

УДК 674(063)
ББК 37.13
Д 36

Рецензент:

П. С. Власов – генеральный директор ООО «Уралгипролеспром»

Д 36 **Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века** [Электронное издание] : труды XVII Международного Евразийского симпозиума / под науч. ред. В. Г. Новоселова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 10,5 Mb. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Мин. системные требования: IBM Intel Celeron 1,3 ГГц ; Microsoft Windows XP SP3 ; Видеосистема Intel HD Graphics ; дискковод, мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-94984-839-5

В книгу трудов включены доклады XVII Международного Евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», проходившего с 13 по 16 сентября 2022 года в Екатеринбурге. Авторы трудов представляют научно-образовательные организации России и ближнего зарубежья (Беларуси).

В трудах рассмотрены актуальные вопросы теории и практики технологии подготовки круглых лесоматериалов и их переработки; деревянного домостроения; организации деревообрабатывающего производства и отделки изделий из древесины; теории резания древесины на станках, совершенствования и проектирования принципиально нового технологического деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента, повышения их точности и надежности; экологии и безопасности.

УДК 674(063)
ББК 37.13

Организационный комитет:

Е. П. Платонов – ректор, председатель. Заместители председателя: В. В. Фомин – проректор по НИИД; А. Г. Магасумова – начальник УНИД; Е. Е. Шишкина – директор ИТИ; М. В. Газеев – зав. кафедрой МОД.

Члены оргкомитета: В. Г. Новоселов – ответственный секретарь, профессор кафедры МОД; Н. П. Бунькова – заведующий РИО; Е. Ю. Лаврик – и. о. зав. кафедрой русского и иностранных языков; К. В. Носоновских – аспирант, администратор сайта симпозиума.

Председатели секций: А. В. Чевардин – «Эффективность и конкурентоспособность предприятий лесного комплекса»; М. В. Газеев – «Новые технологические решения в заготовке, переработке и отделке древесины»; А. В. Мяслицин – «Деревообработка в малоэтажном и промышленном домостроении»; В. Г. Новоселов – «Прогрессивное деревообрабатывающее оборудование и инструмент»; А. В. Артёмов – «Древесные композиционные материалы».

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

ISBN 978-5-94984-839-5



9 785949 1848395

Ответственный за выпуск сборника В. Г. Новоселов
Дизайн обложки М. В. Газеева

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022

XVII

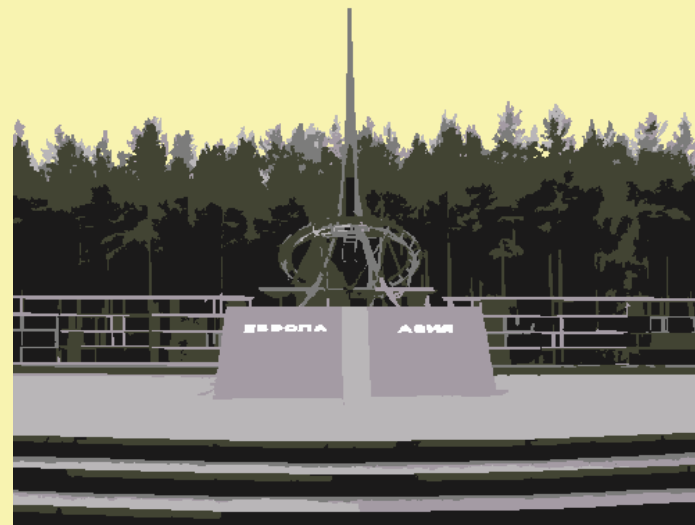
XVII INTERNATIONAL
EURASIAN
SYMPOSIUM
13–16 September 2022



XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЕВРАЗИЙСКИЙ
СИМПОЗИУМ
13–16 сентября 2022



ДЕРЕВООБРАБОТКА: технологии, оборудование, менеджмент XXI века



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ
13–16 сентября 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУКИ
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ЛЕСНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ (IUFRO)
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ICFFI)
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»
АССОЦИАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МАШИНОСТРОЕНИЯ «ДРЕВМАШ»
АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ СЕКЦИИ НАУК О ЛЕСЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
УРАЛЬСКИЙ СОЮЗ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННИКОВ
АССОЦИАЦИЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ УРАЛА
АССОЦИАЦИЯ УРАЛЬСКИХ МЕБЕЛЬЩИКОВ

ДЕРЕВООБРАБОТКА:
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА

**ТРУДЫ XVII МЕЖДУНАРОДНОГО
ЕВРАЗИЙСКОГО СИМПОЗИУМА
13–16 сентября 2022 г.**

Электронное издание

Екатеринбург
2022

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУКИ
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ЛЕСНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ (IUFRO)
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ICFFI)
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»
АССОЦИАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МАШИНОСТРОЕНИЯ «ДРЕВМАШ»
АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ СЕКЦИИ НАУК О ЛЕСЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
УРАЛЬСКИЙ СОЮЗ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННИКОВ
АССОЦИАЦИЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ УРАЛА
АССОЦИАЦИЯ УРАЛЬСКИХ МЕБЕЛЬЩИКОВ**

**ДЕРЕВООБРАБОТКА:
ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ,
МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА**

**ТРУДЫ
XVII МЕЖДУНАРОДНОГО
ЕВРАЗИЙСКОГО СИМПОЗИУМА
13–16 сентября 2022 г.**

Электронное издание

Екатеринбург
2022

УДК 674(063)
ББК 37.13
Д 36

Рецензент:

П. С. Власов – генеральный директор ООО «Уралгипролеспром»

Д 36 **Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века** [Электронное издание] : труды XVII Международного Евразийского симпозиума / под науч. ред. В. Г. Новоселова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 10,5 Mb. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Мин. системные требования: IBM Intel Celeron 1,3 ГГц ; Microsoft Windows XP SP3 ; Видеосистема Intel HD Graphics ; дисковод, мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-94984-839-5

В книгу трудов включены доклады XVII Международного Евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», проходившего с 13 по 16 сентября 2022 года в Екатеринбурге. Авторы трудов представляют научно-образовательные организации России и ближнего зарубежья (Беларуси).

В трудах рассмотрены актуальные вопросы теории и практики технологии подготовки круглых лесоматериалов и их переработки; деревянного домостроения; организации деревообрабатывающего производства и отделки изделий из древесины; теории резания древесины на станках, совершенствования и проектирования принципиально нового технологического деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента, повышения их точности и надежности; экологии и безопасности.

УДК 674(063)
ББК 37.13

Организационный комитет:

Е. П. Платонов – ректор, председатель. Заместители председателя: В. В. Фомин – проректор по НРИД; А. Г. Магасумова – начальник УНИД; Е. Е. Шишкина – директор ИТИ; М. В. Газеев – зав. кафедрой МОД.

Члены оргкомитета: В. Г. Новоселов – ответственный секретарь, профессор кафедры МОД; Н. П. Бунькова – заведующий РИО; Е. Ю. Лаврик – и. о. зав. кафедрой русского и иностранных языков; К. В. Носоновских – аспирант, администратор сайта симпозиума.

Председатели секций: А. В. Чевардин – «Эффективность и конкурентоспособность предприятий лесного комплекса»; М. В. Газеев – «Новые технологические решения в заготовке, переработке и отделке древесины»; А. В. Мяслицин – «Деревообработка в малоэтажном и индустриальном домостроении»; В. Г. Новоселов – «Прогрессивное деревообрабатывающее оборудование и инструмент»; А. В. Артёмов – «Древесные композиционные материалы».

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

Ответственный за выпуск сборника В. Г. Новоселов
Дизайн обложки М. В. Газеева

ISBN 978-5-94984-839-5

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2022

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Международный Евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» организуется и проводится Уральским государственным лесотехническим университетом шестнадцатый год и является ключевым мероприятием конгрессной части выставки LESPROM-URAL Professional.

Лесотехнический университет уделяет особое внимание подготовке специалистов, востребованных предприятиями лесной, деревообрабатывающей, химической промышленности, и вносит существенный вклад в экономическое развитие региона уже более 90 лет.

Во время работы симпозиума ученые и специалисты из различных научных, образовательных и производственных организаций рассматривают вопросы совершенствования техники и технологии лесопромышленного комплекса от получения круглых лесоматериалов до готовых изделий с учетом национальных целей и стратегических задач развития Российской Федерации, которые ставятся президентом перед промышленными предприятиями. Совершенствование технологий на всех этапах передела продукции лесопромышленного комплекса обязывает увеличивать рост производительности труда на предприятиях и будет способствовать развитию Российской экономики.

Мероприятие традиционно проводится на площадке выставочного центра и объединяет производителей и потребителей продукции лесопереработки, предприятий лесного машиностроения и лесного хозяйства, ученых, преподавателей и студентов уральских училищ, колледжей и университетов. Международный Евразийский симпозиум заслуженно считается одним из значимых профессиональных мероприятий, проходящих в преддверии праздника «Дня работника леса». Уверен, что работа симпозиума пройдет на самом высоком уровне и будет способствовать дальнейшему развитию и укреплению профессиональных связей и развитию лесопромышленного потенциала нашей страны.

От имени Уральского государственного лесотехнического университета приветствую всех участников XVII Международного Евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» и выставки LESPROM-URAL Professional. Желаю всем участникам и гостям поделиться идеями и предложениями, обсудить проблемы и найти формы взаимовыгодного делового сотрудничества.

Успешной работы и удачи!

*С уважением,
ректор УГЛТУ*



Е. П. Платонов

ОГЛАВЛЕНИЕ

Эффективность и конкурентоспособность предприятий лесного комплекса

Мехренцев А. В., Стариков Е. Н.

О стратегическом планировании и механизме его реализации
в лесном комплексе 6

Пищулов В. М.

Ценное кормовое и пищевое сырье на основе отходов лесозаготовок
и деревообработки..... 13

Уразова А. Ф., Мехренцев А. В.

Анализ факторов, влияющих на развитие лесных технологий
на территории свердловской области..... 20

Чевардина А. Ю.

Информационные технологии в деревообрабатывающей
промышленности..... 26

Новые технологические решения в заготовке, переработке и отделке древесины

Башкирова К. А., Газеев М. В., Свиридов А. В., Маслакова Т. И.

Исследование свойств защитно-декоративного покрытия,
образованного на древесине эпоксидной лакокрасочной композицией 32

Бекк П. А., Яцун И. В.

Формирование древесно-торфяного плитного материала
и исследование его свойств 40

Исмаилов Л. Ю., Сафина А. В.

Технология переработки плодоносящих веток облепихи
с использованием теплового насоса 48

Прокопьев А. А., Салимгараева Р. В., Сафин Р. Р.

Снижение смачиваемости древесины путем ацетилирования 60

Совина С. В., Плюснина А. С.

Теоретические исследования закономерностей процесса формирования покрытия
на основе лакокрасочной системы 66

Тарбеева Н. А., Рублева О. А.

Механизм неравномерного прессования древесины,
подвергнутой обжигу и брашированию..... 71

Черепанов Д. С., Сафина А. В.

Исследование физико-механических свойств термомодифицированной древесины
в производстве клееных изделий 77

Шишкина С. Б., Яцун И. В.

Определение времени «физического» высыхания защитного покрытия
со специальными свойствами на древесной подложке 82

**Деревообработка в малоэтажном
и индустриальном домостроении**

Коленченко Д. А., Сопица В. А., Кокшаров А. В.

Исследование огнезащитных составов для деревянных конструкций 88

**Прогрессивное деревообрабатывающее оборудование
и инструмент**

Вихарев С. Н., Сиваков В. П., Кучумов Е. Г.

Балансировка янки-цилиндра бумагоделательной машины 95

Гаранин В. Н., Машорипова Т. А.

Анализ возможностей использования вибраций при обработке
древесины и других материалов 100

Клепацкий И. К., Раповец В. В.

Оценка влияния состояния режущей кромки ножа фрезы
фрезерно-брусующего станка на качество торцевого среза элемента
технологической щепы 108

Клепацкий И. К., Раповец В. В.

Применение метода наименьших квадратов для теоретического
расчета технологической стойкости упрочненных ножей
фрезерно-брусующих станков 115

Новоселов В. Г.

К расчету мощности приводных рольгангов 121

Чаевский В. В., Кулешов А. К., Коледа П., Рудак П. В.

Применение МоС покрытий для усовершенствования дереворежущих
инструментов 126

Древесные композиционные материалы

Винокурова А. С., Шкуро А. Е., Глухих В. В., Чирков Д. Д.

Исследование физико-механических свойств полимерных
композиционных материалов с полимерной фазой ацетата целлюлозы,
древесной мукой и отходами ацетатных пленок 134

Гарт М. С., Ершова А. С., Артемов А. В., Савиновских А. В., Бурындин В. Г.

Исследование зависимости между физико-механическими свойствами
древесных пластиков 140

Данчук М. Я., Захаров П. С., Шкуро А. Е., Глухих В. В.

Исследование физико-механических свойств древесно-полимерных композитов
с полиакрилатом натрия 147

Тесленко А. Ю., Шишлов О. Ф., Глухих В. В.

Влияние типа связующего на свойства PSL 153

Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В.

Влияние полифосфата аммония на огнестойкость лигнинсодержащей
фенольной пены 157

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

EFFICIENCY AND COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISES OF THE FOREST COMPLEX

Научная статья
УДК 338.242; 338.26

О СТРАТЕГИЧЕСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ И МЕХАНИЗМЕ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ

Андрей Вениаминович Мехренцев¹, Евгений Николаевич Стариков²

¹ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ mehrentsev@yandex.ru

² starik1705@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам стратегического планирования. Рассмотрен механизм реализации стратегического планирования в лесном комплексе, учитывающий особенности данного сектора, связанные с его внутренней структурой, институциональными особенностями современного этапа, а также природоохранной, экологической и средообразующей ролью лесов. Выделены и обоснованы ключевые этапы данного механизма, их структура и содержание.

Ключевые слова: лесной комплекс, стратегия, прогноз, планирование, подходы

Для цитирования: Мехренцев А. В., Стариков Е. Н. О стратегическом планировании и механизме его реализации в лесном комплексе // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 6–12.

ON THE MATTER OF STRATEGIC PLANNING AND THE MECHANISM OF ITS IMPLEMENTATION IN THE FOREST COMPLEX

Andrey V. Mekhrentsev¹, Evgenii N. Starikov²

¹ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

² Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

¹ mehrentsev@yandex.ru

² starik1705@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the issues of strategic planning. The mechanism for the implementation of strategic planning in the forest complex is considered, taking into account the specifics of this sector, related to its internal structure, institutional features of the current stage, as well as the environmental, ecological and environment-forming role of forests. The key stages of this mechanism, their structure and content are identified and substantiated.

Keywords: forest complex, strategy, forecast, planning, approaches

For citation: Mekhrentsev A. V., Starikov E. N. On the matter of strategic planning and the mechanism of its implementation in the forest complex // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 6–12.

Стратегия развития лесного комплекса России определяется сегодня главным образом интересами частных собственников – владельцев лесного бизнеса. Практически любое инвестиционное решение является следствием интересов, оценок и решений частного лесного бизнеса относительно целесообразности реализации тех или иных инвестиционных проектов и привлекательности капиталовложений. Одновременно с этим государственная промышленная политика при наличии адекватных запросам бизнеса стимулирующих инструментов способна оказывать как корректирующее, так и направляющее влияние на стратегию развития лесного комплекса как в отраслевом, так и в территориальном аспектах [1]. При этом основными субъектами стратегического планирования, модернизации и развития отраслевых комплексов с позиции их структурно-отраслевой, территориальной и экономико-технологической организации являются органы государственной власти, которые решают задачи сбалансированного развития отраслей и комплексов народного хозяйства путем организации стратегического планирования [2].

Леса выполняют как важнейшие средозащитные, средообразующие, экологические и социальные функции, так и вносят существенный вклад в обеспечение экономического развития отдельных государств и регионов. Лесной комплекс укрупненно включает в себя два основных вида экономической деятельности – лесное хозяйство и лесную промышленность.

Среди наиболее острых проблем, ограничивающих и сдерживающих сегодня развитие отечественного лесного комплекса, можно выделить:

в сфере лесного хозяйства:

– низкий уровень достоверности и актуальности сведений об имеющихся лесных ресурсах, что обуславливает неэффективность нормативного регулирования вопросов предоставления в пользование лесных участков (давность проведения лесоустройства достигает 20 лет) [3];

– приоритет экстенсивной модели лесопользования с низкой эффективностью лесовосстановления и необходимостью включения в хозяйственный оборот лесных районов, необеспеченных транспортной инфраструктурой, что ведет к дополнительным затратам и неоправданным потерям лесного сырья;

– недостаточная эффективность системы охраны и защиты лесов, разобщенность лесопожарных сил и, как следствие, низкое качество выполнения работ по защите лесов, высокий уровень потерь лесного фонда от пожаров, вредителей и других природных факторов;

– ограниченные возможности лесозаготовки в эксплуатационных лесах связаны с недостаточным уходом за лесами, что снижает показатели прироста древесины, и получается в целом низкий уровень съема древесины с единицы площади эксплуатационных лесов;

в сфере лесной промышленности:

– высокие административные барьеры, высокая забюрократизированность процедур по принятию решений в отношении реализации крупных инвестиционных проектов в сфере глубокой переработки древесного сырья (избыточность регулирования в сферах промышленной безопасности, экологии, капитального строительства и т. п.), недостаточность мер государственной поддержки при их реализации (механизм приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов за годы своей реализации показал эффективность и востребованность, однако, сегодня очевидным становится необходимость корректировок условий для получения соответствующего статуса и условий обеспечения реализуемых инвестиционных проектов древесным сырьем);

– ужесточение экологических требований при освоении лесов;

– неразвитость системы по использованию отходов древесины и низкий уровень собираемости макулатуры;

– недостаточное развитие внутреннего рынка продукции переработки древесины, его ограниченный объем для создания новых высокотехнологичных производств по глубокой переработке древесного сырья;

– высокий уровень страновых и макроэкономических рисков реализации крупных инвестиционных проектов, высокая стоимость заемного финансирования;

– слабое инфраструктурное развитие, дефицит инфраструктуры (энергетической, коммунальной, транспортно-логистической, инновационной и др.) [4];

– недостаточный уровень научного и кадрового обеспечения развития отрасли [5].

