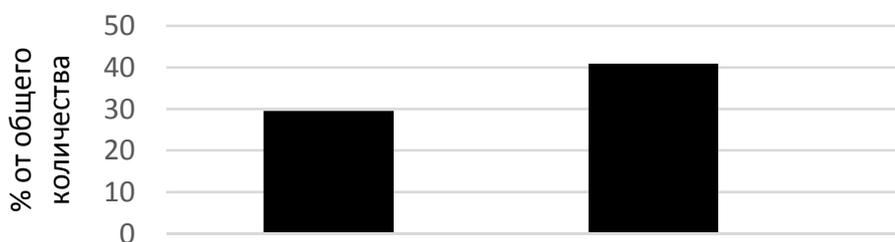


Рис. 3. Санитарное состояние деревьев (2021 год)

Интегральным показателем состояния насаждения является индекс состояния (ИС), который определялся по формуле:

$$ИС = \frac{\sum bn}{N},$$

где b – балл состояния;

n – количество деревьев, имеющих данный балл;

N – общее число исследованных деревьев.

Индекс состояния для исследованного насаждения равен 3, удовлетворительное.

По результатам обследования деревьев сквера можно сделать следующие выводы:

- деревья находятся в стадии интенсивного роста;
- увеличение количества механических повреждений напрямую влияет на количество других видов пороков;
- санитарное состояние всего насаждение удовлетворительное, но из-за антропогенной нагрузки оно может измениться в худшую сторону за короткий срок.

Список литературы

1. Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. Городские насаждения: экологический аспект : монография. Ижевск : Изд-во Удмуртского гос. ун-та, 2012. 206 с.
2. Минкевич И. И., Дорофеев Т. Б., Ковязин В. Ф. Паталогия древесных пород. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 92 с.
3. Мозолевская Е. Г., Шарапа Т. В. Некоторые результаты применения индекса состояния насаждений при мониторинге // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2003. № 2. То же. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-rezultaty-sostoyaniya-nasazhdeniy-pri-monitoringe> (дата обращения: 26.03.2021).

УДК 630*233:631*618

С. В. Трещевская,

к. с.-х. н., преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
streshchevskaya@mail.ru

Е. А. Кушнир,

младший научный сотрудник ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. Санкт-Петербург, РФ,
elizavetta@mail.ru

В. И. Князев,

аспирант 2 года, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ,
knyazz599@gmail.com

Э. И. Трещевская,

д. с.-х. н., доцент, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ; ведущий научный сотрудник ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. Санкт-Петербург, РФ,
ehllt@yandex.ru

РЕАБИЛИТАЦИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SILVESTRIS L.)

Реабилитация техногенно нарушенных земель возможна выращиванием чистых и смешанных сосновых насаждений. Для выращивания чистых насаждений лучшими лесорастительными условиями характеризуются трехкомпонентные техноземы с погребенным плодородным слоем. Для выращивания смешанных насаждений подходят двухкомпонентные техноземы с насыщенным плодородным слоем мощностью 30–40 см. Доля кустарников в смешанных насаждениях должна составлять 50 %.

Ключевые слова: техногенно нарушенные земли, лесная рекультивация, сосна обыкновенная.

S. V. Treschevskaya,

Ph. D. of Agricultural Sciences, Teacher of of Landscape Architecture and Soil Science Department of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russian Federation,
streshchevskaya@mail.ru

E. A. Kushnir,

Junior researcher scientist of Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation,
elizavetta@mail.ru

V. I. Knyazev,

Post-graduate student 2 years Department of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Voronezh, Russian Federation,
knyazz599@gmail.com

E. I. Treschevskaya,

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of Silviculture, Selection and Forest melioration Department of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov Associate, Voronezh, Russian Federation; Leading researcher scientist of Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation,
ehllt@yandex.ru

REHABILITATION OF POST TECHNOGENIC AREAS WITH SCOTS PINE (PINUS SILVESTRIS L.) PLANTATIONS

Rehabilitation of post-technogenic areas is possible by growing pure and mixed scots pine stands. For the cultivation of pure forest plantations, the best soil conditions are characterized by three-component technozems with a buried fertile layer. For the cultivation of mixed plantings, two-component technozems with a bulk fertile layer with a thickness of 30–40 cm are suitable. The proportion of shrubs in mixed plantations should be 50 %.

Keywords: post-technogenic areas, rehabilitation, forest reclamation, scots pine (*Pinus silvestris L.*).

Горнодобывающая промышленность, как составная часть антропогенной деятельности, приводит к формированию техногенных комплексов, которые характеризуются рядом экзогенных процессов: эрозией, дефляцией и другими. Техногенная нагрузка не соответствует экологическому потенциалу ландшафтов. К 2020 г. в России нарушено более 2 млн га земель, огромные площади которых находятся в Центральном федеральном округе. Только в бассейне Курской магнитной аномалии (КМА) они составляет около 40 тыс. га.

В техногенных ландшафтах наибольшее распространение имеют гидроотвалы, формирующиеся путем гидравлического намыва песка или песчано-меловой смеси с небольшим содержанием ила и физической глины, которые представляют собой сравнительно однородные смеси. Пески и пес-

чано-меловые смеси характеризуются мало- и неблагоприятными для произрастания растений агрохимическими и водно-физическими свойствами. Из всех испытанных древесных и кустарниковых пород только сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.) показала положительные результаты.

Однако без предварительного улучшения лесорастительных условий песчаных и песчано-меловых отвалов вырастить долговечные сосновые насаждения не удалось, они погибли в возрасте 7–17 лет [1, с. 17]. Проблема повышения устойчивости и долговечности насаждений является одной из самых важных и сложных при лесной рекультивации нарушенных земель. Как показали исследования, проводимые на гидроотвале Березовый лог КМА, начиная с 1976 г., улучшить лесорастительные условия субстратов в промышленных отвалах можно путем формирования различных видов техноземов или путем создания смешанных сосновых насаждений с лиственными породами, в том числе кустарниками.

Формирование двухкомпонентных техноземов происходит при поверхностном землевании песчаных и песчано-меловых отвалов плодородным слоем мощностью от 30 до 125 см [3, с. 14–15], трехкомпонентных – при нанесении на поверхность плодородного или потенциально-плодородного слоя мощностью 30–50 см слоя песка такой же мощности [3, с. 110].

Результаты исследований, проведенных в сосновых насаждениях с использованием разных способов улучшения лесорастительных условий, приводятся в таблице.

Т а б л и ц а

Показатели состояния и роста культур сосны обыкновенной на разных видах техноземов

Вид технозема	Возраст культур, лет	Схема смешения	Показатели				
			сохранность, %	Нср., м	Дер., см	бонитет	запас, м ³ /га
2-компонентный технозем с поверхностным плодородным слоем 30–40 см	39	С – С – С – С	30,4	12,0 ± 0,006	11,50 ± 0,06	III	111
		С – С – С – Кар	-	13,0 ± 0,006	13,50 ± 0,04	II	94
		С – С – С – Жим	-	10,0 ± 0,005	17,00 ± 0,08	III	85
		С + Кар – С + Свид – С + Жим	-	15,0 ± 0,060	15,00 ± 6,01	I	130
2-компонентный технозем с поверхностным плодородным слоем 100–125 см	39	С – С – С – С	35,5	16,2 ± 0,060	16,30 ± 0,07	I	245
3-компонентный технозем с погребенным плодородным слоем	33	С – С – С – С	46,0	13,5 ± 0,005	18,20 ± 0,40	I	317

При малой мощности плодородного слоя (30–40 см) в двухкомпонентных техноземах неизбежно наступает период, когда маломощная корневая система, развивающаяся в пределах плодородного слоя, не обеспечивает нормальные физиологические функции сосны, начинается период снижения роста, а затем и усыхания насаждений. Это происходит, начиная с 10-летнего возраста. В 39 лет бонитет сосны остается III, средняя высота – 12,0 м.

На двухкомпонентных техноземах с мощностью поверхностного плодородного слоя 100–125 см сосна в этом же возрасте растет по I классу бонитета, имея среднюю высоту 16,2 м.

На трехкомпонентных техноземах сосна в возрасте 33 лет имеет высоту 13,5 м и растет по I классу бонитета. Сохранность насаждения в 1,5–1,3 раза, а запас – в 3,4–1,5 раза выше по сравнению с двухкомпонентными техноземами [2, с. 12].

Выращивание смешанных по составу и сложных по форме насаждений сосны является наиболее перспективным направлением для сохранения облика сосновых насаждений в условиях техногенных ландшафтов. Преимущества имеет смешение сосны с кустарниками: караганой древовидной (*Caragana arborescens* Lam.), жимолостью татарской (*Lonicera tatarica* L.), свидиной кроваво-красной (*Cornus sanguinea* L.).

Карагана древовидная, являясь почвоулучшающей породой, обогащает почву (субстрат) азотом, что очень важно для улучшения лесорастительных условий на нарушенных землях. Однако в молодом возрасте, развивая более мощную крону и корневую систему, карагана превосходит в росте сосну в несколько раз. Она является мощным конкурентом сосны в борьбе за влагу и свет. С возрастом рост караганы в высоту приостанавливается, и сосна постепенно перерастает ее. Под пологом сосны из-за недостатка света состояние караганы ухудшается. Сосна использует элементы минерального питания, попавшие в технозем при разложении опада караганы. Рост сосны в смешанном с караганой насаждении становится лучше, чем в чистом. Сосна обыкновенная в насаждении, созданном по схеме С – С – С – Кар, в возрасте 39 лет растет по II классу бонитета, имея среднюю высоту 13,0 м и средний диаметр 13,5 см.

Положительное влияние жимолости татарской, введенной в количестве 25 %, на сосну обыкновенную в техногенных ландшафтах не проявляется. В смешанных с жимолостью культурах сосна в 39-летнем возрасте растет, как и в чистом насаждении, по III классу бонитета, имея среднюю высоту 10,0 м и средний диаметр 17,0 см.

Наилучшими биометрическими показателями характеризуется сосна в смешанных насаждениях, в которых доля кустарников достигает 50 %. Здесь сосна растет по I классу бонитета, ее средняя высота достигает 15,0 м. С целью уменьшения трудозатрат следует увеличить ширину междурядий до 3,0 м, доведя количество посадочных мест до 3,3 тыс. шт./га.

Таким образом, при реабилитации техногенных ландшафтов с помощью культур сосны обыкновенной, лучшими лесорастительными условиями обладают двухкомпонентные техноземы с насыпным плодородным слоем мощностью 100–125 см и трехкомпонентные техноземы с погребенным плодородным слоем. Учитывая, что снятый в процессе горнотехнического этапа рекультивации плодородный слой целесообразнее использовать для сельскохозяйственной рекультивации, для выращивания чистых сосновых насаждений можно формировать трехкомпонентные техноземы с погребенным плодородным или потенциально-плодородным слоем мощностью 30–50 см под слоем песка такой же мощности. Однако предпочтение следует отдавать более устойчивым и эффективным смешанным с кустарниками в количестве 50 % сосновым насаждениям на двухкомпонентных техноземах с поверхностным нанесением на песок плодородного слоя мощностью 30–40 см.