Учитывая рассмотренные выше особенности лесного комплекса и существующие в России проблемы развития отрасли, а также принимая во внимание ее уникальность с точки зрения сырьевого ресурса, целесообразность стратегического планирования лесопользования не вызывает сомнений. При этом сам механизм такого планирования должен в обязательном порядке учитывать рыночные принципы и быть ориентирован на долгосрочную перспективу. Центральное место в его структуре должна занимать непосредственно разработка стратегии долгосрочного развития лесного комплекса, нацеленная на балансировку интересов частных экономических субъектов на всех уровнях управления и регулирования, что особенно важно вследствие роста актуальности эколого-экономических проблем и вопросов экономической безопасности государства. Стратегия должна включать в себя также и комплекс мероприятий и опираться не только на всестороннее системное планирование, но являться комбинацией как традиционных, так и новых подходов, в которых интегральная роль отводится не только отраслевым, но также территориальным и региональным планам и программам.

Разработка непосредственно стратегии развития лесного комплекса должна опираться на комплексную и всестороннюю оценку факторов и условий, определяющих текущее состояние отрасли. При этом уникальность леса как системообразующего фактора развития лесного бизнеса, его природоохранная и средообразующая роли приводят к разносторонним социально-экономическим последствиям долгосрочного характера, чем обуславливаются особенности стратегического планирования развития лесной отрасли [6, 7].

Стратегическое планирование традиционно осуществляется методом «сверху – вниз», учитывая стратегические задачи государства, однако при этом информационный обмен и проект инвестиционных планов формируется на уровне компаний, корпораций и муниципалитетов [8, 9].

Ключевая роль при разработке стратегии развития лесного комплекса принадлежит долгосрочному прогнозу изменения основных параметров в объемах лесопользования и лесовосстановления с целью определения качества ресурсной базы для дальнейшего развития на этой основе перспективных направлений развития лесного бизнеса. Соответственно эффективность мероприятий отраслевой стратегии изначально определяется достаточностью и достоверностью социально-экономических показателей текущего состояния отрасли, которые были использованы при ее разработке, а также надежности и корректности методического

инструментария по систематизации и изучению этого массива данных и прогнозированию их изменения в перспективе.

Далее формулируется главная цель развития отрасли и определяются индикаторы эффективности, на основе которых формируются как стратегические направления развития в целом, так и по отдельным видам деятельности, территориям, производственным комплексам и предприятиям в тесной увязке с их корпоративными стратегиями и инвестиционными планами.

На первом уровне стратегического планирования наиболее рациональным считается ориентация на горизонт планирования не менее 10 лет и формирование долгосрочной стратегии отраслевого развития, опираясь на прогноз качественных изменений лесных ресурсов региона в выбранном временном диапазоне. Долгосрочную стратегию необходимо дополнять среднесрочными 3-летними стратегическими программами, определяющими приоритеты и механизмы государственной поддержки компаний и иных субъектов отраслевого рынка и включающими планы мероприятий по конкретным направлениям и видам деятельности с учетом территориальных особенностей лесного фонда и размещения перерабатывающих производств. При этом важнейшим условием высокой эффективности стратегического планирования и уровня полученного результата является участие в данном процессе всех субъектов лесопользования и лесного бизнеса, а также доступность для органов государственного управления их корпоративных стратегий и оперативных бизнес-планов.

На втором, оперативном уровне стратегического планирования развития лесного комплекса акцент смещается на формирование ежегодных планов и отдельных проектов, конкретизирующих комплекс мероприятий среднесрочных стратегических программ в отношении их ресурсного и финансового обеспечения как в рамках механизмов государственной поддержки, так и корпоративного финансирования.

Вывод. Реализация механизма стратегического планирования предполагает наличие определенной организационной структуры, функцией которой является непосредственное выполнение мероприятий, связанных с предоставлением мер государственной поддержки в рамках проектов и планов, контроль и оперативный анализ причин отклонения от контрольных показателей стратегии, а также разработка на этой основе дополнительных мероприятий по устранению негативных воздействий. При необходимости возможно внесение корректировок в текущие планы, программы и проекты или в долгосрочную стратегию в целом. Такая организационная структура должна формироваться на основе профильных органов государственной исполнительной власти с обязательным участием отраслевых объединений работодателей и ассоциаций товаропроизводителей, а также представителей научного сообщества, общественности и органов местного самоуправления территорий присутствия лесного бизнеса.

Список источников

1. Мультисубъектная промышленная политика : монография / Под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. РАН В. В. Акбердиной, д-ра экон. наук проф. О. А. Романовой. – Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2018. – С. 227–236.
2. Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» от 28.06.2014 № 172-ФЗ // КонсультантПлюс: справ.-правов. система. – URL: <http://base.consultant.ru/nbu/cgi/online>.
3. Мехренцев А. В., Стариков Е. Н., Раменская Л. А. Совершенствование методологии управления приоритетными инвестиционными проектами лесопромышленного комплекса Свердловской области на основе проектного подхода // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : сб. тр. XIII Межд. Евразийского симпозиума. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2018. – 230 с.
4. Мехренцев А. В., Стариков Е. Н. О хозяйственной устойчивости предприятий лесного комплекса региона // Эко-потенциал. – 2019. – № 1 (25). – С. 116–121.
5. Стариков Е. Н., Прядилина Н. К., Мезенцева Е. С. Современное состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса Свердловской области // Лесотехнический журнал (серия: Менеджмент. Экономика. Организация). – 2017. – Т. 7. – № 2 (26). – С. 193–204.
6. Основы финансового контроля и государственного регулирования: отраслевой и региональный аспект : монография / Под ред. Ю. В. Гнездовой, Е. Е. Матвеевой. ФГБОУ ВО «СмоЛГУ». – М. : Издательство «Научный консультант», 2017. – 330 с.
7. Управление лесопромышленным бизнесом на основе стратегического планирования освоения лесных ресурсов региона (на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия) : монография / А. В. Мехренцев и др.; под общ. ред. А. В. Мехренцева. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2016. – 255 с.
8. Стариков Е. Н., Прядилина Н. К., Долженко Л. М. Совершенствование подходов управления маркетингом лесопромышленного бизнеса крупной вертикально-интегрированной компании (на примере лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия)) // Теория и практика корпоративного менеджмента : сб. науч. ст. / Гл. ред. В. Г. Прудский; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. – Вып. 13. – С. 213–222.
9. Стратегическое управление социально-экономическим развитием территорий: методологические основы и прикладной инструментарий : монография / Под общ. ред. А. В. Мехренцева. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. – 253 с.

References

1. Multi-Subject Industrial Policy / Monograph under General Ed. D.E.A., Prof. RAS V. V. Akberdina, MD, prof. O. A. Romanova. – Yekaterinburg : Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018. – P. 227–236.
2. Federal Law «On Strategic Planning in the Russia Federation» dated 28.06.2014 № 172-FZ // ConsultantPlus: Ref. system. – URL: [http:// base.consultant.ru/mbu/cgi/online](http://base.consultant.ru/mbu/cgi/online).
3. Mehrentsev A. V., Starikov E. N., Ramenskaya L. A. Improvement of the methodology for managing priority investment projects of the timber industry of the Sverdlovsk region on the basis of the project approach. Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century / Proceedings of the XIII International Eurasian Symposium. – Yekaterinburg : UGLTU, 2018. – 230 p.
4. Mehrentsev A. V. On the economic stability of enterprises in the forest complex of the region / A. V. Mehrentsev, E. N. Starikov // Eco-potential. – 2019. – № 1 (25). – P. 116–121.
5. Starikov E. N., Pryadilina N. K., Mezentseva E. S. The current state and prospects for the development of the timber industry of the Sverdlovsk region // Forest Engineering Journal (series: Management. Economics. Organization). – 2017. – Volume 7. – № 2 (26). – P. 193–204.
6. Fundamentals of financial control and government regulation: sectoral and regional aspect. Collective monograph / Edited by Yu. V. Gnezdova, E. E. Matveeva, FSBEI HE «SmolksSU». – M. : Publishing house «Scientific Consultant», 2017. – 330 p.
7. Management of the timber industry business on the basis of strategic planning for the development of forest resources of the region (using the example of the development strategy of the timber industry complex of Almas LLC of the Republic of Sakha (Yakutia). Monograph / A. V. Mehrentsev and others ; under the general. ed. A. V. Mehrentsev ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FSBEI HPE «Ural State Forestry Technical University». – Yekaterinburg : Ural State. Forestry Technical University, 2016. – 255 p.
8. Starikov E. N., Pryadilina N. K., Dolzhenko L. M. Perfection of approaches to managing the marketing of the timber industry business of a large vertically integrated company (using the example of the timber industry complex Almas LLC of the Republic of Sakha (Yakutia)) // Theory and practice of corporate management: Sat. scientific. Art . / Ch. Ed. V. G. Prudsky ; Perm. gos. nats. un-t. – Perm, 2016. – № 13. – P. 213–222.
9. Strategic management of socio-economic development of territories: methodological foundations and applied tools-riy: monogr. / Under the general editor A. V. Mehrentseva. – Yekaterinburg : Ural. State Forestry Engineering. un-t, 2015. – 253 p.

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 13–19.
Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 13–19.

Научная статья
УДК 630*8

ЦЕННОЕ КОРМОВОЕ И ПИЩЕВОЕ СЫРЬЕ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК И ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Виктор Михайлович Пищулов

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия
dr.haust@mail.ru

Аннотация. Задача обеспечения населения продуктами питания или продовольственная проблема признается в качестве одной из важнейших глобальных проблем человечества. Следует полагать, что значимый вклад в разрешение продовольственного вопроса может быть сделан одновременно и параллельно со снятием остроты других важнейших проблем, в частности экологической проблемы. Следует иметь ввиду то обстоятельство, что комплексный подход в этих вопросах несомненно дает весьма значимый экономический эффект.

Ключевые слова: экология, продовольственная проблема, отходы лесной отрасли, экономическая эффективность использования лесных отходов, комплексный подход в переработке лесных ресурсов

Для цитирования: Пищулов В. М. Ценное кормовое и пищевое сырье на основе отходов лесозаготовок и деревообработки // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 13–19.

Original article

VALUABLE FEED AND FOOD RAW MATERIALS BASED ON LOGGING AND WOODWORKING WASTE

Viktor M. Pishchulov

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
dr.haust@mail.ru

Abstract. The task of providing the population with food or the food problem is recognized as one of the most important global problems of mankind. It should be assumed that a significant contribution to the solution of the food

problem can be made simultaneously and in parallel with the removal of the acuteness of other major problems, in particular the environmental problem. It should be borne in mind that an integrated approach to these issues undoubtedly gives a very significant economic effect.

Keywords: ecology, food problem, forest industry waste, economic efficiency of forest waste use, an integrated approach to the processing of forest resources

For citation: Pishchulov V. M. Valuable feed and food raw materials based on logging and woodworking waste // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 13–19.

Вполне обоснованным можно полагать, что лесная отрасль в состоянии внести свой существенный вклад в решение продовольственной проблемы. Единственным источником продовольствия, потребляемого населением, является биомасса планеты. Общеизвестно, что основная часть биомассы планеты представлена лесами. Самая общая классификация продуктов, потребляемых населением, включает в себя такие категории, которые представлены углеводами, белками и жирами. Известно, что основная масса потребляемых продуктов питания представлена углеводами. Растительная часть биомассы планеты представляет собой главный источник углеводов.

Очевидным фактом является то обстоятельство, что население использует в качестве источников питания крайне ограниченный круг одомашненных, окультуренных и традиционно возделываемых видов растений. При этом нужно принять во внимание, что реально в качестве источников питания используются лишь отдельные части таких возделываемых растений. Это главным образом семена растений. Важнейшими представителями таких одомашненных растений выступают злаки.

Главными свойствами семян злаковых, делающих их наиболее удобными для использования в качестве продуктов питания, являются простота приготовления для непосредственного потребления и возможности длительного хранения без утраты полезных качеств. К наиболее древним возделываемым злаковым относятся главным образом пшеница (ячмень, рожь) в Средиземноморском регионе, рис в Юго-Восточной Азии и кукуруза в Центральной Америке. Приготовление семян злаков, делающих их пригодными для непосредственного потребления, сводится к термической обработке в кипящей воде, попросту варке, результатом чего является получение каши в самых различных ее видах. Также возможна термообработка зерен злаков в кипящем масле растительном или животном жире. Другой древний способ приведения зерен злаков к состоянию, пригодному для непосредственного потребления, связан с механической обработкой, или попросту помолом зерен в муку, из которой также посредством термического воздействия выпекаются различные виды хлеба.

Составляющими химического состава злаковых зерен являются различные белковые соединения, в частности, наиболее важными из которых выступают сложные углеводы (60–70 %), в том числе клетчатка [1]. Кроме того, в зернах злаков присутствуют белки, жиры, витамины, а также минеральные вещества. Однако именно углеводы представляют главную питательную ценность зерна.

Древесина представляет собой один из наиболее обильных источников углеводов. Нужно признать, что углеводы присутствуют, как уже говорилось во всех частях растений, а не только в зерне. Проблема состоит в том, что для человека требуется некоторая предварительная обработка отдельных частей растений с тем, чтобы преобразовать такого рода сырые материалы растительного происхождения в пригодные для непосредственного потребления в качестве пищи.

Вообще говоря, так называемые травоядные, растительноядные животные или фитофаги в определенной степени наделены способностью к непосредственному потреблению отдельных мягких частей растений, таких как листья, трава, реже молодые побеги и кора. Такая способность обусловлена особенностями устройства пищеварительного тракта, наличием соответствующих ферментов. Человек обладает лишь весьма ограниченными способностями непосредственного потребления отдельных частей растений, кроме уже упомянутых зерен злаков, являющихся главным источником продуктов питания человека.

В качестве непосредственно употребляемых в пищу частей растений следует отметить самые разнообразные плоды. Кроме того, заметную роль среди продуктов питания играют клубни, главным образом картофеля, а также довольно многочисленные виды корнеплодов. Последние, как правило, требуют предварительной термической обработки обычно в кипящей воде для того, чтобы быть непосредственно употребляемыми в весьма широких масштабах. Листья растений, которые могут использоваться для употребления в сыром виде или после несложной термической обработки, представлены главным образом таким весьма древним окультуренным растением, каким является капуста.

Представленный довольно ограниченный перечень растений, несущих в себе такую важную составляющую продуктов питания, какой являются углеводы, обусловлен относительной несложностью выращивания этих растений и главным образом простотой обработки, необходимой для приведения к состоянию, в котором эти растения могут потребляться непосредственно в качестве продуктов питания. Огромное разнообразие различных видов углеводов, содержащихся в растениях, не может употребляться в пищу по той простой причине, что преобразование их к виду, в котором они могут непосредственно потребляться, требует гораздо более сложных технологий приготовления по сравнению с традиционными методами термической обработки.

Необходимы оптимальные технологии превращения биологических ресурсов растений в продукты, пригодные в пищу человека. С развитием технологий все более широкий круг биологических ресурсов становится доступным для преобразования тем или иным образом в продукты, пригодные для непосредственного потребления в качестве пищи. В процессе неолитической революции, начало которой относят к десятому тысячелетию до новой эры, имеет место одомашнивание некоторых животных и растений [2]. В частности, одомашнивание животных открывает доступ к преобразованию весьма обширных биологических ресурсов в форме растительности пастбищ в такие важнейшие продукты, подлежащие непосредственному потреблению в качестве пищи, какими являются молочные продукты, мясо и животные жиры. Этот процесс совершенствования технологий, который ведет к расширению круга биологических ресурсов, подлежащих использованию в качестве сырых материалов для производства пищевых продуктов, продолжается по настоящее время.

Современные технологии открывают весьма обширные возможности несравненно более широкого использования биологических ресурсов планеты для использования в качестве сырья в процессе получения продуктов, подлежащих непосредственному потреблению в качестве пищи. Здесь следует отметить, что лесная отрасль имеет в качестве сырья самый значительный биологический ресурс, имеющийся в наличии на планете. Считается, что доля зеленых растений в биомассе превышает 99 %. Подавляющая часть этого вида биомассы приходится на леса. Нужно иметь в виду, что доля населения планеты в общем объеме биомассы ничтожно мала. В силу этих обстоятельств очевидно, что продовольственная проблема может решаться посредством вовлечения все более широкого вовлечения ресурсов биомассы, сосредоточенных в лесах, в качестве сырья для производства продуктов, подлежащих непосредственному потреблению в качестве пищи населением планеты.

Отходы лесозаготовок и деревообработки могут быть использованы в качестве сырья для преобразования в продукты, пригодные для употребления в качестве пищи. В данном случае следует обратить внимание хотя бы на такой ресурс биологического сырья, который представлен отходами лесозаготовок и деревообработки. По самым грубым оценкам процент отходов в деревообработке составляет 45–63 % от объема исходного сырья. Количество отходов лесозаготовок и вырубок может достигать 40 %.

Следует помнить, что отходы деревообработки представляют собой весьма ценное биологическое сырье, которое может быть использовано для производства продуктов, способных заместить многие традиционные сырьевые источники продовольствия.

Одним из направлений использования отходов лесозаготовок и деревопереработки является использование данного вида биологических ресурсов в качестве кормов или кормовых добавок для сельскохозяйственных

животных. В наибольшей степени производство таких продуктов применимо для скармливания крупному рогатому скоту. Известно, что даже простейшие способы обработки древесных отходов, например измельчение до оптимальных размеров опилок, позволяют заместить традиционные виды кормов. Однако перевариваемость таких добавок грубых кормов совершенно незначительна и максимальна для лиственных пород, в частности для осины может достигать 37 %, и минимальна для хвойных пород – 5–7 %.

Вместе с тем относительно высокотехнологичные методы переработки позволяют превратить древесные отходы в полноценные самостоятельные виды кормов. Такие технологии, которые основаны на гидротермических, термохимических и микробиологических методах переработки древесных отходов, позволяют получить весьма ценные по уровню питательности виды кормов. Степень усвоения полезных биологических составляющих таких кормов достаточно высока. Степень перевариваемости таким образом переработанных древесных отходов достигает 35 % для хвойных пород и 55 % для лиственных пород деревьев.