Список литературы

1. Панков Я. В., Андриющенко П. Ф. Лесная рекультивация техногенных земель КМА. Воронеж, 2003. 118 с.
2. Трещевская С. В. и др. Рекомендации по выращиванию культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на техногенно нарушенных землях / М-во науки и высшего образования РФ ; ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». Воронеж, 2020. 20 с.
3. Трещевская Э. И., Панков Я. В., Трещевский И. Вик. Повышение плодородия субстратов в промышленных отвалах Курской магнитной аномалии. Воронеж : ВГЛТА, 2011. 187 с.

УДК 630*231

Нгуен Тхи Тхюи,

кандидат биологических наук, Агролесохозяйственный колледж ДонгБак, Социалистическая Республика Вьетнам, thuynghuyenafc@gmail.com

Нгуен Фук Зюи,

кандидат технических наук, Агролесохозяйственный колледж ДонгБак, Социалистическая Республика Вьетнам, nrdy191@gmail.com

До Хонг Хань,

кандидат биологических наук, Педагогический технологический университет – Университет Дананга, Социалистическая Республика Вьетнам, dohanh326@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА (MULTI – CRITERIA ANALYSIS – MCA) ДЛЯ ВЫБОРА ВИДОВ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНОСТИ ПОСАДКИ НА ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ГОРАХ В РАЙОНЕ КИМБОЙ ПРОВИНЦИИ ХОАБИНЬ (СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА ВЬЕТНАМ)

Хоабинь – провинция в горной северной части Вьетнама с множеством различных типов местности, из которых известняковые горы занимают 53,4 % площади провинции Хоабинь [1]. Развитие лесонасаждений на известняковых горах и определение видов растений, подходящих к условиям местности, являются настоятельными требованиями. Метод «Применение многокритериального анализа с помощью программного обеспечения SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) для выбора приоритетных видов растений» сочетает в себе множество изученных критериев отбора и значимо достигнутых определенных результатов.

Ключевые слова: метод многокритериального анализа, приоритетные виды растений, известняковая гора, район Кимбой провинции Хоабинь.

Nguyen Thi Thuy,

PhD in Biological Sciences, Northeast Agriculture and Forestry College, Socialist Republic of Vietnam, thuynghuyenafc@gmail.com

Nguyen Phuc Duy,

Ph.D PhD in Technical Sciences, Northeast Agriculture and Forestry College, Socialist Republic of Vietnam,
npduy191@gmail.com

Do Hong Hanh,

PhD in Biological Sciences, The University of Danang - University of Technology and Education, Socialist Republic of Vietnam,
dohanh326@gmail.com

APPLYING MULTI – CRITERIA ANALYSIS (MCA) FOR CHOOSING PRIORITIZED PLANTS ON LIMESTONE MOUNTAINS AT KIM BOI – HOA BINH (VIET NAM)

Hoa Binh is a mountainous province with different terrain types in which limestone occupies 53.4% of the total provincial area. The development of reforestation limestone is being very concerned by the leaders of the province. However, identifying the priority tree reforestation is experiencing difficulties. Especially selecting the plants which could suite to the site conditions are a matter of urgency for forestation on limestone. There are many methods but the method of "Applying Multi – Criteria Analysis with the help of SPSS software to select the priority tree species " is considered a method of combining multiple criteria selection of crops which has been studied by domestic and foreign scientists and they have achieved certain results. The study focused on a number of basic contents: summary of the study area's issues, identify targets and standards, quantifying the standards of the target of studying, applying SPSS to calculate; distribution data analysis. Results of the study was grouped up goals and standards, rating and the ranking the subjects (plant species), then choose out the best and worst subjects against the objectives and standards set out for limestone – Hoa Binh Kim Boi district. The application of Applying Multi – Criteria Analysis with the help of SPSS software to select the priority tree species has not yet been studied into a complete system to widely use. Therefore, we need more research to complete the application process in order to select the priority crops meet the practical requirements of each locality, ensure to selection of the appropriate crops for each region.

Keywords: Multi-StandardAnalysis, Limestone, Kim Boi – Hoa Binh.

Для формирования леса, необходимо выбрать виды растений, подходящие для условий местности. С другой стороны, выбранные растения должны иметь хорошую урожайность и качество, чтобы удовлетворять потребности местного населения [1]. Существует множество критериев выбора видов растений, поэтому необходимо иметь оптимальный метод выбора, чтобы определить подходящие растения для каждого конкретного условия. Основываясь на комплексной точке зрения, гармонично сочетая экономические интересы с социальными интересами, обеспечивая при этом возможность улучшения и защиты окружающей среды [2]. Мы изучили метод применения многокритериального анализа (Multi-criteria Analysis – MCA) с помощью программного обеспечения SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) для выбора приоритетных видов растений, которые будут высажены на известняковых горах в районе Ким Бой провинции Хоабинь.

Основная цель – сделать выбор в пользу ряда растений, подходящих для условий местности на известняковых горах: многоцелевые растения (защитные растения в сочетании с древесиной, дровами и фруктами); растения с хорошей способностью к возобновлению в качестве основы для восстановления и развития лесных экосистем на известняковых горах. Исходя из этой цели, выбраны следующие критерии:

- *Рост лесных растений:* Исходя из диаметра каждого вида растения (каждого вида исследовано не менее 30 особей).
- *Способность адаптироваться к условиям местности:* Степень пригодности условий местности отражается на росте и размножении каждого вида растения. Оценка основана на мнении экспертов и результатах оценки после исследования.
- *Способность селекции растений:* В рамках исследования мы используем только критерий стоимости саженцев (степень сложности покупки растений), чтобы показать способность селекции растений.
- *Цена продажи древесины и дров:* Показана ценность (стоимость) древесины и дров каждой породы.
- *Способность устойчивого развития леса:* Основано на росте, развитии и способности длительного использования леса для расчета баллов. Оценка основана на мнении экспертов, населения и результатах оценки после исследования.
- *Окружающая среда:* В зависимости от того, загрязняют ли виды растения окружающую среду или нет? Влияет ли это на здоровье человека и привлекает ли вредных насекомых? Создан ли красивый ландшафт, сочетающий туристические и курортные услуги? Оценка основана на мнении экспертов и населения.

Цель метода многокритериального анализа – подсчитать баллы, сравнить, упорядочить и выбрать наиболее подходящие виды растений для достижения цели [3]. Мы выбираем следующие методы оценки:

Способ 1 (C1): Рассчитывается балл на основе значения первого основного состава. Чтобы использовать этот способ, необходимо преобразовать полезные переменные уменьшения в полезные увеличения по формуле:

$$X' = 1 + X_{\max} - X_{ij}. \quad (1)$$

X' заменяются полезными переменными уменьшениями. Таким образом, переменные, включенные в расчет в методе на основе первого главного состава, имеют переменные X и X' .

Способ 2 (C2): Определяется балл сложением нормализованных значений в соответствии с Y , рассчитанным по противоположному методу.

$$C_{2j} = Y_{j1} + Y_{j2} + Y_{j3} + \dots + Y_{jm}, \quad (2)$$

где Y_{jm} – нормализованное значение в соответствии с Y , вычисляется по противоположному методу субъекта j , соответствующему m -му критерию.

Способ 3 (C3): Определяется балл сложением нормализованных значений в соответствии с Z , рассчитанным с использованием метода соотношения.

$$C_{3j} = Z_{j1} + Z_{j2} + Z_{j3} + \dots + Z_{jm}, \quad (3)$$

где Z_{jm} – нормализованное значение в соответствии с Z , рассчитывается с использованием метода соотношения субъекта j , соответствующего m -му критерию.

Способ 4 (C4): Это метод взвешенной оценки, по мнению эксперта, соответствующий противоположному методу.

$$C_{4j} = p_1 Y_{ij} + p_2 Y_{2j} + p_3 Y_{3j} + \dots + p_m Y_{mj}, \quad (4)$$

где p_m – взвешенное, по мнению эксперта, соответствующее противоположному методу субъекта j , соответствующего m -му критерию.

Способ 5 (C5): Это также метод взвешенной оценки в соответствии с экспертным методом, но соответствующий нормализации по соотношению замены $y_{ij} = z_{ij}$ для j -госубъекта.

$$C_{5j} = p_1 Z_{ij} + p_2 Z_{2j} + p_3 Z_{3j} + \dots + p_m Z_{mj}, \quad (4)$$

где p_m – взвешенное, по мнению эксперта, соответствующее методу соотношения субъекта j , соответствующего m -му критерию

Способ 6 (C6): Рассчитывается взвешенная оценка в соответствии с методом иерархического кластерного анализа (Hierarchical Cluster Analysis) для способа нормализации с противоположным методом.

Способ 7 (C7): Выставляется взвешенная оценка, как в методе 6, но используется метод нормализации в соответствии с методом соотношения.

Т а б л и ц а

Синтезированные оценки для 9 видов растений 7 различными способами

№	Латинские названия растений	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1	<i>Burretiodendronhsienmu</i> Ching et How.	-0,0194	4,235	3,194	0,715	0,583	0,681	0,504
2	<i>Toonasiensis</i> Roem.	0,9003	4,437	4,160	0,819	0,801	0,718	0,653
3	<i>Choerospondiasaxillaris</i>	0,0323	3,803	3,510	0,616	0,572	0,574	0,505
4	<i>Melia azedarach</i> Linn.	1,2114	4,038	3,510	0,700	0,650	0,583	0,460
5	<i>Clausenalansium</i> Skeels.	-1,1892	3,538	2,346	0,515	0,300	0,542	0,365
6	<i>Chukrasiatabularis</i> A.Juss	1,0598	5,335	5,071	0,908	0,888	0,879	0,815
7	<i>Micheliamedicoris</i> Dandy.	-1,7738	3,528	2,923	0,518	0,353	0,639	0,567
8	<i>Clausenaexclouvata</i> sp.	-0,0327	4,168	4,116	0,684	0,664	0,636	0,619
9	<i>Delavayatoxocarpa</i> Franch.	-0,1887	3,990	3,902	0,618	0,587	0,584	0,558

На основании приведенных выше результатов исследования приоритетными и выбранными видами растений, которые будут высажены на известняковых горах в порядке от высокого к низкому:

Chukrasiatabularis A. Juss ,

Toonasiensis Roem.

Clausenaexclouvata sp.

Burretiodendronhsienmu Ching et How.

Виды растения нужно ограничивать посадкой в порядке убывания:

Clausenalansium Skeels.

Micheliamedicoris Dandy.

Список литературы

1. Cao Danh Thịnh. Применение ряда взвешенных количественных методов для сравнения экономической и экологической эффективности ряда лесохозяйственных проектов в районе защитных лесов водораздела Сонда – Хоабинь : дипломная работа / Вьетнамский национальный лесохозяйственный университет (Vietnam National University of Forestry). 2016. С. 45.