Хорошо известны и длительное время, по меньшей мере с 1976 г. используются технологии получения гидролизного сахара из отходов лесозаготовок и деревообработки. Гидролизный сахар применяется как полноценный заменитель легкоперевариваемых углеводов из кормовых корнеплодов. Кроме того, гидролизные сахара могут использоваться в качестве сырья для получения кормовых дрожжей.

Кроме использования древесных отходов в качестве сырья для получения кормов для скота и птицы не следует исключать возможность использования древесины для получения продуктов, пригодных для непосредственного потребления в качестве полноценных источников питания для человека. Однако в этом случае предполагается разработка достаточно совершенных технологий для такой глубокой переработки различных составляющих заготовки древесины.

Разрабатываются и находят применение биотехнологии, позволяющие перерабатывать древесину в продукты, пригодные для непосредственного употребления человеком в качестве пищи. В частности, представляется возможным скармливание древесных отходов насекомым, которые достаточно несложно могут быть преобразованы в пищу, подлежащую непосредственному потреблению человеком. Пример такой технологии представлен швейцарским энтомологом Даниэлем Амбюль и профессором Юргом Грундером из Цюрихского университета прикладных наук (ZHAW). Технология предусматривает определение оптимальных условий для разведения четырех видов жуков.

Ныне существуют и в дальнейшем могут быть разработаны технологии, позволяющие превращать органические соединения, содержащиеся в растениях, представляющих древесные породы, в продукты, которые могут непосредственно потребляться в качестве пищи человеком.

Следует принять во внимание то обстоятельство, что главные составляющие полноценного питания, необходимого человеку, включающие в себя белки, углеводы и жиры, вырабатываемые из растительного сырья, получаемого из древесных отходов, обладают определенными весьма важными преимуществами по сравнению с традиционными сельскохозяйственными культурами. Важнейшее из таких преимуществ по сравнению с культурными растениями состоит в том, что органические молекулы, получаемые из сырья древесных отходов, формируются непосредственно в природной среде лесов. Из этого вытекает то важное обстоятельство, что такие органические соединения состоят из аминокислот, повторяющих отдельные части ДНК и РНК молекул растительных организмов.

Качество продуктов питания, получаемых из древесного сырья, видится более высоким по сравнению с традиционными видами продовольствия, производимыми в сельском хозяйстве. Главное отличительное свойство молекул ДНК лесных растений, формируемых в естественной природной среде, состоит в более высокой по сравнению с культурными растениями способности к самовоспроизведению. Как известно молекулы ДНК животных, в том числе человека, формируются из белковых молекул, создаваемых на основе отдельных участков молекул ДНК растений. Таким образом, ДНК животных, а значит, и человека, формируемых на основе молекул ДНК лесных растений, представляется более жизнеспособным, что проявляется в более высоком качестве свойства самовоспроизведения, по сравнению с органическими молекулами на основе ДНК окультуренных растений, выделенных из естественной природной среды. Повышение генетического качества, а именно ДНК человека, потребляющего продукты, произведенные из сырья, изъятых из естественных условий, обуславливает более высокие функциональные свойства иммунной системы человека. В естественной среде имеет место непрекращающийся процесс естественного отбора на генетическом уровне.

Понятно, что в искусственной среде, создаваемой человеком, интенсивность естественного отбора генетического материала или молекул ДНК среди окультуренных растений в значительной степени ослабляется. Сам по себе искусственный отбор растений и животных снижает качество генетического материала таких организмов ввиду понижения способности ДНК к самовоспроизведению. Вполне очевидным видится то обстоятельство, что качество генетического материала культурных растений последовательно понижается с течением времени с момента извлечения растения из естественной среды и в процессе селекционного искусственного отбора. Потребляя продукты питания, приготовленные из сельскохозяйственных растений и животных, человек строит собственную молекулу ДНК, также обладающую относительно пониженной способностью к самовоспроизведению. Это последнее обстоятельство служит причиной понижения способности к оптимальному функционированию иммунной системы человека.

Выводы. Исходя из вышесказанного вполне очевидна необходимость более широкого использования отходов лесозаготовок и деревообработки в качестве сырья для производства продуктов, пригодных для непосредственного употребления человеком в качестве пищи. Такие продукты при условии применения оптимальных технологий обладают более высокими пищевыми качествами по сравнению с традиционными видами продовольствия, производимым в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Одновременно с последним решается экологическая проблема утилизации лесных отходов.

Список источников

1. Казаков Е. Д. Зерно // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.
2. Charles E. Redman. Rise of Civilization: From Early Hunters to Urban Society in the Ancient Near East (англ.). – San Francisco: Freeman, 1978.
3. Превратить отходы лесозаготовки в доходы. Леспром // Журнал профессионалов ЛПК, ЛесПромИнформ. – 2011. – № 5 (79). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2372>.
4. Иванов И. И. Эффективность скармливания высокопродуктивным лактирующим коровам кормового гидролизного сахара из древесины и торфа : ил РГБ ОД 61:85-6/950.
5. Насекомые на ужин. METTLER TOLEDO. – URL: <https://www.mt.com/ru/ru/home/library/collections/other/edible-insects.html>.

References

1. Kazakov E. D. Grain // Great Soviet Encyclopedia: [in 30 t.] / Ch. Ed. A. M. Prokhorov. – 3rd ed. – M. : Soviet Encyclopedia, 1969–1978.
2. Charles E. Redman. Rise of Civilization : From Early Hunters to Urban Society in the Ancient Near East (англ.). – San Francisco: Freeman, 1978.
3. Turn logging waste into revenue. Lesprom, Journal of LPK Professionals, LesPromInform. – 2011. – № 5 (79). – URL : <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=2372>.
4. Ivanov I.I. Efficiency of feeding high-yield lactating cows with feed hydrolysis sugar from wood and peat: sludge RSL OD 61: 85-6/950
5. Insects for dinner. METTLER TOLEDO. – URL : <https://www.mt.com/ru/ru/home/library/collections/other/edible-insects.html>.

Научная статья
УДК 630.68

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ ЛЕСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Алина Флоритовна Уразова¹, Андрей Вениаминович Мехренцев²

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ urazovaaf@m.usfeu.ru

² mehrentsevav@m.usfeu.ru

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопроса развития лесных технологий на территории Свердловской области. Для составления стратегического плана развития следует учитывать множество факторов, которые оказывают прямое и опосредованное влияние на функционирование как отдельных составляющих, так и всего комплекса в целом. Необходимость анализа совокупности таких факторов обусловлена формированием целей на основе полученных данных.

Ключевые слова: SWOT-анализ, лесные технологии, лесной комплекс, лесопромышленное предприятие

Для цитирования: Уразова А. Ф., Мехренцев А. В. Анализ факторов, влияющих на развитие лесных технологий на территории Свердловской области // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 20–25.

Благодарности: работа выполнена в рамках выполнения госбюджетной темы FEUG-2020-0013.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE DEVELOPMENT OF FOREST TECHNOLOGIES IN THE SVERDLOVSK REGION

Alina F. Urazova¹, Andrey V. Mehrentsev²

^{1,2} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ urazovaaf@m.usfeu.ru

² mehrentsevav@m.usfeu.ru

Abstract. The article deals with the issue of forest technology development in the Sverdlovsk region. In order to draw up a strategic development plan, it is necessary to take into account many factors that have a direct and indirect impact on the functioning of both individual components and the entire complex as a whole. The need to analyze the totality of such factors is conditioned by the formation of objectives on the basis of the obtained data.

Keywords: SWOT-analysis, forest technology, forest complex, timber enterprise

For citation: Urazova A. F., Mehrentsev A. V. Analysis of factors influencing the development of forest technologies in the Sverdlovsk region // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. С. 20–25.

Acknowledgment: the work was carried out within the framework of the implementation of the state budgetary theme FEUG -2020-0013.

Свердловская область – крупнейший лесной регион Урала, общая площадь лесов на территории области по состоянию на 1 января 2018 года составляет 16 047,7 тыс. га – 82,6 % от общей площади области [1]. Потенциал лесного фонда области имеет резервы для увеличения объема заготовки древесины без ущерба для природных ресурсов. Наличие лесных ресурсов, развитой транспортной инфраструктуры, относительная близость рынков Средней Азии предопределили образование значительного числа крупных лесопромышленных производств, а также предприятий среднего и малого бизнеса [2]. В области реализуется 11 крупных приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов, направленных на решение ключевых задач развития отраслевого комплекса – внедрение интенсивных технологий, обеспечивающих комплексную переработку древесного сырья, рациональное и неистощительное использование лесов, повышение качества готового продукта.

На современном этапе развития и оценки результативности отрасли приобретают особое значение вопросы стратегического планирования развития лесных технологий. В Стратегии развития лесного комплекса в Российской Федерации на период до 2030 года определено, что лесной

комплекс сталкивается с определенными проблемами, требующими решения [3]. Именно наличие стратегии отраслевого развития позволит привлечь потенциальных инвесторов к реализации крупных лесопромышленных проектов и заинтересовать местных товаропроизводителей в развитии малого лесного предпринимательства.

Для составления стратегического плана развития следует учитывать множество факторов, которые оказывают прямое и опосредованное влияние на функционирование как отдельных составляющих, так и всего комплекса в целом. Необходимость анализа совокупности таких факторов обусловлена формированием целей на основе полученных данных.

В качестве инструмента анализа достаточно часто применяется SWOT-анализ, направленный на оценку сильных и слабых сторон [4].

Анализ факторов на основе построения матрицы SWOT-анализа перспектив лесопромышленного комплекса Свердловской области явился основой для выделения наиболее сильных и слабых сторон (табл. 1), а также возможностей и рисков (угроз) дальнейшего развития (табл. 2).

Таблица 1

Оценка сильных и слабых сторон деятельности лесного комплекса Свердловской области

Сильные стороны	Слабые стороны
<i>1</i>	<i>2</i>
Обеспеченность лесными ресурсами	Недостаточная развитость транспортной инфраструктуры на лесных землях
Реализация практики приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов	Присутствие в отрасли «гигантов», игнорирующих интересы субъектов малого и среднего предпринимательства, занятых в лесной отрасли
Известность предприятий региона на рынке лесопroduкции Российской Федерации и за рубежом	Нехватка высококвалифицированных профильных специалистов для работы в крупном, среднем и малом бизнесе
Выгодное географическое положение	Недостаточная точность государственного учета лесов, значительный объем неиспользуемых лесосырьевых ресурсов на землях лесного фонда на территории региона
Наличие крупных лесопереработчиков, высокий уровень кооперации в отрасли	Недостаточная оснащенность предприятий, специализирующихся на лесозаготовке и транспортировке круглого леса, современной высокопроизводительной техникой
Обновление техники для лесозаготовок	Недостаточная для развития экспорта доля лесных земель, на которых проведена добровольная лесная сертификация

Окончание табл. 1

1	2
Выпуск широкого ассортимента качественной продукции	Истощение эксплуатационных запасов хвойных насаждений в лесах транспортной доступности
Наличие институтов профильных работодателей	Устаревшие технологии лесопереработки с высокой долей отходов производства, не используемых в дальнейшей переработке
Наличие профильных образовательных учреждений	Низкая доля предприятий, перерабатывающих древесные отходы
–	Недостаточный уровень и неравномерность освоения лесосырьевых ресурсов
–	Ограниченные возможности получения лизинговых услуг
–	Низкая доля заготовки древесины в труднодоступных районах
–	Низкий уровень освоения расчетной лесосеки
–	Наличие незаконных рубок
–	Низкое качество производственной и дорожно-транспортной инфраструктуры, затрудняющее освоение новых участков лесного фонда
–	Несовершенство и нестабильность законодательства в сфере регулирования лесных отношений
–	Высокий уровень энерго- и материалоемкости производства и опережающий рост цен на продукцию и тарифов на услуги

Таблица 2

Оценка возможностей и угроз лесного комплекса
Свердловской области

Возможности	Угрозы
1	2
Совершенствование использования лесов путем перехода на интенсивную модель ведения лесного хозяйства	Обстоятельства природного характера (лесные пожары, наводнения, ураганы)
Разработка и реализация программ подготовки, переподготовки и повышения квалификации отраслевых кадров	Нестабильная экономическая обстановка
Размещение крупных лесных инвестиционных проектов с привлечением металлургических холдингов-эксортёров	Зависимость от импортной техники (запчасти и комплектующие, дорогое обслуживание)

1	2
Создание биоэнергетических и лесохимических производств на основе термической переработки древесных отходов и низкосортной древесины	Ухудшение качества лесных ресурсов
Наличие практики глубокой переработки низкосортной древесины	Конкуренция со стороны соседних регионов
Высокая мобильность и адаптивность малых организационных форм к изменениям рыночной конъюнктуры и сезонному характеру отдельных видов деятельности в лесном секторе экономики	Снижение логистической эффективности при отказе от применения УЖД и возможностей водного транспорта
Интерес лесопользователей к перспективам перехода от экстенсивной модели освоения лесов к интенсивному использованию	–
Создание лесопромышленных кластеров на основе развития кооперации	–
Внедрение инновационных технологий в лесном хозяйстве и лесоустройстве	–
Создание карбонового полигона	–

Проведенный комплексный анализ сильных и слабых сторон показал, что Свердловская область обладает хорошими рыночными возможностями для повышения эффективности своей деятельности путем выхода на новые рынки и сегменты сбыта, целевой ориентации на конкретных потребителей, увеличения спроса путем более активного продвижения продукции, расширения торговли, увеличения внутреннего потребления древесной продукции, повышения транспортной доступности лесных ресурсов и освоения новых видов транспорта, формирования лесопромышленного кластера области.

Однако следует учитывать имеющиеся угрозы, предвидеть их возникновение и свести до минимума потери от их появления. Все это следует учитывать при выборе оптимальных стратегий развития лесопромышленного комплекса на перспективу.

Реализация стратегии развития лесных технологий возможна при реализации мер нефинансовой поддержки предприятий [5], что позволит снизить угрозы и наиболее эффективно реализовать имеющиеся возможности.

Наличие плана устойчивого развития лесопромышленного комплекса стимулирует предприятия к дальнейшему эффективному развитию. Конкурентные преимущества получают те предприятия, которые избирают правильную схему поведения на рынке, соизмеряя собственные возможности с внешними угрозами, анализируя свои сильные и слабые стороны, т. е. реализуя принципы стратегического управления.

Список источников

1. Лесной план Свердловской области на 2019–2028 годы, утвержденный указом губернатора Свердловской области от 18.09.2019 № 450-УГ.
2. О рациональной производственной структуре регионального лесопромышленного комплекса Свердловской области в контексте цифровых технологий / А. В. Мехренцев, Г. П. Бутко, Э. Ф. Герц, А. Ф. Уразова, Е. Н. Стариков // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1 (49). – С. 72–77.
3. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 г. № 1989-р // Председатель Правительства Российской Федерации Д. А. Медведев. – URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (дата обращения: 06.04.2022).
4. Стратегический анализ: современная концепция менеджмента : учебное пособие для высшего профессионального образования / С. А. Измалкова и др. – Орел : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – 315 с.
5. Мехренцев А. В., Уразова А. Ф. Меры государственной поддержки предприятий лесопромышленного комплекса в контексте перехода на интенсивную модель ведения лесного хозяйства на Урале // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : сб. тр. XVI Межд. Евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2021. – С. 4–8.

References

1. Forest plan of the Sverdlovsk region for 2019-2028, approved by decree of the governor of the Sverdlovsk region dated 18.09.2019 № 450-UG.
2. On the rational production structure of the regional timber industry of the Sverdlovsk region in the context of digital technologies / A. V. Mehrentsev, G. P. Butko, E. F. Hertz, A. F. Urazova, E. N. Starikov // Systems. Methods. Technologies. – 2021. – № 1 (49). – P. 72–77.
3. Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030: Order of the Government of the Russian Federation of 20.09.2018 No. 1989-r // Chairman of the Government of the Russian Federation D. A. Medvedev. – URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (date of appeal: 06.04.2022).
4. Strategic analysis: modern management concept: a textbook for higher professional education / S. A. Izmalkova [et al.]. Eagle: FSBEI HPE «State University – UNPK», 2013. – 315 p.
5. Measures of state support for enterprises of the timber industry in the context of the transition to an intensive model of forestry in the Urals / A. V. Mehrentsev, A. F. Urazova // In the collection : WOODWORKING: TECHNOLOGIES, EQUIPMENT, MANAGEMENT OF THE 21st CENTURY. proceedings of the XVI International Eurasian Symposium. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, UGLTU. – Yekaterinburg, 2021. – P. 4–8.

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 26–31.
Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 26–31.

Научная статья
УДК 674.05

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Анастасия Юрьевна Чевардина

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия
anis401@ya.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены различные виды информационных технологий, применяемых на предприятиях по деревообработке и сушке пиломатериалов. Особенно популярными решениями служат лазерное сканирование и обработка материалов с помощью алгоритмов нейронной сети.

Ключевые слова: информационные технологии, информационная система, пиломатериалы, промышленность

Для цитирования: Чевардина А. Ю. Информационные технологии в деревообрабатывающей промышленности // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века.* 2022. С. 26–31.

Original article

INFORMATION TECHNOLOGY IN THE WOODWORKING INDUSTRY

Anastasia Yu. Chevardina

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia
anis401@ya.ru

Abstract. This article discusses various types of information technologies used in woodworking and lumber drying enterprises. Particularly popular solutions are laser scanning and material processing using neural network algorithms.

Keywords: information technologies, information system, lumber, industry

For citation: Chevardina A. Yu. Information technologies in the woodworking industry // *Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century.* 2022. P. 26–31.

Каждое предприятие в условиях рыночной экономики стремится повысить прибыль от реализации своей продукции и снизить затраты, сопровождающие его деятельность. Для этих целей разработано множество методов, принципов и технологий. В данной статье рассмотрено применение различных современных информационных технологий для перевешивания производственного равновесия в пользу производителя. Особенно популярными техническими решениями служат лазерное сканирование, обработка материалов с помощью алгоритмов нейронной сети, симуляция производственного процесса и его автоматизация.