- Linkov I., Moberg E. Multi-Criteria Decision Analysis: Environmental Applications and Case Studies. CRC Press, Boca Raton. New York, 2012. 186 p.
- Nguyen Hai Tuat, Nguyen Trong Binh (2015). Эксплуатация и использование SPSS для обработки данных в исследованиях лесного хозяйства / Вьетнамский национальный лесохозяйственный университет (Vietnam National University of Forestry). С. 59

УДК 662.6

И. Н. Вариводина,

к. т. н., доцент, зав. отделом лесной генетики и биотехнологии ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии» (ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех»), г. Воронеж, РФ,
varivodinna@rambler.ru

В. А. Вариводин,

научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии» (ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех»), г. Воронеж, РФ,
warivodin@mail.ru

ОТБОР И ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ И ПРОДУКТИВНЫХ ГЕНОТИПОВ БЫСТРОРАСТУЩИХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ БИОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАНТАЦИЙ

В статье рассмотрены возможности реализации проекта по массовому тиражированию посадочного материала быстрорастущих древесных пород, наиболее пригодных для производства биотоплива с гарантированным, полным сохранением целевого признака с помощью современных методов биотехнологии.

Ключевые слова: биомасса, биотопливо, энергетические плантации, энергетические деревья, возобновляемая энергия, быстрорастущие древесные растения, теплота сгорания, углерод, биоэтанол, плотность, технический анализ.

I.N. Varivodina,

Associated professor, PhD, head of forest genetics and biotechnology department of Federal State Institution "All-Russian research institute of forest, genetics, breeding and biotechnology", Voronezh, Russia, varivodinna@rambler.ru

V. A. Varivodin,

Federal State Institution "All-Russian research institute of forest, genetics, breeding and biotechnology", PhD, Voronezh, Russia, warivodin@mail.ru

SELECTION AND RESEARCH SUSTAINABLE AND PRODUCTIVE GENOTYPES OF FASTGROWING WOODY PLANTS BASED ON INNOVATIVE BIOTECHNOLOGY TO CREATE ENERGY PLANTATIONS

The possibility of implementing a project for the mass replication of planting material of fast-growing tree species most suitable for the production of biofuel with guaranteed, complete preservation of the target trait using modern methods of biotechnology was discussed in article.

Keywords: biomass, biofuels, energy plantation, energy trees, renewable energy, fast-growing woody plants, heat of combustion, carbon, ethanol fuel, density, proximate analysis.

На сегодняшний день доля Российской Федерации на мировом рынке биотехнологий составляет менее одного процента, а по ряду промышленных направлений (биоразлагаемые материалы, биотопливо) продукция практически не производится. В этой связи необходима реализация последовательных мер, направленных на выход России на уровень производства биотехнологической продукции в размере около одного процента валового внутреннего продукта и создание условий для достижения уровня производства указанной продукции не менее трех процентов валового внутреннего продукта к 2030 году. Эти показатели отмечены в Плате мероприятий «Дорожная карта» по развитию биотехнологий и генной инженерии в РФ, который утвержден Распоряжением Правительства РФ от 28 февраля 2018 г. № 337-р [1].

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года подготовлена с учетом национальных целей и стратегических задач, определенных указами Президента Российской Федерации. Целью Стратегии развития лесного комплекса является выход России на лидирующие позиции в области разработки биотехнологий, в том числе промышленной биотехнологии и биоэнергетики, и создание конкурентоспособного сектора биоэкономики. Для достижения цели Программы должен быть решен комплекс задач, одной из которых является создание промышленной базы развития биоэнергетики, включая производство электроэнергии и тепла из биомассы, производство биотоплива [2].

Целью предлагаемой работы является получение значимых научных результатов путем отбора и изучения биомассы быстрорастущих древесных растений для создания в РФ энергетических лесных плантаций. Реализация поставленных целей позволит обеспечить российский лесопромышленный

сектор возобновляемыми источниками сырья, что усилит экспортный потенциал РФ. Наряду с освоением новых методик, в проекте предусмотрено обоснование использования древесной биомассы в качестве оптимального сырья, которое не нарушает экологического равновесия и не приводит к глобальным изменениям климата. Таким образом, реализация проекта позволит получить снижение экологической нагрузки на природу.

Известно, что основными источниками энергии являются: газ, нефть, уголь, ядерная энергетика, гидроэнергетика, солнечная энергия. На долю возобновляемых источников энергии приходится около 12 %. В связи с ограниченностью запасов ископаемого топлива возобновляемые источники энергии, аккумулированные в растительности, могут сыграть заметную роль в решении энергетических проблем. Необходимость увеличения использования возобновляемых источников энергии вызвана ограниченностью мировых запасов ископаемого топлива и желанием уменьшить вредное влияние на климат выбросов парниковых газов, образующихся при сжигании ископаемых топлив. Энергия, выделяющаяся при сжигании древесины, в современных условиях приобретает новое значение. Выделяющийся при энергетическом использовании древесной биомассы углекислый газ не нарушает экологического равновесия и не приводит к глобальным изменениям климата.

Этот выделяющийся углекислый газ полностью используется при фотосинтезе новых поколений древесных растений. В связи с этим, солнечная энергия, запасенная древесной биомассой, является очень важным энергетическим ресурсом [3]. Изучение такого вида древесного сырья на данный момент является актуальным и перспективным. Воспроизводство отобранных и изученных продуктивных генотипов быстрорастущих древесных растений на основе инновационных биотехнологий для создания энергетических плантаций в настоящее время является новым современным направлением, которое входит в научно-технологические и мировые приоритеты.

ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех» принадлежит приоритет в России по разработке технологии микроразмножения трудноразмножаемых продуктивных и гнилеустойчивых форм и гибридов осины, гетерозисных триплоидных форм и сортов тополя сереющего и тополя белого, которые внедряются в практику путем создания опытных лесных культур. Возраст культур в настоящее время – 20–28 лет. В России нет аналогов плантаций данного возраста, созданных с использованием технологии *in vitro*. Результаты многолетнего полевого испытания созданных объектов доказывают высокую эффективность разработанных технологий и возможность их использования для получения качественного посадочного материала и создания плантационных насаждений целевого назначения для производства биотоплива. Новизной предлагаемых технологий *in vitro* является возможность производства и массового тиражирования посадочного материала с гарантированным, полным сохранением целевого признака.

Основные научно-технические задачи работы: 1) установление критериев отбора древесного сырья, наиболее эффективного для производства биотоплива; 2) исследование древесного сырья по установленным критериям, отбор ценных генотипов; 3) введение отобранного материала в культуру *in vitro*, получение жизнеспособных асептических культур, регенерация растений и их мультипликация (множественное клонирование; перевод растений из пробирочной культуры в теплицу, их адаптация и доращивание) [4, 5].

На основе тщательного отбора и исследования технических и химических свойств древесного сырья будут выбраны лучшие генотипы, обладающие повышенной энергией роста, требуемым качеством, устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. С помощью современных методов биотехнологии предоставляется возможность производства и массового тиражирования посадочного материала с гарантированным, полным сохранением целевого признака. В результате реализации предлагаемой работы возможно получение новых сортов и форм быстрорастущих древесных пород, наиболее пригодных для производства биотоплива.

Список литературы

1. План мероприятий «Дорожная карта» по развитию биотехнологий и генной инженерии в РФ, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 28 февраля 2018 г. № 337-р.
2. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р.
3. Цивенкова Н. М., Самылин А. А. Быстрорастущие плантации тополя – новая энергетическая сырьевая база // ЛЕСПРОМ информ. 2005. № 8(30). С. 58–63.
4. Царев А. П. Сортоведение тополя. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1985. 152 с.
5. Вариводина И. Н., Вариводин В. А. Исследование качества древесины селекционно-ценных форм тополя и осины // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. Кострома, 2015. С. 7–9.



Содержание

Приветственное слово А. А. Титунина.....	3
Приветственное слово В. Г. Санаева, Г. А. Горбачевой.....	4
Секция 1. СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	5
О. И. Антонов, Е. И. Антонов. Качество древесины ели европейской, сформировавшейся под влиянием обрезки ветвей 30–60-летней давности.....	5
G. F. Antonova, V. V. Stasova, G. G. Suvorova, V. A. Oskolkov. Seasonal changes in xylogenesis and biomass accumulation in three conifers species, growing in Eastern Siberia.....	7
М. А. Баяндин, В. Н. Ермолин, В. А. Острякова, А. В. Намятов. Исследование свойств механоактивированной древесной массы для получения плит без связующего.....	10
И. К. Божелко, А. А. Коновалова, С. Г. Гузий. Минеральные клеи и особенности их применения в производстве клееных деревянных изделий.....	13
Nikolai Bardarov, Vladislav Todorov. Study of the structure of wood with the help of mathematical matrices.....	16
Николай Бардаров, Владислав Тодоров. Экологические аспекты строения древесины – часть 1.....	19
Николай Бардаров, Владислав Тодоров. Экологические аспекты строения древесины – часть 2.....	21
Г. А. Горбачева, К. Деглиз, Д. И. Деянов, С. А. Моисеев, Д. В. Смирнов, В. Г. Санаев. Экспериментальное исследование многоформового эффекта памяти микологически разрушенной древесины.....	24
X. Deglise, G. A. Gorbacheva, V. G. Sanaev. Back to the future of wood – return of wood era.....	27
С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин, А. В. Намятов, Е. В. Митина. Проницаемость древесины <i>Betula Pubescens</i> и ее изменение.....	31
Le Duong Hung Anh, Zoltán Pásztor. Experimental investigation of the influence of temperature on the thermal conductivity of raw coconut fibers.....	34
Zoltán Pásztor, Péter Adamik. Effect of external temperature and conditions of steaming kiln to the heat loss... ..	38
С. А. Котиков, А. А. Титунин, А. А. Федотов. Обоснование направления модификации фенолоформальдегидных смол при производстве фанеры.....	41
А. А. Котов, А. Ф. Алябьев. Исследование коэффициента жесткости корневой системы березы.....	43
Kulman S. Basic kinetic models deformation-destruction of wood and wood-based composites.....	46
Т. К. Курьянова, А. Д. Платонов, А. А. Тарасов. Окраска древесины дуба мореного в различных речных системах.....	49
В. Д. Ломов. Формирование древесины ели в древостоях разной структуры.....	51
С. Р. Лоскутов, О. А. Шапченкова, А. А. Анискина, Zoltán Pásztor. Гигроскопическая влага древесины лиственных пород: изотермы сорбции и термический анализ.....	53
Е. Н. Покровская, Д. Г. Михалёва. Увеличение долговечности деревянных конструкций за счет применения полифункциональных составов.....	56
Е. М. Рунова, И. А. Гарус. Оценка свойств стволовой древесины сосны обыкновенной с использованием неразрушающих методов контроля.....	59
В. А. Сиволапов, А. И. Сиволапов, Т. А. Благодарова. Содержание механической ткани в древесине и устойчивость тополей к сердцевинной гнили.....	62
О. Н. Тюкавина. Оценка качества стволовой древесины сосны методом импульсной томографии.....	64
Е. А. Тютькова, И. А. Петров, С. Р. Лоскутов. Отклик <i>Betula Tortuosa</i> Ledeb и <i>Larix Sibirica</i> Ledeb, произрастающих в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау, на изменение климата.....	67
Секция 2. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ.....	70
Г. С. Варанкина, К. Г. Каунов, Д. С. Русаков. Термомодификация как способ защиты строительной фанеры.....	70
Т. Н. Вахнина, И. В. Сусоева, К. А. Кураленок. Древесно-стружечные плиты с улучшенными эксплуатационными показателями.....	72
А. Н. Гончар, В. А. Литвиненко, А. А. Кожемяко, Е. В. Дубоделова. Использование продуктов окисления гидролизного лигнина в целях повышения эффективности связующих для древесных плит.....	75
А. А. Лукаш, Н. П. Лукутцова, К. П. Колотвин, К. В. Разрезов, А. Феллух. Композит из отходов механической обработки древесины мягких лиственных пород.....	77
В. О. Манжула, А. И. Криворотова. Исследование свойств и разработка режимов термомодифицирования древесного сырья в производстве клееных материалов.....	80
Г. А. Пилюшина, Е. А. Памфилов. Композиционные материалы для узлов трения машин лесного комплекса.....	82
Д. С. Русаков, С. Г. Башкиров. Обоснование технологических режимов склеивания фанеры модифицированными клеями.....	84
А. В. Свиридов, А. А. Федотов. Исследование влияния модификации сополимером Лакротэн Э-21 карбамидоформальдегидной смолы на свойства фанеры ФК.....	87

А. А. Титунин, Т. Н. Вахнина, И. В. Сусоева. Физико-математическая постановка задачи теплопроводности древесного композита с учетом формы и размеров частиц наполнителя.....	89
А. А. Титунин (мл.), А. Н. Чубинский. Влияние структуры наполнителя на эксплуатационные свойства древесного композита.....	92
Ю. В. Толстик, И. К. Божелко, А. А. Титунин. Теплоизоляционные древесноволокнистые плиты: сравнительный анализ основных свойств и перспективы развития.....	95
В. В. Тулейко, С. Н. Болачков, А. В. Лёгкий, Е. В. Дубоделова. Повышение экологической безопасности производства формальдегидных смол и древесных листовых материалов.....	97
А. А. Федотов, Т. Н. Вахнина, С. А. Котиков. Исследование водостойкости фанеры ФСФ на основе модифицированного связующего.....	100
В. Ю. Чернов, И. Г. Гайсин, А. А. Палкин, Е. М. Мальцева. Бетон на основе наполнителя из ТМД: особенности материала и перспективы использования.....	103
А. И. Шагеева, Р. Р. Сафин, П. А. Кайнов. Математическое моделирование процессов термической обработки древесных материалов в СВЧ-поле.....	106
В. Д. Эскин, А. И. Криворотова. Исследование режимов и свойств листовых материалов из механоактивированных древесных частиц.....	109
Ю. П. Данилов, Е. С. Хохлова, А. А. Федотов, И. В. Сусоева. Исследование распределения физико-механических свойств по сечению древесно-стружечных брусков экструзионного прессования.....	111
Е. С. Хохлова. Исследование распределения плотности по сечению древесно-полимерного композита экструзионного способа прессования.....	114
Секция 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ.....	118
Н. А. Герман, С. И. Шпак, И. Г. Федосенко, Е. В. Дубоделова, А. А. Титунин. Исследование технологических параметров подготовки биомассы для получения биотоплива.....	118
А. Н. Иванкин, А. Н. Зарубина, А. С. Кулезнев. Энергетическое использование липидов древесной биомассы как эффективный путь работы в области зеленой химии.....	121
Секция 4. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	124
Е.И. Антонов, И. А. Корнев. Особенности смешанных по составу насаждений с перестойной осиной таежной зоны, влияющие на работу машинных комплексов.....	124
Г. Р. Арсланова, К. В. Валеев, Д. Р. Абдуллина. Современные технологии экстрагирования биологически активных веществ из древесных отходов.....	126
Ю. А. Варфоломеев, Н. Н. Новиков, А. В. Катловский, А. В. Елистратов. Проектирование и строительство мобильных модульных комплексов с установками для экологически безопасной переработки древесных отходов методами вихревой термодеструкции.....	128
Г. Ф. Илалова, К. В. Саерова, Р. Р. Сафин. Исследование высокотемпературного кислотного гидролиза древесного сырья.....	131
Л. Ю. Исмаилов, Р. Р. Сафин, А. В. Сафина. Влияние вакуума на выход продуктов СВЧ-экстракции растительного сырья.....	134
Ю. А. Капитонова, С. Е. Анисимов, Е. М. Царёв. Повышение экологической эффективности утилизации отходов в процессе выработки окоренных сортиментов при проведении лесосечных работ.....	137
А. А. Каптелкин. Влияние диаметра и сбегу березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом.....	140
Н. В. Куликова, А. А. Каптелкин, С. Н. Рыкунин. О технологии производства пиломатериалов из мелких круглых лесоматериалов.....	142
А. В. Мехренцев, Э. Ф. Герц, Н. Н. Теринов, А. Ф. Уразова, А. Д. Герасимова. Исследование энергоэффективных технологий ведения лесного хозяйства в условиях зарастающих сельскохозяйственных угодий.....	144
Е. М. Разиньков, К. А. Королева, Я. В. Безноско. Повышение эффективности работы смесителя при производстве древесно-стружечных плит.....	147
Е. Г. Соколова. Модификация карбамидомеламиноформальдегидных смол.....	149
С. Б. Якимович. Эффективные способы заготовки и обработки древесины и принципы комплектования машин.....	152
Секция 5. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ.....	156
А. М. Заяц, С. П. Хабаров. Подход к моделированию беспроводных сенсорных сетей системы мониторинга лесных территорий.....	156
Ар. А. Федяев, А. Н. Чубинский. Неразрушающие методы контроля свойств продукции из древесины.....	159