Так, немецкая компания Weinig производит сканер древесины Luxscan CombiScan Sense – сканер с элементами искусственного интеллекта, базирующегося на использовании метода обработки изображений, основанном на «глубоком обучении». Система позволяет диагностировать пороки и отражает ход волокон, что в совокупности оптимизирует процесс распила древесины. Скорость работы сканера CombiScan Sense заявлена 60 досок в минуту [1].

Другая фирма RemaSawco, оптимизирующая производство пиломатериалов использует технологии искусственного интеллекта, с помощью которого автоматизирует и анализирует процесс лесопиления. Данная технология полностью интегрирована в производство и работает в режиме реального времени, что позволяет контролировать движение каждого бревна по этапам производственного цикла, собирая и систематизируя информацию о внешних параметрах и внутренних характеристиках объекта труда [2].

Санкт-Петербургская фирма ООО «Эвоматикс» представляет систему вибромониторинга уровня вибрации машин, узлов производственных линий, а также станков. На оборудование устанавливаются специальные датчики, отслеживающие ритм, громкость и другие акустические характерные параметры хода работы оборудования. Полученная информация обрабатывается с помощью программного обеспечения и поступает оператору в виде заключения о текущем состоянии техники, а также прогноз ее службы. Таким образом, предотвращаются безвозвратный износ деталей, аварии на линии производства и уменьшаются плановые проверки по тестированию [3].

Другим менее элегантным, но не менее эффективным решением по защите оборудования от непредвиденных поломок служит металлодетектор. Прибор устанавливается на раме с лентой транспортера и позволяет выявить инородные тела, которые могут присутствовать в бревнах.

ООО «НПФ Техпромсервис» предлагает усовершенствование линии транспортера использованием 2D или 3D-сканеров. Информация об отсканированном пиловочнике поступает в базу данных, которая учитывает данные по смене, партии и сортировке материала. Затем формируется отчетная документация [4].

Шведская фирма Valutec разработала систему управления Valmatics 4.0, которая симулирует процесс сушки пиломатериалов. При помощи мультиплатформенного симулятора, в который внесены данные множественных измерений для точного расчета хода сушки, происходит имитация действующего процесса сушки материала [5]. В ходе симуляции технология моделирования Valusim позволяет отлаживать систему по каждому параметру.

Отечественная учебно-научная лаборатория измерительной техники и автоматизации из города Томска представляет систему полного автоматического управления сушильными конвективными камерами пиломатериала. Система предусматривает библиотеку режимов автоматической сушки разных пород деревьев и ведение архива проведенных сушек. Присутствуют алгоритм действий при самопроизвольном возгорании камеры сушки и самодиагностика оборудования [6].

Другой российской разработкой является технология машинного обучения сеgezского ЦБК Segezha Group для измерения плотного объема круглого леса и коэффициента полнодревесности с точностью до 99 %. Принцип работы системы состоит в том, что на раме контрольно-пропускного пункта происходит фиксация множества снимков груза прибывшего лесовоза. Затем снимки поступают в нейронную сеть для анализа изображений. В итоге оператору поступает информация о конкретных пачках с указанием данных (породы, качества, диаметра), полученных в автоматизированном режиме [7].

Навигационная система Log Yard Control финской компании Finnos служит инструментом управления складом лесоматериала. Программное обеспечение основывается на изображении карты и схемы площадки круглых лесоматериалов, также отражает актуальную информацию об уровне заполнения отсеков бревнами. Кроме того система анализирует движения погрузчика и оптимизирует маршрут, что увеличивает эффективность работы склада [8].

Системы поддержки принятия управленческих решений широко используются во всех сферах производства, в том числе на предприятиях лесопромышленного комплекса. Технология СППР внедрена на производства лесопильных и фанерных предприятий, а также в процесс планирования логистических операций по поставке готовой продукции. Применение информационной системы позволяет учитывать количественные и качественные ограничения пула заказчиков, что позволяет адекватно использовать производственные мощности и рационально расходовать сырье [9].

Выводы. Наиболее современные информационные технологии используются в процессах распила лесоматериала для увеличения показателей эффективности, снижения брака продукции, поломок оборудования

и человеческого фактора. Самыми популярными информационными технологиями являются системы искусственного интеллекта. Так чаще всего с помощью камер, датчиков или сканеров формируется массив данных, который обрабатывается нейронной сетью. Мы это видим в технологии Luxscan CombiScan Sense (немецкого сканера с элементами ИИ), оборудовании для лесопиления фирмы RemaSawco или технологии машинного обучения для измерения плотного объема круглого леса от сегежского ЦБК Segezha Group. Следует отметить развитие систем по автоматизации и симуляции процесса сушки пиломатериалов. Примерами данного направления служат система управления Valmatics 4.0, которая симулирует процесс сушки пиломатериалов, и система полного автоматического управления сушильными конвективными камерами пиломатериала томской учебно-научной лаборатории измерительной техники и автоматизации. Помимо этого производители пиломатериалов стараются снизить издержки за счет защиты оборудования от посторонних предметов и своевременной диагностики, которую предлагают обеспечить металлодетекторы на раме или вибромониторинг. К сожалению, многие описания информационных технологий, используемых в производстве пиломатериалов, довольно скудные и ограничены упоминанием о том, что используется программное обеспечение. Поэтому сложно давать развернутую оценку применению той или иной технологии в производстве продуктов деревообработки. Но даже по имеющейся в открытом доступе информации можно заключить, что использование нейронных сетей, баз данных, систем мониторинга и автоматизации способствуют повышению эффективности использования сырья, увеличению скорости приемки, классификации и обработки лесоматериала, снижению человеческого фактора и минимизации прямого участия сотрудников во всех этапах производства, а также сокращение амортизационных издержек за счет усиленного контроля за оборудованием.

Список источников

1. Weinig Luxscan CombiScan Sense – сканер с элементами искусственного интеллекта // ЛПК Сибири: офиц. портал. – URL: https://lpk--sibir.ru.turbopages.org/lpk-sibiri.ru/s/equipment/sawmill-equipment/weinig-luxscan-combiscan-sense/?utm_source=turbo_turbo (дата обращения: 9.05.2022).

2. Новое поколение лесопильных технологий digital sawmil от № 6 (144) 2019 RemaSawco // «ЛесПромИнформ» специализированный информационно-аналитический журнал. – 2019. – № 6 (144). – С. 80–81.

3. Evomatics. Решения. Вибромониторинг // Evomatics: офиц. портал. – URL: <https://www.evomatics.ru/solutions/evocontrol-monitoring-raboty-oborudovaniya/vibromonitoring/> (дата обращения: 9.05.2022).

4. 3D-сканер в лесопилении – точность измерений и формирование отчетов // ЛПК Сибири: офиц. портал. – URL: <https://lpk--sibiri-ru.turbopages.org/lpk-sibiri.ru/s/equipment/derevoobrabotka/3d-skaner-v-lesopilenii-tochnost-izmerenij-i-formirovanie-otchyotov/> (дата обращения: 9.05.2022).

5. Valutec. Продукция. Система управления. Valmatics // Valutec: офиц. портал. – URL: <https://www.valutec.ru/products/control-system/valmatics/> (дата обращения: 11.05.2022).

6. УНЛ ИТА. Автоматизация управления сушкой древесины: автоматика для сушильных камер // УНЛ ИТА: офиц. портал. – URL: <https://esd70.ru> (дата обращения: 11.05.2022).

7. Proderevo. Лесная отрасль. Лесная промышленность получила компьютерное зрение // Proderevo: офиц. портал. – URL: <https://proderevo-net.turbopages.org/proderevo.net/s/news/corp/lesnaya-promyshlennost-poluchila-komp-yuternoe-zrenie.html> (дата обращения: 12.05.2022).

8. Finnos. Системы управления площадками для складирования круглых лесоматериалов // Finnos: офиц. портал. – URL: <https://www.finnos.fi/ru/our-solutions/log-yard-control-systems> (дата обращения: 12.05.2022).

9. Павлов А. Повышение эффективности работы лесозаготовительных и лесопильных предприятий // ЛесПромИнформ: специализированный информационно-аналитический журнал. – 2019. – № 7 (145). – С. 80–81.

References

1. LPK Siberia. Weinig Luxscan CombiScan Sense – scanner with elements of artificial intelligence // LPK Siberia: ofits. portal. – URL: https://lpk--sibiri-ru.turbopages.org/lpk-sibiri.ru/s/equipment/sawmill-equipment/weinig-luxscan-combiscan-sense/?utm_source=turbo_turbo (accessed date: 9.05.2022).

2. The new generation of sawmill technologies digital sawmil from RemaSawco // «LesPromInform» specialized information and analytical journal. – № 6 (144). – 2019.

3. Evomatics. Solutions. Vibromonitoring//Evomatics: official. portal. – URL: <https://www.evomatics.ru/solutions/evocontrol-monitoring-raboty-oborudovaniya/vibromonitoring/> (accessed date: 9.05.2022).

4. LPK Siberia. 3D scanner in sawmill – accuracy of measurements and formation of reports // LPK Siberia: ofits. portal. – URL: <https://lpk-sibiri-ru.turbopages.org/lpk-sibiri.ru/s/equipment/derevoobrabotka/3d-skaner-v-lesopilenii-tochnost-izmerenij-i-formirovanie-otchyotov/> (accessed date: 9.05.2022).

5. Valutec.Product. Control system. Valmatics // Valutec : official. portal. – URL: <https://www.valutec.ru/products/control-system/valmatics/> (accessed date: 11.05.2022).

6. UNL ITA. Automation of wood drying control: automation for drying chambers // UNL ITA : office. portal. – URL: <https://esd70.ru> (accessed date: 11.05.2022).

7. Proderevo. Forest industry. The forestry industry received computer vision // Proderevo: ofitz. portal. – URL: <https://proderevo-net.turbopages.org/proderevo.net/s/news/corp/lesnaya-promyshlennost-poluchila-komp-yuternoe-zrenie.html> (accessed date: 12.05.2022).

8. Finnos. Site management systems for round timber storage. Finnos : ofitz. portal. – URL: <https://www.finnos.fi/ru/our-solutions/log-yard-control-systems> (accessed date: 12.05.2022).

9. Pavlov A. Improving the efficiency of logging and sawmill enterprises «LesPromInform» specialized information and analytical journal. – № 7 (145). – 2019. – P. 80–81.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЗАГОТОВКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ОТДЕЛКЕ ДРЕВЕСИНЫ

NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN WOOD HARVESTING, PROCESSING AND FINISHING

Научная статья
УДК 674.07

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ, ОБРАЗОВАННОГО НА ДРЕВЕСИНЕ ЭПОКСИДНОЙ ЛАКОКРАСОЧНОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ

**Карина Антоновна Башкирова¹, Максим Владимирович Газеев²,
Алексей Владиславович Свиридов³, Татьяна Ивановна Маслакова⁴**

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ Karinagumbert90@gmail.com

² gazeev_m@list.ru

^{3,4} avs1972@mail.ru

Аннотация. В статье приведены физико-механические свойства защитно-декоративного покрытия, формируемого лакокрасочной композицией на основе эпоксидной смолы, а также приведено исследование ее химического состава методом инфракрасной спектроскопии.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, защитно-декоративные покрытия, спектроскопия, лакокрасочные композиции

Для цитирования: Башкирова К. А., Газеев М. В., Свиридов А. В., Маслакова Т. И. Исследование свойств защитно-декоративного покрытия, образованного на древесине эпоксидной лакокрасочной композицией // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 32–39.

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF A PROTECTIVE AND DECORATIVE COATING FORMED ON WOOD BY AN EPOXY PAINT COMPOSITION

**Karina A. Bashkirova¹, Maxim V. Gazeev²,
Alexey V. Sviridov³, Tatyana I. Maslakova⁴**

¹⁻⁴ Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ Karinagumbert90@gmail.com

² gazeev_m@list.ru

^{3,4} avs1972@mail.ru

Abstract. The article presents the physical and mechanical properties of a protective and decorative coating formed by a paint composition based on epoxy resin, as well as a study of its chemical composition by infrared spectroscopy.

Keywords: paint and varnish materials, protective and decorative coatings, spectroscopy, paint and varnish compositions

For citation: Bashkirova K. A., Gazeev M. V., Sviridov A. V., Maslakova T. I. Investigation of the properties of a protective and decorative coating formed on wood by an epoxy paint composition // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 32–39.

Внешний вид изделий из древесины и древесных материалов во многом определяется качеством отделки. В настоящее время для отделки применяют различные лакокрасочные материалы (ЛКМ), выбор которых зависит от многих требований, предъявляемых к формируемому защитно-декоративному покрытию (ЗДП) и условиям его эксплуатации.

Ассортимент современных жидких ЛКМ, представленных на рынке, очень широк, несмотря на это, все еще существует потребность в создании новых лакокрасочных композиций, обладающих высокими защитными и декоративными свойствами, а также технологичностью, что обеспечит формирование ЗДП с нужным комплексом свойств. В зависимости от типа пленкообразующего вещества лакокрасочные составы подразделяются на группы. Выбор группы ЛКМ по химической природе пленкообразователя зависит от технологических возможностей производства, желаемых физико-механических и декоративных свойства получаемого покрытия [1].

На кафедре механической обработки древесины и производственной безопасности совместно с кафедрой химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов Уральского государственного лесотехнического университета ведется разработка новой лакокрасочной композиции (ЛКК) на основе эпоксидной смолы для отделки изделий из древесины и древесных материалов.

Разрабатываемая ЛКК на основе эпоксидных смол должна обладать следующими свойствами: пониженной вязкостью для обеспечения лучшего розлива и глубокого проникновения ЛКМ в поверхностный слой древесины; высокой смачивающей способностью к поверхности древесины; минимально возможным временем пленкообразования на поверхности древесины (не более 120 минут) без значительно объемной усадки и внутренних напряжений; содержать высокий сухой остаток в рабочей вязкости (не менее 60 %); формировать равномерное, тиксотропное покрытие; обладать высокими декоративными качествами, а также обеспечивать высокие показатели твердости, эластичности, абразиво-, морозо-, тепло- и водостойкости и химостойкости.

Разрабатываемая ЛКК состоит из основы в виде эпоксидной смолы на основе бисфенола А (4,4 – диоксифенилпропана – 2,2) – (ЭСБА) [2], отвердителя аминного типа ОТ-2, ускорителя также аминного типа УС-1, пластификатора неиногенное ПАВ ОП-7.

В соответствии с методикой, изложенной в литературных источниках [3], были проведены экспериментальные исследования по оценке качества разрабатываемого лакокрасочного материала на основе эпоксидной смолы, а также сформированного им защитно-декоративного покрытия. В результате исследований были получены следующие показатели свойства жидкого лакокрасочного материала:

- Показатель преломления: 1,49–1,55;
- Вязкость ЛКМ: 30–40 с, есть возможность регулирования;
- Расход ЛКМ: 130–150 г/м²;
- Розлив: удовлетворительный во всех составах, где присутствует ПАВ;
- Показатель сухого остатка зависит от соотношения поздней и ранней древесины на обрабатываемом участке. На 1-й слой – 30–50 %, на 2-й слой – 80 %.

В результате проведенных исследований были получены значения выходных параметров ЛКК, после статистической обработки результатов была найдена оптимальная рецептура ее компонентов. Выходные параметры качественных показателей ЗДП, сформированного на основе разработанной ЛКК представлены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 физико-механические показатели твердости, тепло- и водостойкости, а также адгезионной прочности к древесной подложке позволяют сделать вывод о высоких защитных свойствах полученного ЗДП. Химическая природа пленкообразователя ЛКК обеспечивает полученные характеристики. Для полного подтверждения химической природы и определения полученных после отверждения смолы химических связей необходимо проведение исследования. Химический состав жидкого ЛКМ и твердых покрытий можно определить методом инфракрасной (ИК) спектроскопии по характеристическим полосам поглощения, свойственным конкретным функциональным группам, присутствующим в материале [4].

Таблица 1

Выходные параметры оптимального состава лакокрасочного покрытия
на основе эпоксидной смолы

Выходной параметр	Значение параметра
Толщина ЗДП, мкм	165,0
Время высыхания ЗДП, мин	80,0–120,0
Гибкость по шкале гибкости, (диаметр стержня, мм)	10,0
Твердость по маятниковому прибору М-3, усл. ед.	0,67
Прочность на удар на приборе У-1а (<i>h</i> падения 1 кг), см	30,0
Склерометрическая твердость ЗДП, Н	1,55
Теплостойкость ЗДП	удовлетворительно
Влагопоглощение ЗДП	удовлетворительно
Адгезия ЗДП к древесине	0 баллов

Регистрацию ИК-спектров поглощения вели на ИК-Фурье спектрометре Iраffinity-1S (рис. 1), работающим на программном обеспечении LabsolutionIR. ЛКП срезали резцом с образцов на деревянных подложках, перетирали ЛКП проводили в ступке, прессование ЛКП в таблетку производили на гидравлическом прессе Sресас с добавлением соли бромид калия.



Рис. 1. Спектрометр Iраffinity-1S

В результате проведенного анализа полученного спектра были идентифицированы основные функциональные группы разработанной ЛКК в сравнении с эталоном эпоксидной смолы. Идентификация проводилась по справочнику ИК-спектров основных классов органических соединений [5]. Результаты проведенного анализа сведены в табл. 2, графики выявленных пиков поглощений представлены на рис. 2–5.

Характеристика ИК-спектров веществ

№	Характеристические пики поглощения разработанной ЛКК, см ⁻¹	Группы веществ, соответствующие пикам поглощения
1	750	Соответствуют группам С-О-С эпоксидной смолы
2	827	
3	1040	
4	1191	
5	1251	
6	1630–1680	Аминная группа
7	2330	R ₃ NH ³
8	1700–1720	Карбоксильные группы

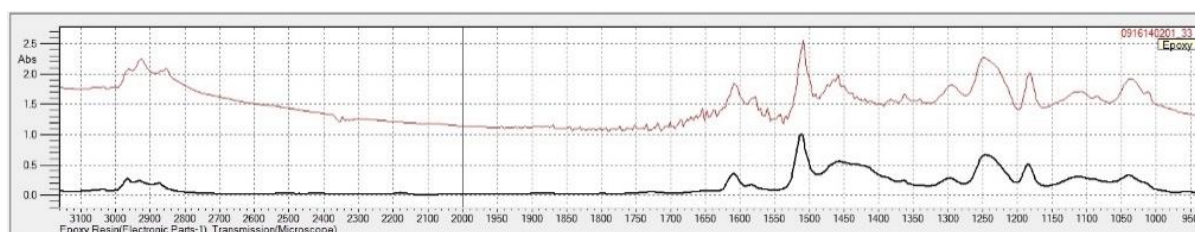


Рис. 2. ИК-спектр ЗДП, полученного на основе разработанной ЛКК (верхняя линия спектра); ИК-спектр эталона эпоксидной смолы из библиотеки спектрометра Irapinity-1S (нижняя линия спектра)

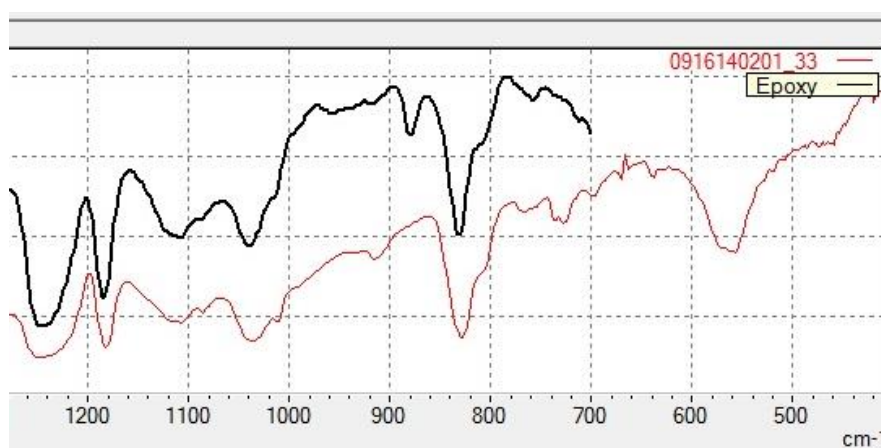


Рис. 3. ИК-спектр ЗДП, полученного на основе разработанной ЛКК (верхняя линия спектра); ИК-спектр эталона эпоксидной смолы из библиотеки спектрометра Irapinity-1S (нижняя линия спектра). Приближены пики поглощения на частотах 1251–750 см⁻¹, соответствующие эпоксидным группам веществ

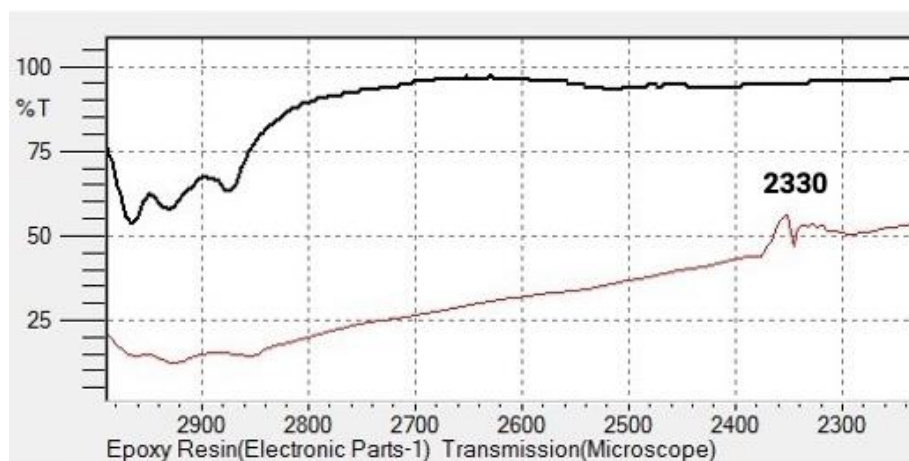


Рис. 4. ИК-спектр ЗДП, полученного на основе разработанной ЛКК (верхняя линия спектра); ИК-спектр эталона эпоксидной смолы из библиотеки спектрометра Iraffinity-1S (нижняя линия спектра). Приближен пик поглощения R_3NH^3

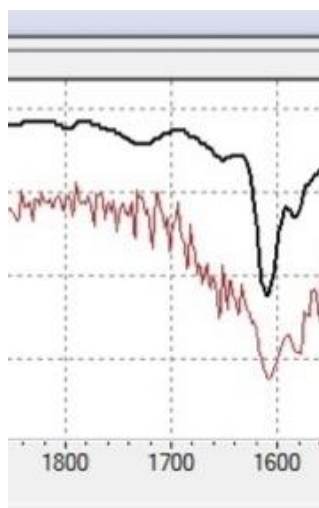


Рис. 5. ИК-спектр ЗДП, полученного на основе разработанной ЛКК (верхняя линия спектра); ИК-спектр эталона эпоксидной смолы из библиотеки спектрометра Iraffinity-1S (нижняя линия спектра). Приближены пики поглощения карбоксильных групп на частоте $1700-1720\text{ см}^{-1}$ и аминных групп на частоте $1630-1680\text{ см}^{-1}$

Симметричные валентные колебания кольца С-О-С эпоксидной смолы подтверждаются пятью пиками поглощения на частотах 750, 827, 1040, 1191, 1251 см^{-1} . Пики поглощения в диапазоне частот $1630-1680\text{ см}^{-1}$ соответствуют аминным группам отвердителя, входящего в состав разработанной ЛКК. Малый пик в частоте 2330 см^{-1} соответствует группам R_3NH_3 , присутствующим в отвердителе ОТ-1.

Поскольку в области частот $2000-1600\text{ см}^{-1}$ все ароматические соединения имеют группу слабых полос, то наблюдаемые в нашем случае пики данного диапазона могут соответствовать бисфенольным группам эпоксидной смолы ЛКК.

Малые пики поглощения в области спектра 1700–1720 см⁻¹ соответствуют карбоксильным группам. Наличие данных групп позволяет сделать вывод о формировании химических связей эпоксидного покрытия с древесиной, что обеспечивает высокую адгезионную прочность формируемого ЗДП. С помощью ИК-спектроскопии подтвердили химическую природу разработанного ЛКМ. Малые пики поглощения в области спектра 1700–1720 см⁻¹ не наблюдаются на эталоне смолы, но присутствуют на спектре исследуемой ЛКК. Данные пики соответствуют карбоксильным группам древесины, отвечающим за адгезионное взаимодействие с композицией.

Пики поглощения на частотах 3200–3500 см⁻¹, соответствующие гидроксильным группам –ОН (ПАВ), не обнаружены, что объясняется их малым количеством в ЛКК.

Таким образом, исследование химических связей, формируемых в покрытии методом ИК-спектроскопии, подтвердили химически состав полученной ЛКК, а наличие пиков поглощения (в области спектра 1700–1720 см⁻¹) соответствует карбоксильным группам, что свидетельствует об образовании химических связей с целлюлозой древесины и позволяет сделать вывод о высокой адгезии полученного покрытия.

Список источников

1. Bashkirova K. A., Gazeev M. V., Sviridov A. V. Features of planning an experiment to develop a new paint and varnish composition for the formation of protective and decorative coatings on wood products. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 949 (2022). DOI:10.1088/1755-1315/949/1/012065.

2. Мошинский Л. Я. Эпоксидные смолы и отвердители. – Тель-Авив : Аркадия пресс Лтд, 1995. – 370 с.

3. Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М. : Химия, 1988. – 272 с.

4. Газеев М. В., Жданова И. В. Исследование химического состава лакокрасочного покрытия, образованного ВД-АК ЛКМ на древесине под влиянием ионизированного воздуха // Леса России и хозяйство в них. – 2013. – С. 36–39.

5. Тарасевич Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. – М. : МГУ, 2012. – 55 с.

References

1. Bashkirova K. A., Gazeev M. V., Sviridov A. V. Features of planning an experiment to develop a new paint and varnish composition for the formation of protective and decorative coatings on wood products. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 949 (2022). DOI:10.1088/1755-1315/949/1/012065.

2. Moshinsky L. Ya. Epoxy resins and hardeners. – Tel Aviv : Arcadia Press Ltd, 1995. – 370 p.
3. Karjakina M. I. Testing of paints and coatings. – M. : Chemistry, 1988. – 272 p.
4. Gazeev M. V., Zhdanov I. V. Study of the chemical composition of the paint coating formed by VD-AK LKM on wood under the influence of ionized air // Forests of Russia and their economy. – 2013. – P. 36–39.
5. Tarasevich B. N. IR spectra of the main classes of organic compounds : Moscow State University, 2012. – 55 p.

Научная статья
УДК 674.817-41

ФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-ТОРФЯНОГО ПЛИТНОГО МАТЕРИАЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Полина Андреевна Бекк¹, Ирина Валерьевна Яцун²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ bekkra@m.usfeu.ru

² yatsuniv@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье предложена технология изготовления композиционного плитного материала на основе таких недорогих, доступных и безопасных материалов, как древесная стружка и верховой торф, что позволяет решать вопросы утилизации и переработки отходов деревообработки. Представлены результаты исследований по определению физико-механических и теплоизоляционных разработанных материалов в зависимости от процентного содержания торфа в древесно-клеевой композиции.

Полученный материал предлагается использовать в гражданском и промышленном строительстве для устройства и изоляции ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий.

Ключевые слова: древесно-торфяная плита, композиционная древесно-торфяная плита, теплоизоляционный материал на основе отходов древесины, плиты для утепления, теплоизоляционные свойства древесно-торфяной плиты, древесный композит

Для цитирования: Бекк П. А., Яцун И. В. Формирование древесно-торфяного плитного материала и исследование его свойств // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 40–47.

FORMATION OF WOOD-PEAT PLATE MATERIAL AND THE STUDY OF ITS PROPERTIES

Polina A. Bekk¹, Irina V. Yatsun²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ bekkpa@m.usfeu.ru

² yatsuniv@m.usfeu.ru

Abstract. The article proposes a technology for manufacturing composite slab material based on such inexpensive, affordable and safe materials as wood chips and peat, which allows solving the issues of recycling and recycling of woodworking waste. The results of research on the determination of the physicomechanical and thermal insulation properties of the developed material depending on the percentage of peat in the wood-glue composition are presented. The resulting material is proposed to be used in civil and industrial construction for the installation and insulation of enclosing structures of residential, public and industrial buildings.

Keywords: wood-peat slab, composite wood-peat slab, thermal insulation material based on wood waste, insulation boards, thermal insulation properties of wood-peat slab, wood composite

For citation: Bekk P. A., Yatsun I. V. Formation of wood-peat plate material and the study of its properties // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 40–47.

Известно, что процессы заготовки и механической обработки древесины сопровождаются большими потерями. Образующиеся отходы как правило не находят должного применения и либо сжигаются, либо вывозятся в отвалы. Расточительное использование древесины приводит к уничтожению природных ресурсов и созданию неблагоприятной экологической обстановки [1]. Поэтому задача рационального использования древесины решается путем нахождения методов ее полезной переработки [1, 2].

Отходы механической переработки древесины являются ценным сырьем для производства товарной продукции. В настоящее время одним из перспективных направлений использования таких отходов является создание композиционных плитных материалов, в которых отходы деревообработки используется в качестве каркасообразующего элемента, а в качестве наполнителя – разнообразные материалы. Таким образом, путем

замены наполнителя можно заранее задавать определенные свойства формируемому материалу (прочностные, теплоизоляционные, повышенную водо-, огнестойкость и др.).

Для придания теплоизоляционных свойств в качестве наполнителя в конструкции плитных материалов можно использовать торф [3]. Этому способствуют такие его свойства, как низкие показатели теплопроводности и плотности, а также антисептичность, биостойкость и т. д. [4].

На кафедре МОДиПБ УГЛУТУ был получен плитный композиционный материал, в котором в качестве каркасообразующего использовалась древесная стружка, а наполнителем являлся верховой торф. В качестве связующего использовался клей на основе малотоксичной карбамидоформальдегидной смолы КФ-МТ-15 (М) (ТУ 2423-003-79102376-2006). Отвердителем являлся хлористый аммоний, который добавлялся в смолу в количестве 1 % от количества связующего (ГОСТ 2210-73).

В эксперименте использовалась древесная стружка сосны влажностью 8 ± 2 %, имеющая следующий ситевой состав: свыше 10 мм – 12,2 %; 10–7 мм – 22,68 %; 7–5 мм – 23,24 %; 5–3 мм – 18,42 %; 3–2 мм – 10,04 %; 2–1 мм – 7,78 %; пыль – 7,4 % и верховой торф (степень разложения от 5 до 12 %): свыше 10 мм – 5,26 %; 10–7 мм – 2,48 %; 7–5 мм – 7,4 %; 5–3 мм – 10,92 %; 3–2 мм – 9,78 %; 2–1 мм – 14,72 %; пыль – 46,96 %.

Целью исследований являлось определение влияния процентного содержания торфа в древесно-клеевой композиции на теплоизоляционные и физико-механические свойства получаемого плитного материала.

Процентное содержание компонентов древесно-клеевой композиции представлено в табл. 1.

Таблица 1

Состав древесно-клеевой композиции

№ п/п	Наименование компонента	Процентное содержание компонентов в плите		
1	Связующее	22	22	22
2	Древесная стружка	43	38	33
3	Торф	35	40	45
Итого		100	100	100

Формирование древесно-торфяных плит осуществлялось с предварительной холодной подпрессовкой с последующим горячим прессованием на поддонах с использованием дистанционных планок. Режимные параметры прессования древесно-торфяных плит приведены в табл. 2.

Таблица 2

Режимные параметры прессования древесно-торфяных плит

Параметр	Единица измерения	Значение
Температура плит пресса	°С	150 ± 5
Давление прессования	МПа	2,2 ± 0,4
Размеры образцов:		
– ширина	мм	330 ± 5
– толщина	мм	21 ± 0,1
– длина	мм	330 ± 5
Длина и ширина плиты	мм	330 × 330
Влажность стружечно-торфяной смеси (определялась весовым методом)	%	12 ± 0,5
Продолжительность прессования под давлением	мин	5 ± 1
Продолжительность сброса давления	мин	5 ± 1
Плотность плиты	кг/м ³	500
Технологическая выдержка	ч	24

Лабораторные образцы полученных древесно-торфяных плит представлены на рис. 1.



Рис. 1. Лабораторные образцы древесно-торфяных плит

Результаты исследований и статистической обработки данных [3] приведены в табл. 3 и на рис. 2–5.

Таблица 3

Результаты исследований по определению влияния содержания торфа на теплоизоляционные и физико-механические свойства плиты

Содержание торфа, %	Номер образца			Среднее арифметическое, \bar{x}	Среднее квадратичное отклонение, S	Коэффициент вариации, v , %	Показатель точности, ξ	Ошибка среднего арифметического, S_S
	1	2	3					
Коэффициент теплопроводности, λ, Вт/(м·К) (ГОСТ 30256-94) [5]								
35	0,353	0,326	0,377	0,339	0,00018	0,054	0,031	$7,5 \cdot 10^{-5}$
40	0,444	0,458	0,461	0,454	0,00008	0,018	0,011	$3,4 \cdot 10^{-5}$
45	0,464	0,457	0,468	0,463	0,00003	0,007	0,004	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Предел прочности при статическом изгибе, σ_u, МПа (ГОСТ 10635-88) [6]								
35	1,97	2,04	1,89	1,97	0,0056	0,29	0,165	0,0023
40	2,16	2,17	2,24	2,19	0,0019	0,09	0,05	0,00078
45	4,08	4,01	3,98	4,02	0,0026	0,07	0,038	0,00108
Водопоглощение, ΔW, % (ГОСТ 10634-88) [7]								
35	180	179	177	180	2,33	1,31	0,75	0,95
40	149	145	146	149	4,33	2,95	1,71	1,77
45	127	125	127	127	1,33	1,06	0,61	0,54
Разбухание по толщине, ΔS, % (ГОСТ 10634-88) [7]								
35	10,7	10,8	11,1	10,9	0,043	0,39	0,23	0,018
40	10,9	10,1	11,2	10,7	0,323	3,01	1,74	0,132
45	8,8	9,8	8,4	9,0	0,52	5,78	3,34	0,212

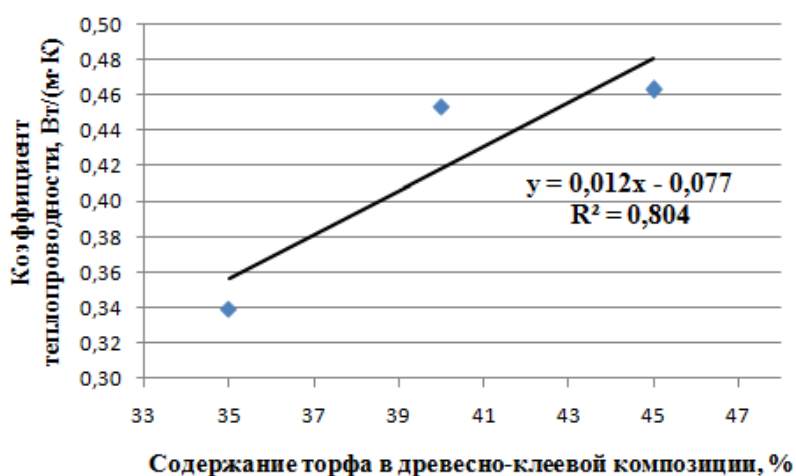


Рис. 2. Влияние содержания торфа в древесно-клеевой композиции на коэффициент теплопроводности плиты



Рис. 3. Влияние содержание торфа в древесно-клеевой композиции на предел прочности плиты при статическом изгибе

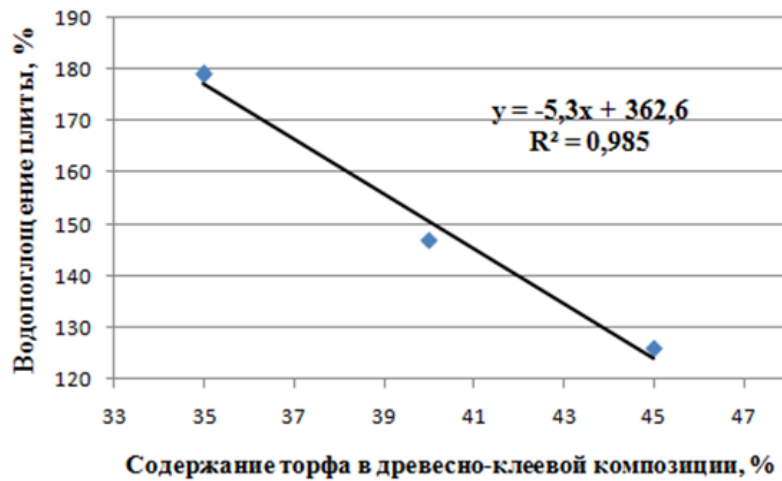


Рис. 4. Влияние содержание торфа в древесно-клеевой композиции на водопоглощение плиты