Секция 6. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ	162
К. А. Башегуров, Е. В. Жигулин, С. М. Жижин, С. В. Залесов, Р. А. Осипенко. Роль оптимизации лесовосстановления и лесоразведения в совершенствовании лесопользования	162
Е. П. Богачева, Е. Б. Аносова. Оценка воздействия на опасность пожара индивидуальных свойств различных пород древесины, распространенных в Московской области	165
С. В. Залесов, А. С. Оплетаяев. Оптимизация возраста рубки и выбора главной древесной породы как основа устойчивого управления лесами	167
Е. И. Майорова. Правовой анализ типичных коррупционных рисков в лесном секторе	169
О. Н. Орехова, Т. С. Воробьёва, А. А. Бартыш. Строение хвойных молодняков искусственного происхождения в условиях таёжной лесорастительной зоны на примере сосны обыкновенной и сосны сибирской	172
А. Н. Панюгин. Особенности перераспределения финансовых ресурсов в лесном секторе РФ	174
Д. А. Слюсарев, О. В. Маслова, О. В. Сенько, О. И. Морозова. Выбор подхода к переработке отходов деревообработки	176
Н. Н. Теринов, Э. Ф. Герц, А. В. Мехренцев, В. А. Азаренок. Состояние производных перестойных березняков после первого приема выборочной рубки	179
И. А. Толбина, М. П. Чернышов. Хреновской бор – проблемы сохранения и восстановления	182
С. М. Хамитова, А. С. Пестовский, М. А. Иванова, Е. И. Федченко, С. П. Базюк. Современные проблемы и перспективы лесовосстановления в Вологодской области	184
Секция 7. ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	187
Э. А. Анисимов, А. Н. Носова. Оценка качества изделий из древесины	187
А. И. Карпов, С. Ю. Сивандаева, О. Г. Тарасова. Опыт сертификации заводской испытательной лаборатории в системах CARB, E1DE2020 и SE в условиях пандемии коронавируса	189
В. И. Федюков, В. Ю. Чернов, М. С. Чернова, Е. Ю. Салдаева. Стандартизация неразрушающих методов диагностики технического качества древесины на корню, в сортиментах и конструкциях деревянного сооружения	191
Е. М. Цветкова, Е. Ю. Салдаева. Применение инструментов контроля и управления качеством на деревообрабатывающих предприятиях	194
В. Ю. Чернов, А. Н. Носова, В. И. Федюков. Состояние и предпосылки развития стандартизации в области термической модификации древесины в России	197
В. Ю. Чернов, А. А. Палкин, Е. С. Шарапов. Техничко-методические вопросы оценки качества термически модифицированной древесины	199
М. С. Чернова. Об эффективности изготовления резонансных заготовок из древесины после долгой эксплуатации в разных конструкциях старого сооружения	202
Секция 8. ЭКОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ	205
Г. И. Антонов, И. Д. Гродницкая, В. А. Сенашова, О. Э. Пашкеева. Использование инновационных биоудобрений в лесных питомниках Красноярской лесостепи	205
Е. Б. Атаманова. Роль ЭДТА и лимонной кислоты в фиторемедиации древесными растениями территорий Костромской области, загрязненных медью	207
Т. А. Беляев, З. Я. Нагимов, И. В. Шевелина. Таксационная структура осинников Пермского края	210
О. В. Игнатъева, В. Т. Ярмишко. Проблемы устойчивости лесных экосистем в районах интенсивной хозяйственной деятельности человека на Кольском полуострове	212
Э. В. Марамохин, М. В. Сиротина. Особенности деструкции и деградации древесины мелколиственных пород под влиянием некоторых ксилотрофных базидиомицетов	215
М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, О. Н. Ситникова. Влияние европейского бобра на лесные экосистемы «Государственного природного заповедника „Кологривский лес“ им. М. Г. Сеницына»	218
З. Я. Нагимов, М. Р. Кожевников, И. В. Шевелина, В. З. Нагимов. Оценка площади поверхности хвоя сосны	220
Н. В. Рыжова, Н. С. Соколов. Обследование деревьев сквера на перекрестке улиц Крестьянская и Ивановская в городе Костроме	223
С. В. Трещевская, Е. А. Кушнир, В. И. Князев, Э. И. Трещевская. Реабилитация техногенно нарушенных земель с помощью культур сосны обыкновенной (<i>Pinus Silvestris L.</i>)	226
Нгуен Тхи Тхюи, Нгуен Фук Зюи, До Хонг Хань. Применение многокритериального анализа (Multi – Criteria Analysis – MCA) для выбора видов растений для определения приоритетности посадки на известняковых горах в районе Кимбой провинции Хоабинь (Социалистическая Республика Вьетнам)	228
Вариводина И. Н., Вариводин В. А. Отбор и изучение устойчивых и продуктивных генотипов быстрорастущих древесных растений на основе инновационных биотехнологий для создания энергетических плантаций	231



Научное издание

**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА»**

МАТЕРИАЛЫ

IV Международной научно-практической конференции

8–11 сентября 2021 г.

Издаются в авторской редакции

Подписано в печать 02.07.2021. Формат бумаги 60×84 1/8.
Печать трафаретная. Печ. л. 29,4. Заказ 122. Тираж 500
(1 з. 120)

Редакционно-издательский отдел
Костромского государственного
технологического университета

156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, 17