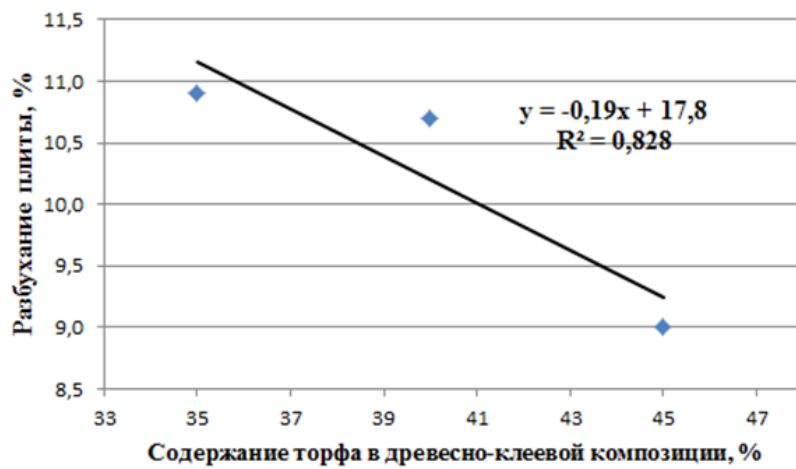


Рис. 5. Влияние содержание торфа в древесно-клеевой композиции на разбухание плиты

Выводы. На основании полученных результатов можно заключить:

1) с увеличением содержания наполнителя (верхового торфа) в древесно-клеевой композиции:

– понижаются теплоизоляционные свойства плит (на 34 % при увеличении содержания наполнителя от 35 до 40 %, дальнейшее увеличение до 45 % приводит к незначительному снижению – в среднем на 2 %);

– увеличиваются прочностные показатели плит (при содержании от 35 до 40 % – до 10 %, а при увеличении до 45 % – на 45,5 %);

– снижается степень водопоглощения плит в среднем на 30 % и разбухания по толщине на 17,5 %;

2) полученный плитный материал обладает теплоизоляционными свойствами и предлагается использовать в гражданском и промышленном строительстве для устройства и изоляции ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий II и III классов;

3) древесно-торфяные плиты изготавливаются из доступных, недорогих и безопасных материалов, что одновременно позволяет решить вопросы утилизации и переработки отходов деревообработки.

Список источников

1. Михайлов Г. М., Серов Н. А. Пути улучшения вторичного древесного сырья. – М. : Лесная промышленность, 1988. – 224 с.

2. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья (проблемы безотходной технологии). – М. : Экология, 1991. – 288 с.

3. Бекк П. А., Яцун И. В. О возможности применения отходов деревообработки для производства теплоизоляционных плит на основе торфа // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат. XVIII Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2022. – С. 528–531.

4. Торф – виды, основные свойства, где используют и добыча: офиц. портал. – URL: <https://natworld.info/o-prirode-dlja-shkoly/torf-vidy-osnovnye-svoystva-gde-ispolzuyut-i-dobycha> (дата обращения: 09.04.2022).

5. Пижурин А. А., Розенбит М. С. Исследования процессов деревообработки. – М. : Лесн. пром-сть, 1984. – 140 с.

6. ГОСТ 10635-88. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 36 с.

7. ГОСТ 10634-88. Плиты древесностружечные. Методы определения физических свойств. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 8 с.

8. ГОСТ 30256-94. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 17 с.

References

1. Mikhailov G. M., Serov N. A. Ways to improve secondary wood raw materials. – M. : Forestry industry, 1988. – 224 p.
2. Korobov V. V., Rushnov N. P. Processing of low-quality wood raw materials (problems of waste-free technology). – M. : Ecology, 1991. – 288 p.
3. Beck P. A., Yatsun I. V. On the possibility of using woodworking waste for the production of peat-based heat insulation boards/Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia // Materials of the XVIII All-Russian Scientific and Technical Conference. – Yekaterinburg : Ural. State Forestry Engineering. un-t, 2022. – P. 528–531.
4. Peat – species, the main properties where mining is used: ofits. portal. – URL: <https://natworld.info/o-prirode-dlja-shkoly/torf-vidy-osnovnye-svoystva-gde-ispolzuyut-i-dobycha> (accessed date: 09.04.2022).
5. Pajurin A. A., Rosenblit M. S. Studies of woodworking processes. – M. : Lesn. prom, 1984. – 140 p.
6. GOST 10635-88. Particle boards. Methods for determination of tensile strength and flexural modulus. – M. : Publishing House of Standards, 1989. – 36 p.
7. GOST 10634-88. Particle boards. Methods for determining physical properties. – M. : Publishing House of Standards, 1988. – 8 p.
8. GOST 30256-94. Construction materials and products. Method of determining thermal conductivity by a cylindrical probe. – M. : Publishing House of Standards, 1996. – 17 p.

Оригинальная статья

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛОДОНОСЯЩИХ ВЕТОК ОБЛЕПИХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Ленар Юнусович Исмаилов¹, Альбина Валерьевна Сафина²

^{1,2} Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

¹ lenar-2015@mail.ru

² alb_saf@mail.ru

Аннотация. Предложен способ переработки плодоносящих веток облепихи, позволяющий осуществить сборку урожая и переработку неплодовой части путем экстракции ценных компонентов. Разработана схема установки для переработки облепихи с использованием теплового насоса, позволяющего перераспределить тепловую энергию потоков.

Проведенные тепловые расчеты доказали целесообразность предлагаемых решений, поскольку обеспечивается равенство количества тепловой энергии, образуемой в процессе замораживания плодоносящих веток, и количества тепловой энергии для пропаривания неплодовой части, и проведения процесса экстракции.

Ключевые слова: облепиха, ягоды, неплодовая часть, замораживание, тепловой насос, экстракция

Для цитирования: Исмаилов Л. Ю., Сафина А. В. Технология переработки плодоносящих веток облепихи с использованием теплового насоса // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 48–59.

Original article

TECHNOLOGY FOR PROCESSING FRUIT-BEARING BRANCHES OF SEA-BUCKTHORN USING A HEAT PUMP

Lenar Yu. Ismailov¹, Albina V. Safina²

^{1,2} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹ lenar-2015@mail.ru

² alb_saf@mail.ru

Abstract. A method for processing the fruit-bearing branches of sea buckthorn, the implementation of harvesting and processing the non-fruiting part of the extraction route of valuable components is proposed. A scheme has been

developed for a plant for processing sea buckthorn using a heat pump, which makes it possible to redistribute the thermal energy of the flows.

The performed thermal calculations justify the proposed solutions, since there is an equality of the volumes of energy generated in the process of freezing fruit-bearing branches, and the amount of energy for steaming barren parts and carrying out the extraction processes.

Keywords: sea buckthorn, berries, barren part, freezing, heat pump, extraction

For citation: Ismailov L. Yu., Safina A. V. Technology for processing fruit-bearing branches of sea-buckthorn using a heat pump // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 48–59.

Облепиха – растение, имеющее большое количество биологически активных веществ, она содержит более ста видов соединений. Это растение с универсальными свойствами, многочисленными экономическими достоинствами и богатой историей, которая до сих пор продолжается в натуральной медицине, и поэтому все больше и больше людей включают его в ежедневный рацион для профилактики и лечения различных заболеваний. Его уникальность обусловлена его химическим составом и полезными для здоровья свойствами.

Облепиха (*Hippophaë* L., семейство *Eleagnaceae*) широко распространена в Азии от побережий до горных районов и Северо-Западной Европы [1]. В пределах Евразии выявлено около 150 видов, подвидов и разновидностей облепихи; они различались по ареалу произрастания кустарника, внешнему виду ягод и их потребительной ценности [2]. Среди них *Hippophaë rhamnoides* является наиболее важными и широко распространенными в Европе [3].

Облепиха – двудомное и анемофильное растение, опыление цветков может осуществляться даже ветром [1]. Она хорошо приживается на бедных почвах и способна выдерживать экстремальные температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]. Поскольку у облепихи низкие требования к условиям выращивания, она ведет себя инвазивно, растет на слабовлажных, аллювиальных гравиях, влажных оползнях и берегах рек [5, 6]. Урожайность составляет около 4–5 т/га, в отдельных случаях 20–25 т/га [1]. Созревшие ягоды имеют овальную форму и чаще всего желтую, оранжевую или красную окраску в зависимости от сорта и имеют в своем составе множество полезных веществ [7]. Из ягод получают два наиболее распространенных продукта: сок из мясистой ткани ягод и масло, получаемое из косточек ягод [4]. Однако не только ягоды облепихи содержат целый комплекс БАВ с многообразными целебными свойствами. Листья, побеги, древесная часть и кора облепихи также богаты многими биологически активными веществами, ценными по питательным и оздоровительным свойствам.

Листья облепихи являются самостоятельным сырьем для производства ранозаживляющих, противовоспалительных и витаминных препаратов [8, 9]. Кора и побеги облепихи имеют особые биологически активные вещества, которые ответственны за противовоспалительную активность фитопрепаратов. Различные питательные вещества и биологически активные компоненты присутствуют во всех частях облепихи. Например, тамины, полисахариды, ненасыщенные жирные кислоты, терпеноиды, полифенольные соединения, нестероидные соединения, флавоноиды, органические кислоты и летучие компоненты [10, 11]. Благодаря этому облепиха обладает широким спектром различных положительных биологических, физиологических и лечебных эффектов, таких как антиоксидантное и иммуномодулирующее, кардиопротекторное и антиатерогенное, антибактериальное и противовирусное действие, заживляющее действие при острых и хронических ранах, противолучевое, противовоспалительное, антидиабетическое, антиканцерогенное, гепатопротекторное, дерматологическое действие и др. [2, 12–17].

Таким образом, облепиха является одним из ценнейших источников БАВ для получения лекарственных препаратов растительного происхождения. При этом разрешенные к применению официальные препараты облепихи изготавливаются только из плодов и листьев растения, а фитопрепараты из коры и побегов облепихи, содержащие значительный комплекс БАВ гидрофильного и липофильного характера, характеризуются наименьшим применением в медицинской практике.

Однако при сборе ягод и облепихи и проведении плановых агротехнических мероприятий, связанных с омоложением облепиховых массивов, образуется значительное количество отходов. В большинстве случаев образующиеся отходы вывозятся в отвалы или сжигаются, что снижает ресурсосберегающий потенциал комплексного использования растительных материалов. Одним из вариантов утилизации образующихся отходов в виде спиленных стволов, веток и побегов является механическая переработка в древесные опилки и стружку для мульчирования почвы. Альтернативным вариантом утилизации отходов обрезки плодовой древесины является производство брикетов. Высокая теплотворная способность и экологическая безопасность брикетов несомненно отражает эффективность данного направления утилизации древесного сырья. Однако наличие в плодовой древесине биологически активных веществ, имеющих высокие терапевтические свойства, обуславливает актуальность химической переработки древесины с получением лекарственных экстрактов и пищевых добавок.

Целью настоящей работы является разработка ресурсосберегающей технологии сбора ягод с последующей экстракцией неплодовой части облепихи.

Легкому сбору ягод облепихи способствует их заморозка [18]. Можно выделить пять групп методов замораживания по принципу отвода тепла, осуществляемых за счет контакта сырья:

- с хладоносителем (воздухом или раствором солей), который охлаждается хладагентом;
- с хладагентом через металлическую поверхность;
- с хладагентом напрямую;
- в вакууме за счет испарения влаги, содержащейся в сырье;
- комбинированный способ, который включает в себя сочетание вышеперечисленных способов замораживания.

Воздушный метод основан на отводе теплоты от сырья воздухом и передается поверхности охлаждающих приборов. Воздух – естественная и достаточно инертная среда. Широкое использование этого метода обусловлено его простотой и универсальностью, так как он дает возможность замораживать растительное сырье практически любой формы и размеров, неупакованных и упакованных в полимерную пленку или другую тару. При этом скорость процесса зависит от размера сырья, температуры среды и ее циркуляции. Но так как поток воздуха подается с одной стороны, то не вся поверхность материала участвует в активном теплообмене, что затрудняет равномерность замораживания. Еще одним недостатком является относительно низкая способность воздуха аккумулировать тепло и predisположенность его к поглощению влаги.

Погружной метод в некипящей жидкости основан на отводе тепла за счет контакта сырья с хладоносителем – жидкостью и характеризуется более эффективным отводом теплоты по сравнению с воздушным методом. Однако возникающие при этом трудности, связанные с нежелательным проникновением охлаждающего вещества (хладоносителя) в сырье, с соблюдением санитарно-гигиенических условий, с поддержанием концентрации хладоносителя и отсутствием доступных нетоксичных и инертных жидкостей, ограничивают применение такого метода.

Контактный метод предусматривает замораживание растительного сырья правильной прямоугольной формы за счет его контакта с хладагентом (реже – с хладоносителем) через поверхность морозильных плит, которые с помощью гидравлического или электрического привода плотно прижимаются к материалу, обеспечивая его формовку, подпрессовку. Основным недостатком плиточных аппаратов – невозможность замораживания продуктов неправильной формы, а кроме того, к отрицательным моментам можно отнести и периодичность действия, в частности, вертикально- и горизонтально-плиточных аппаратов, что не дает возможности их включения в поточную линию замораживания растительного сырья широкого ассортимента.

Замораживание под вакуумом осуществляется за счет испарения в разреженной среде содержащейся в сырье влаги. Данный способ получил

название «самозамораживание» и основан на явлении парообразования над поверхностью жидкости при температуре ниже ее температуры кипения при нормальном атмосферном давлении. На превращение жидкости в пар затрачивается определенное количество тепловой энергии – теплота испарения. Благодаря этому можно понизить температуру замораживаемых ягод облепихи. Достоинством самозамораживания растительного сырья являются сохранение основных биологически активных веществ сырья, а также незначительный расход низкопотенциального тепла.

Одним из устройств по аккумулярованию низкопотенциальной тепловой энергии окружающей среды является тепловой насос. Тепловая энергия, получаемая в процессе замораживания, может быть использована для осуществления процесса экстракции. Этот принцип лег в основу разработки предлагаемой технологии сбора ягод облепихи и экстракции остающейся неплодовой части.

Предлагаемый способ переработки облепихи предполагает обрезку $1/2 \div 1/3$ частей кроны плодоносящих ветвей, их заморозку, сепарацию на ягоды и неплодовую части и последующую экстракцию древесной части. Ветви с ягодами облепихи замораживаются по принципу теплового насоса, а высвобождаемая тепловая энергия направляется на размораживание неплодовой части, ее прогрев и последующий подогрев растворителя до заданной температуры процесса экстракции. Замороженные ягоды направляются для хранения или использования в технологических процессах пищевой промышленности. А неплодовая часть облепихи, содержащая ветви и листья, направляется для экстрагирования из них ценных компонентов.

Реализация данного способа позволяет повысить производительность сборки ягод облепихи, поскольку при заморозке срезанные ветви становятся хрупкими и при последующем сепарировании плоды легко разделяются от листьев, мелких веточек и побегов. Экономическая целесообразность предлагаемого способа заключается в обеспечении ресурсосберегающего эффекта вследствие утилизации образующихся отходов и извлечения ценных компонентов из неплодовой части облепихи. Использование принципа теплового насоса обеспечивает энергоэффективность процесса, поскольку полученная тепловая энергия, высвобождаемая при замораживании сырья, позволяет сэкономить энергозатраты для проведения процесса экстракции древесной части облепихи.

На рис. 1 представлена функциональная схема установки переработки плодоносящих веток облепихи.

Установка переработки плодоносящих веток облепихи на основе принципа теплового насоса (рисунок) состоит из герметичной теплоизолированной камеры 1 и гирационного сепаратора 2. Теплоизолированная камера имеет крышку 3, снабжена термометром 4 и подсоединена к компрессору 5. В качестве рабочего тела в такой охлаждающей камере применяются

легкокипящие жидкости, что позволяет реализовать процессы подвода и отвода теплоты по изотермам. Для этого используются процессы кипения и конденсации рабочего тела (хладагента) при постоянных значениях давлений. В теплоизолированной камере 1 понижение давления и температуры осуществляется дросселированием хладагента при его протекании через редукционный вентиль 6, проходное сечение которого может изменяться.

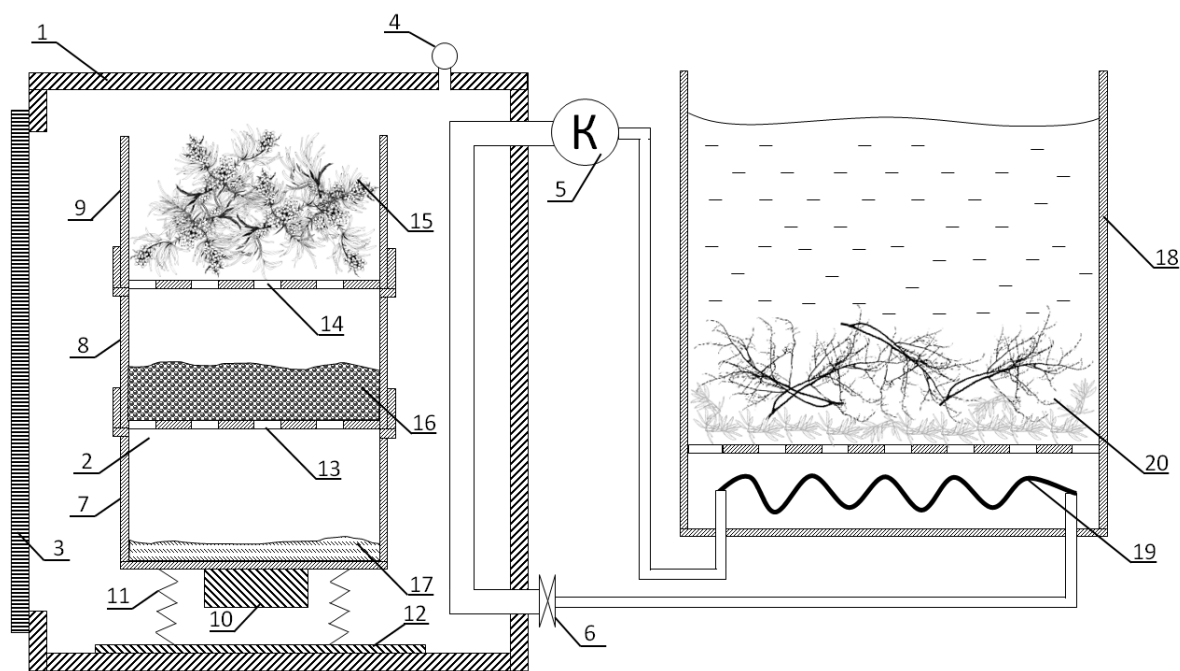


Схема установки переработки плодоносящих веток облепихи на основе принципа теплового насоса

Хладагент из теплоизолированной камеры 1 поступает в компрессор 5, в котором адиабатно сжимается. Образующийся при этом сухой насыщенный пар поступает в конденсатор 19, где конденсируется при постоянных значениях давления и температуры. Выделяющаяся теплота отводится в экстракционную камеру 18 для размораживания и прогрева неплодовой части облепихи 20, а также для поддержания оптимальной температуры экстракции. Образовавшийся конденсат дросселируется в редукционном вентиле 6 с переменным проходным сечением, что позволяет изменять давление выходящего из него влажного пара. Полученный в результате процесса влажный насыщенный пар небольшой степени сухости попадает в теплообменник теплоизолированной камеры 1, где при постоянных значениях давления и температуры испаряется за счет теплоты, отбираемой от находящегося в камере растительного сырья.

Гиравационный сепаратор 2 состоит из емкости для сбора пыли и ножек плодов 7, емкости 8 с ложным дном 13, бункера 9 с ложным дном 14

и вибратора 10. Емкость для сбора пыли и ножек плодов 7 закреплена пружинами 11 к станине 12. Емкость 8 с ложным дном 13 вставлена в емкость для сбора пыли и ножек плодов 7. Диаметр отверстий ложного дна 13 составляет половину диаметра плодов. В емкости 8 закреплен бункер 9 с ложным дном 14, диаметры отверстий которого имеют 50 % превышение относительно диаметра плодов.

Обрезанные ветки с ягодами 15 промывают водой, загружают в бункер 9 гирационного сепаратора 2, помещают в герметичную теплоизолированную камеру 1, включают компрессор 5 и выдерживают в течение определенного времени до тех пор, пока ветви с ягодами не заморозятся. Пока ветви охлаждаются, их тепло отводится в экстракционную камеру, в которой экстрагируются неплодовые части облепихи. После заморозки ветвей включают вибратор 10. За счет возникающей вибрации веточки 15 перетираются между собой. В результате перетирания происходит отделение веточек 15 от плодов 16, листьев, побегов и ножек плодов 17. Далее плоды 16 просыпаются в емкость 8, задерживаются, а ножки плодов 17 падают в емкость 7.

Ветки из бункера 9, побеги, листья, ножки плодов 17 передаются в экстракционную камеру 18 для извлечения ценных компонентов. Для этого неплодовая часть 20 в экстракторе размораживается, нагревается и пропаривается. Далее заливается экстрагент, смесь нагревается до 60 °С и осуществляется процесс экстракции ценных компонентов.

С целью обоснования эффективности предлагаемого способа переработки облепихи проведен тепловой расчет условно для 1 кг плодоносящих веток. Тепловые расчеты проводились:

- для стадии замораживания плодоносящих веток в диапазонах температур от 20 до 0 °С и от 0 до –18 °С;
- для стадии размораживания и нагрева древесной части – от –18 до 0 °С и от 0 до 80 °С; ее пропаривания и последующего нагрева растворителя и поддержания температуры экстракции 60 °С.

Исходные данные:

- структура 1 кг биомассы облепихи: сок, получаемый из ягод – 78 %, шрот – 10 %, ветки и листья – 12 %;
- теплоемкость свежих ягод облепихи $c_{я} = 3777$ Дж/(кг · К), замороженных – $c_{я.зам} = 2199$ Дж/(кг · К) [19];
- среднее значение теплоемкости древесной части в диапазонах:
 - от 20 до 0 °С: $c_{др1} = 2888,8$ Дж/(кг · К);
 - от 0 до (–18) °С: $c_{др2} = 2219$ Дж/(кг · К);
 - от 0 до 80 °С: $c_{др3} = 3140$ Дж/(кг · К);
- теплоемкость воды при 60 °С $c_{в} = 4178$ Дж/(кг · К);
- теплота кристаллизации льда $r = 330\,000$ Дж/кг;
- теплота парообразования $r' = 2\,300\,000$ Дж/кг.

В процессе замораживания отводимая тепловая энергия складывается из теплоты кристаллизации и величины изменения внутренней энергии материалов (ягод и неплодовой части облепихи):

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{зам}} &= Q_{\text{кр}}^{\text{я}} + Q_{\text{зам}}^{\text{я}} + Q_{\text{зам}}^{\text{др}} = r \cdot m_{\text{я}} + c_{\text{я}} \cdot m_{\text{я}} \cdot \Delta T_{20 \div 0} + \\
 &+ c_{\text{я.зам}} \cdot m_{\text{я}} \cdot \Delta T_{0 \div (-18)} + c_{\text{др1}} \cdot m_{\text{др}} \cdot \Delta T_{20 \div 0} + \\
 &+ c_{\text{др2}} \cdot m_{\text{др}} \cdot \Delta T_{0 \div (-18)} = 330000 \cdot 0,78 + 3177 \cdot 0,78 \cdot 20 + \\
 &+ 2199 \cdot 0,78 \cdot 18 + 2888,8 \cdot 0,12 \cdot 20 + 2219 \cdot 0,12 \cdot 18 = \\
 &= 349561,32 \text{ Дж.}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Требуемое количество тепла на нагрев замороженной древесной части облепихи, ее пропаривание и последующий нагрев растворителя (при гидромодуле 1:10) составит:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{нагрев}} &= Q_{\text{нагр}}^{\text{др}} + Q_{\text{пар}}^{\text{др}} + Q_{\text{нагр}}^{\text{в}} = c_{\text{др2}} \cdot m_{\text{др}} \cdot \Delta T_{(-18) \div 0} + \\
 &+ c_{\text{др3}} \cdot m_{\text{др}} \cdot \Delta T_{0 \div 80} + m_{\text{в}} \cdot r + c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot \Delta T_{20 \div 60} = \\
 &= 2219 \cdot 0,12 \cdot 18 + 3140 \cdot 0,12 \cdot 80 + 0,059 \cdot 2300000 + \\
 &+ 4178 \cdot 1,061 \cdot 40 = 347951,32 \text{ Дж.}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Как показывают расчеты, количество тепла, образуемого при замораживании 1 кг плодоносящих веток облепих, достаточно для размораживания древесной части облепихи, ее пропаривания, нагрева экстрагента и поддержания процесса экстракции. В расчетах в качестве растворителя принята вода как вещество, характеризующееся высокой удельной теплоемкостью. Использование в качестве экстрагента других растворителей, обладающих меньшей теплоемкостью, заведомо оправдано и целесообразно.

Выводы. Невостребованность неплодовой части облепихи при наличии в ней ценных компонентов и биологически активных веществ предопределило цель настоящего исследования. Предложен способ переработки плодоносящих веток облепихи, позволяющий осуществить сборку урожая и переработку неплодовой части путем экстракции ценных компонентов. Разработана схема установки для переработки облепихи с использованием теплового насоса, позволяющего перераспределить тепловую энергию потоков. Проведенные тепловые расчеты доказали целесообразность предлагаемых решений, поскольку обеспечивается равенство количества тепловой энергии, образуемой в процессе замораживания плодоносящих веток, и количества тепловой энергии для размораживания неплодовой части, ее пропаривания и поддержания необходимой температуры процесса экстракции.

Разработанная технология упрощает сбор ягод в промышленном производстве, а также обеспечивает утилизацию неплодовой части облепихи с получением товарной продукции в виде экстрактов, что подтверждает ее ресурсо- и энергосберегающий эффект.

Список источников

1. Li TSC, Beveridge T. H. J. Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.): Production and Utilization. In Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) : Production and Utilization; NRC Research Press: Ottawa, ON, Canada. – 2003.

2. Why is sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) so exceptional? A review / Z. Ciesarova, M. Murkovic, K. Cepek, F. Kreps, B. Tobolkova, R. Koplik, E. Belajova, K. Kukurová, L'. Daško, Z. Panovska, etal. // Food Res. Int. – 2020. – 133. P. 109–170.

3. Yang B., Kallio H. P. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) berries of different origins // J. Agric. foodchem. – 2001. – 49. – P. 1939–1947.

4. Ruan C., Li D. Community characteristics of *Hippophaerhamnoides* forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region // Chin. J. Appl. Ecol. – 2002. – 13. – P. 1061–1064.

5. UHPLC/PDA-ESI/MS analysis of the main berry and leaf flavonol glycosides from different Carpathian *Hippophaerhamnoides* L. / R. M. Pop, C. Socaciu, A. Pintea, A. D. Buzoianu, M. G. Sanders, H. Gruppen, J. P. Vinken // Varieties. Phytochem. Anal. – 2013. – 24. – P. 484–492.

6. Diversity and relationships of multipurpose seabuckthorn (*Hippophae* L.) germplasm from the Indian Himalayas as assessed by AFLP and SAMPL markers / S. N. Raina, S. Jain, D. Sehgal, A. Kumar, T. H. Dar, V. Bhat, V. Pandey, S. Vaishnavi, A. Bhargav, V. Singh, et al. // Genet. resource. Crop.Evol. – 2012. – 59. – P. 1033–1053.

7. Pilat B., Bieniek A., Zadernowski R. Common Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) // AsanAlternativeOrchardPlant. Paul JNat. Sci. – 2015. – 30. – P. 417–430.

8. Chemometric Assessment of Spectroscopic Techniques and Antioxidant Activity for *Hippophaerhamnoides* L Extracts Obtained by / Cristiana Radulescu, Radu Lucian Olteanu, Claudia Stihi, Monica Florescu, Dumitru Lazurca, Ioana Daniela Dulama, Raluca Maria Stirbescu and Sofia Teodorescu // Different Isolation Methods Analytical Letters 52:15. – 2019. – P. 2393–2415.

9. Characterization of nucleobases in sea buckthorn leaves / Jigni Mishra, Prashant Hande, Priyanka Sharma, Anuja Bhardwaj, Rakhee Rajput and Kshipra Misra // An HPTLC approach Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies 40:1. – 2017. – P. 50–57.

10. Ji M., Gong X., Li X., Wang C., Li M. Advanced research on the antioxidant activity and mechanism of polyphenols from *hippophae* species a review. *Molecules*. – 2020. – 25. – P. 917.

11. Du J., Xi Yl., Song C. M. Effect of Sea Buckthorn Powder on Hepatic Lipid Metabolism and Oxidative Stress in Rats. *Mod. Food sci. Technol.* – 2017. – 33. – P. 8–12.

12. Olas B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. *Food Chem. Toxicol.* – 2016. – 97. – P. 199–204.

13. Guo R., Guo X., Li T., Fu X., Liu R. H. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoïdes* L.) berries. *Food Chem.* – 2017. – 221. – P. 997–1003.

14. Ranard K. M., Erdman J. W. Effects of dietary RRR γ -tocopherol vs all-racemic γ -tocopherol on health outcomes. *Nutr. Rev.* – 2018. – 76. – P. 141–153.

15. Olas B., Skalski B., Ulanowska K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnus rhamnoïdes* (L.) A. Nelson]. *Front. Pharmacol.* – 2018. – 9. – P. 232.

16. Hamuŷka J., Gornicka M., Sulich A., Fryackiewicz J. Weight loss program is associated with a decrease in γ -tocopherol status in obese adults. *Clin. Nutr.* – 2019. – 38. – P. 1861–1870.

17. Hao W., He Z., Zhu H., Liu J., Kwek E., Zhao Y., Ma K.Y., He W. S., Chen Z. Y. Sea buckthorn seed oil reduces blood cholesterol and modulate gut microbiota. *Foodfunct.* – 2019. – 10. – P. 5669–5681.

18. Патент RU 2009 141 644 А; Способ сборки плодов, преимущественно облепихи / Р. Р. Сафин, Р. Г. Сафин, Е. Ю. Разумов, Н. Ф. Тимербаев, Д. Ф. Зиатдинова, А. Е. Воронин, Л. Ш. Назмутдинова, А. Р. Зиатдинов, Р. Р. Миндубаев ; заявитель ООО «Научно-технический центр по разработке прогрессивного оборудования», 2011.

19. Короткий И. А., Короткая Е. В., Киреев В. В. Изменение теплофизических характеристик ягод облепихи при замораживании // *Техника и технология пищевых производств.* – 2016. – Т. 41. – № 2. – С. 108–112.

References

1. Li TSC, Beveridge T. H. J. Sea Buckthorn (*Hippophaerhamnoïdes* L.): Production and Utilization. In *Sea Buckthorn (Hippophaerhamnoïdes L.) : Production and Utilization*; NRC Research Press: Ottawa, ON, Canada. – 2003.

2. Why is sea buckthorn (*Hippophaerhamnoïdes* L.) so exceptional? A review / Z. Ciesarova, M. Murkovic, K. Cepek, F. Kreps, B. Tobolkova, R. Koplik, E. Belajova, K. Kukurová, L'. Daško, Z. Panovska, etal. // *Food Res. Int.* – 2020. – 133. P. 109–170.

3. Yang B., Kallio H. P. Fatty acid composition of lipids in sea buckthorn (*Hippophaerhamnoïdes* L.) berries of different origins // *J. Agric. foodchem.* – 2001. – 49. – P. 1939–1947.

4. Ruan C., Li D. Community characteristics of Hippophaerhamnoides forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region // Chin. J. Appl. Ecol. – 2002. – 13. – P. 1061–1064.
5. UHPLC/PDA-ESI/MS analysis of the main berry and leaf flavonol glycosides from different Carpathian Hippophaerhamnoides L. / R. M. Pop, C. Socaciu, A. Pinteá, A. D. Buzoianu, M. G. Sanders, H. Gruppen, J. P. Vinken // Varieties. Phytochem. Anal. – 2013. – 24. – P. 484–492.
6. Diversity and relationships of multipurpose seabuckthorn (Hippophae L.) germplasm from the Indian Himalayas as assessed by AFLP and SAMPL markers / S. N. Raina, S. Jain, D. Sehgal, A. Kumar, T. H. Dar, V. Bhat, V. Pandey, S. Vaishnavi, A. Bhargav, V. Singh, et al. // Genet. resource. Crop.Evol. – 2012. – 59. – P. 1033–1053.
7. Pilat B., Bieniek A., Zadernowski R. Common Sea Buckthorn (Hippophaerhamnoides L.) // AsanAlternativeOrchardPlant. Paul JNat. Sci. – 2015. – 30. – P. 417–430.
8. Chemometric Assessment of Spectroscopic Techniques and Antioxidant Activity for Hippophaerhamnoides L Extracts Obtained by / Cristiana Radulescu, Radu Lucian Olteanu, Claudia Stihí, Monica Florescu, Dumitru Lazarca, Ioana Daniela Dulama, Raluca Maria Stirbescu and Sofia Teodorescu // Different Isolation Methods Analytical Letters 52:15. – 2019. – P. 2393–2415.
9. Characterization of nucleobases in sea buckthorn leaves / Jigni Mishra, Prashant Hande, Priyanka Sharma, Anuja Bhardwaj, Rakhee Rajput and Kshipra Misra // An HPTLC approach Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies 40:1. – 2017. – P. 50–57.
10. Ji M., Gong X., Li X., Wang C., Li M. Advanced research on the antioxidant activity and mechanism of polyphenols from hippophae species a review. Molecules. – 2020. – 25. – P. 917.
11. Du J., Xi YL., Song C. M. Effect of Sea Buckthorn Powder on Hepatic Lipid Metabolism and Oxidative Stress in Rats. Mod. Food sci. Technol. – 2017. – 33. – P. 8–12.
12. Olas B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. Food Chem. Toxicol. – 2016. – 97. – P. 199–204.
13. Guo R., Guo X., Li T., Fu X., Liu R. H. Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (Hippophaerhamnoides L.) berries. Food Chem. – 2017. – 221. – P. 997–1003.
14. Ranard K. M., Erdman J. W. Effects of dietary RRR γ -tocopherol vs all-racemic γ -tocopherol on health outcomes. Nutr. Rev. – 2018. – 76. – P. 141–153.
15. Olas B., Skalski B., Ulanowska K. The anticancer activity of sea buckthorn [Elaeagnusrhamnoides (L.) A. Nelson]. Front. Pharmacol. – 2018. – 9. – P. 232.

16. Hamuŷka J., Gornicka M., Sulich A., Fryackiewicz J. Weight loss program is associated with a decrease in γ -tocopherol status in obese adults. *Clin. Nutr.* – 2019. – 38. – P. 1861–1870.

17. Hao W., He Z., Zhu H., Liu J., Kwek E., Zhao Y., Ma K.Y., He W. S., Chen Z. Y. Sea buckthorn seed oil reduces blood cholesterol and modulate gut microbiota. *Foodfunct.* – 2019. – 10. – P. 5669–5681.

18. Patent RU 2009 141 644 A; Method of assembling fruits, mainly sea buckthorn / R. R. Safin, R. G. Safin, E. Y. Razumov, N. F. Timerbaev, D. F. Ziatdinova, A. E. Voronin, L. S. Nazmutdinova, A. R. Ziatdinov, R. R. Mindubaev ; applicant LLC «Scientific and Technical Center for the development of advanced Equipment», 2011.

19. Korotkoi I. A., Korotkaya E. V., Kireev V. V. Changing the thermal and physical characteristics of sea buckthorn berries during freezing // *Technique and technology of food production.* – 2016. – Vol. 41. – № 2. – P. 108–112.

Научная статья
УДК 691.11

СНИЖЕНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПУТЕМ АЦЕТИЛИРОВАНИЯ

**Анатолий Алексеевич Прокопьев¹, Регина Викторовна Салимгараева²,
Руслан Рушанович Сафин³**

^{1, 2, 3} Казанский национальный исследовательский технологический
университет, Казань, Россия

¹ prokopez.anatolij@mail.ru

² reginka.danilova@mail.ru

³ cfaby@mail.ru

Аннотация. Предложена обработка древесины ацетилизацией с целью понижения смачиваемости. Образцы были выдержаны в ледяной уксусной кислоте в течение 24, 48 и 72 часов. Проведены исследования по определению угла смачивания. Результаты показали, что ацетилизирование является эффективным и целесообразным способом обработки древесины по сравнению с контрольным образцом.

Ключевые слова: древесный шпон, уксусная кислота, ацетилизирование, угол смачивания

Для цитирования: Прокопьев А. А., Салимгараева Р. В., Сафин Р. Р. Снижение смачиваемости древесины путем ацетилирования // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 60–65.

Original article

REDUCING THE WETTABILITY OF WOOD BY ACETYLATION

**Anatoly A. Prokopiev¹, Regina V. Salimgaraeva²,
Ruslan R. Safin³**

^{1, 2, 3} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹ prokopez.anatolij@mail.ru

² reginka.danilova@mail.ru

³ cfaby@mail.ru

Abstract. The treatment of wood by acetylation in order to reduce wettability is proposed. The samples were soaked in glacial acetic acid for 24, 48 and 72 hours. Studies have been carried out to determine the wetting angle.

The results showed that acetylation is an effective and expedient method of wood processing compared to the control sample.

Keywords: wood veneer, acetic acid, acetylation, wetting angle

For citation: Prokopiev A. A., Salimgaraeva R. V., Safin R. R. Reducing the wettability of wood by acetylation // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 60–65.

В современном мире большое внимание уделяется не только эффективности используемых ресурсов в производстве материалов, но также их экологичности, возобновляемости и экономической целесообразности [1]. К таким материалам в первую очередь относится древесина – она возобновляема, имеет широкий спектр применения и легко поддается обработке. Существует много различных способов обработки древесного наполнителя: озонирование [2], термическая обработка [3], ацелирование и т. д. В данном случае был рассмотрен способ ацелирования древесного шпона ледяной уксусной кислотой с целью снижения смачиваемости.

J. Peydecastaing, C. Vaca-Garcia и другие ученые выявили, что смешанные сложные эфиры, несущие ацетильные и жирные ацильные группы, можно синтезировать реакцией в среде, полученной из уксусного ангидрида и жирной кислоты, без использования какого-либо растворителя или катализатора. Использование смешанной смеси ангидридов позволило получить химически модифицированные субстраты, которые показали как гидрофобность, так и водоотталкивающие свойства [4].

В исследованиях Jian-Zhang Li, Takeshi Furuno & Sadanobu Katoh были приготовлены композиты силикат-ацелированной древесины (САД) и силикат-пропионилированной древесины (СПД) и была оценена стабильность размеров и огнестойкость этих композитов. Силикатные гели незначительно влияли на скорость ацелирования или пропионирования древесины. В присутствии силикатных гелей композиты САД и СПД показали немного более низкую эффективность против набухания во время поглощения воды или влаги и более низкую влагоисключающую эффективность, чем соответствующая ацелированная древесина и пропионилированная древесина, но САД и СПД композиты по-прежнему сохраняли довольно хорошую стабильность размеров [5].

Ferry Bongers & Stephen Uphill выявили, что устойчивость древесины к морскому сверлению возрастает с увеличением уровня ацелирования. Тесты с сосной, даже после девятилетнего воздействия в Дании, не показывают никаких признаков разрушения [6].

Авторы [7] обнаружили, что древесностружечные плиты, изготовленные из ацелированных стружек южной сосны или осины, поглощали значительно меньше воды как при испытаниях на пропитывание водой, так и при воздействии влажного воздуха, и набухали с меньшей скоростью и в меньшей степени, чем контрольные образцы.

По результатам [8] пропорциональное увеличение содержания гемицеллюлозы (+11,10 %) было компенсировано уменьшением содержания целлюлозы (-8,55 %) и класон-лигнина (-2,86 %). Результаты подтвердили, что влагопоглощение уменьшилось, а плотность увеличилась из-за набухания клеточной стенки ацетильными группами, что привело к более стабильной древесине.

В работе [9] методами рентгеноструктурного анализа (РФА), термогравиметрического анализа (ТГА) и микроскопии были охарактеризованы необработанные опилки тополя, нерастворенный тополь и регенерированная древесина из раствора тополя в ионной жидкости. Прямое ацетилирование раствора тополя с использованием хлористого ацетила также проводили в отсутствие какого-либо органического растворителя. ИК-Фурье анализ полученного образца древесины выявил образование частично делигнифицированного ацетилированного тополя.

Древесный шпон готовили из сосны по ГОСТ 99-2016 и сушили в печи при 100 ± 2 °С до постоянной массы, после чего образцы выдерживали соответственно 24,48 и 72 часа в ледяной уксусной кислоте, после чего пропитанные образцы высушивали в вакуумно-сушильном шкафу при 100 °С в течение 90 минут. Затем модифицированный древесный шпон промывали дистиллированной водой для удаления побочных продуктов и непрореагировавшего уксусной кислоты.

Для выявления угла смачивания древесного шпона были испытаны образцы из сосны размерами 30 × 30 мм.

Исследование образцов на угол смачивания осуществлялось посредством нанесения на поверхность воды с помощью пипетки.

Краевой угол смачивания (рис. 1) вычислялся по формуле:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{23} - \sigma_{13}}{\sigma_{12}},$$

где σ_{23} , σ_{13} , σ_{12} соответственно поверхностные энергии на границе раздела фаз: твердое тело-газ, жидкость-твердое тело и жидкость-газ.



Рис. 1. Определение краевого угла смачивания

В результате ацетилирования в течение 24, 48 и 72 часов установлено увеличение значения краевого угла смачивания – на 46° , 58° и 69° по сравнению с контрольным образцом (18°).

Ниже представлены результаты исследований влияния продолжительности ацетилирования древесного шпона на влагопоглощение композита (рис. 2).



Рис. 2. Краевые углы смачивания для контрольного образца (*а*) и образцов, подверженных ацетилированию в уксусной кислоте в течении 24 (*б*), 48 (*в*) и 72 (*г*) часов

Выводы. В результате литературного обзора можно сделать вывод, что ацетилирование является эффективным способом предварительной обработки древесины. Ввиду того, что данный метод увеличивает гидрофобность и краевой угол смачивания – его можно использовать в производстве клееных конструкций.

Проведенные исследования позволили увеличить значение краевого угла смачивания более чем в 3,5 раза (18° – контрольный образец, 69° – образец, выдержанный в ледяной уксусной кислоте 72 часа).

Список источников

1. Чернышев Л. А. Инновации лесопользования в новой экономике // Леса России и хозяйство в них. – 2015. – № 2 (53). – С. 77–80.
2. Влияние озонирования на смачиваемость древесины / А. Х. Сафиуллина, Ш. Р. Мухаметзянов, Р. Р. Сафин, Р. З. Хайруллин // Деревообрабатывающая промышленность. – 2020. – № 1. – С. 25–33.
3. Технология обработки термомодифицированной древесины / Р. В. Салимгараева, К. В. Бикмуллина, Р. Ф. Салимгараев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 5–4 (10–4). – С. 272–275.
4. Mixed acylation of Scots pine sawdust and impact on hydrophobicity / J. Peydecastaing, C. Vaca-Garcia, E. Borredon & S. El. Kasmi // Wood Material Science and Engineering, 4:3–4. – 2009. – P. 154–166.
5. Jian-Zhang Li, Takeshi Furuno & Sadanobu Katoh. Dimensional Stability and Flame Resistance of Silicate-Acetylated and – Propionylated Wood Composites // Journal of Wood Chemistry and Technology, 20:4. – 2000. – P. 441–453.

6. Ferry Bongers & Stephen Uphill. Performance of acetylated wood in aquatic applications // *International Wood Products Journal*, 10:3. – 2019. – P. 95–101.

7. Roger M. Rowell, Anne-Marie Tillman & Rune Simonson. A Simplified Procedure for the Acetylation of Hardwood and Softwood Flaxes for Flakeboard Production // *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 6:3. – 2007. – P. 427–448.

8. Effect of acetylation on the chemical composition of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in relation with the physical and mechanical properties / Fanni Fodor, Róbert Németh, Chiel Lankveld & Tamás Hofmann. // *Wood Material Science & Engineering*, 13:5. – 2017. – P. 271–278.

9. Study on Dissolution and Regeneration of Poplar Wood in Imidazolium-Based Ionic Liquids / Huyen Thanh Vo, Chang Soo Kim, Byoung Sung Ahn, Hoon Sik Kim & Hyunjoon Lee // *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 31:2. – 2011. – P. 89–102.

References

1. Forest management innovations in the new economy / L. A. Chernyshev // *Journal of the Ural State Forestry University. Forests of Russia and economy in 2015.* – № 2 (53). – P. 77–80.

2. Effect of Ozonation on the Wettability of Wood / A. Kh. Safiullin, S. R. Mukhametzyanov, R. R. Safin, R. Z. Khairullin // *Journal Woodworking Industry 2020.* – № 1. – P. 25–33.

3. Technology of processing thermomodified wood / R. V. Salimgaraeva, K. V. Bikmullin, R. F. Salimgaraev // *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice 2014.* – T. 2. – № 5–4 (10–4). – P. 272–275.

4. Mixed acylation of Scots pine sawdust and impact on hydrophobicity / J. Peydecastaing, C. Vaca-Garcia, E. Borredon & S. El. Kasmi // *Wood Material Science and Engineering*, 4:3–4. – 2009. – P. 154–166.

5. Jian-Zhang Li, Takeshi Furuno & Sadanobu Katoh. Dimensional Stability and Flame Resistance of Silicate-Acetylated and – Propionylated Wood Composites // *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 20:4. – 2000. – P. 441–453.

6. Ferry Bongers & Stephen Uphill. Performance of acetylated wood in aquatic applications // *International Wood Products Journal*, 10:3. – 2019. – P. 95–101.

7. Roger M. Rowell, Anne-Marie Tillman & Rune Simonson. A Simplified Procedure for the Acetylation of Hardwood and Softwood Flaxes for Flakeboard Production // *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 6:3. – 2007. – P. 427–448.

8. Effect of acetylation on the chemical composition of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in relation with the physical and mechanical properties / Fanni Fodor, Róbert Németh, Chiel Lankveld & Tamás Hofmann. // *Wood Material Science & Engineering*, 13:5. – 2017. – P. 271–278.

9. Study on Dissolution and Regeneration of Poplar Wood in ImidazoliumBased Ionic Liquids / Huyen Thanh Vo, Chang Soo Kim, Byoung Sung Ahn, Hoon Sik Kim & Hyunjoo Lee // *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 31:2. – 2011. – P. 89–102.

Научная статья
УДК 684.4.059.4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЛАКОКРАСОЧНОЙ СИСТЕМЫ

Светлана Валентиновна Совина¹, Анастасия Сергеевна Плюснина²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ sovinasv@m.usfeu.ru

² nastya.plyusnina.2016@mail.ru

Аннотация. Возрастающие требования к качеству защитно-декоративных покрытий на древесине предполагают возможность поиска новых высокоэффективных материалов. Целью проведенной работы являлось получение теоретических закономерностей формирования покрытий на основе лакокрасочной композиции.

Ключевые слова: защитно-декоративное покрытие, модифицирующая добавка, массопроводность

Для цитирования: Совина С. В., Плюснина А. С. Теоретические исследования закономерностей процесса формирования покрытий на основе лакокрасочной системы // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 66–70.

Original article

THEORETICAL STUDIES OF THE REGULARITIES OF THE COATING FORMATION PROCESS BASED ON THE PAINT AND VARNISH SYSTEM

Svetlana V. Sovina¹, Anastasia S. Plyusnina²

^{1,2} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ sovinasv@m.usfeu.ru

² nastya.plyusnina.2016@mail.ru

Abstract. The increasing requirements for the quality of protective and decorative coatings on wood suggest the possibility of searching for new high-performance materials. The purpose of the work was to obtain theoretical regularities of the formation of coatings based on the paint composition.

Keywords: protective and decorative coating, modifying additive, mass conductivity

For citation: Sovina S. V., Plyusnina A. S. Theoretical studies of the regularities of the coating formation process based on the paint and varnish system // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 66–70.

Формирование лакокрасочного покрытия на основе модифицированной алкидной смолы нитроцеллюлозой – сложный физико-химический процесс.

Процесс образования традиционного пентафталевого покрытия происходит при совместном протекании химических реакций и испарения летучих растворителей. Предварительные исследования показали, что введение нитроцеллюлозного лака в качестве модифицирующей добавки позволяет ускорить процесс формирования покрытия. Химические изменения при этом очень сложны, теоретически обосновать их крайне проблематично.

Наряду с химическими реакциями имеет место и процесс испарения летучих растворителей. Переход из жидкого в твердое стеклообразное состояние в этом случае связан с непрерывным уменьшением объема и имеет несколько характерных стадий, показанных на рис. 1 [1].

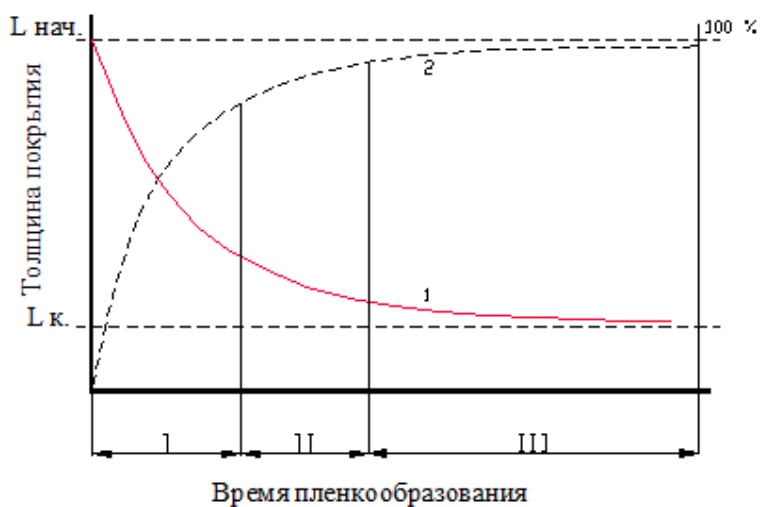


Рис. 1. Кинетика сушки лакокрасочного покрытия:
1 – изменение толщины покрытия;
2 – количество испарившегося растворителя

Первая стадия (I) характеризует испарение растворителей из жидкого лака, нанесенного на отделяемую поверхность. На этой стадии происходит наиболее интенсивное удаление летучих растворителей и уменьшение начальной толщины покрытия $L_{нач.}$

Вторая стадия (II) характеризуется образованием тонкой поверхностной пленки геля. Этому моменту соответствует начало высыхания

покрытия от пыли, что сопровождается уменьшением толщины лакокрасочного покрытия, его деформированием.

На третьей стадии (III) происходит дальнейшее испарение растворителей из неподвижной и твердеющей пленки. Процесс этот происходит очень медленно, что характеризуется кривой, асимптотически приближающейся к прямой линии, параллельной оси абсцисс. Так же медленно сокращается толщина лакокрасочного покрытия до конечной толщины L_k , при этом изменение массы слоя не происходит, что может служить косвенным показателем перехода лакокрасочного покрытия в стеклообразное состояние.

Для повышения защитных показателей лакокрасочного покрытия предлагается введение в лакокрасочную композицию чешуйчатого пигмента на основе слюды, обработанного TiO_2 .

Введение пигмента в лакокрасочную композицию на основе пентафталевого и нитроцеллюлозного лаков позволяет не только улучшить защитные свойства покрытия, но и является также тестовой характеристикой окончания процесса образования покрытия.

При нанесении лакокрасочной системы на поверхность подложки частицы пигмента находятся непосредственно под слоем жидкого лака. По мере отверждения покрытия, в процессе испарения растворителя, частицы пигмента начинают всплывать. По окончании процесса формирования покрытия на поверхности образуется «листовочный» слой пигмента. В этот период летучие компоненты лаков испаряются и после этого масса покрытия практически не меняется.

Анализируя вышеизложенное, следует отметить, что выводы уравнений массопереноса в процессе формирования лакокрасочного покрытия на основе модифицированных алкидных смол представляют вполне научно-практический интерес, так как полученные результаты можно соотнести с наблюдаемыми в экспериментальных исследованиях данными и произвести необходимый расчет коэффициентов, что позволит расширить область использования полученных уравнений массопроводности и решить задачу прогнозирования поведения лаковой пленки в процессе сушки в широком диапазоне практических применений.

Массоперенос в твердой фазе, вызванный концентрационной неоднородностью системы, описывают феноменологическим уравнением массопроводности, называемом в теории сушки также уравнением диффузии влаги [2]:

$$i = -\alpha * gradu, \quad (1)$$

где i – плотность диффузионного потока по отношению к сечению, фиксированному на твердой фазе (частицы, гранулы и т. д.) или на одном из компонентов (при диффузии в газах и жидкостях), $кг/м^2 \cdot с$;

α – коэффициент массопроводности, $м^2/с$;

u – концентрация связанного вещества, $кг/м^3$, $моль/м^3$.

Уравнение массопроводности (1) помимо собственно молекулярной диффузии описывает также и другие виды массопереноса (например, капиллярный массоперенос) как в жидкой, так и в парогазовой фазе, а также массоперенос в капиллярно-пористых материалах в процессах сушки. Все выше сказанное дает возможность как и в других подобных задачах массопроводности использовать дифференциальное уравнение массопереноса [2].

Рассмотрим задачу высыхания лаковой пленки, толщиной L на поверхности древесины, как показано на рис. 2.

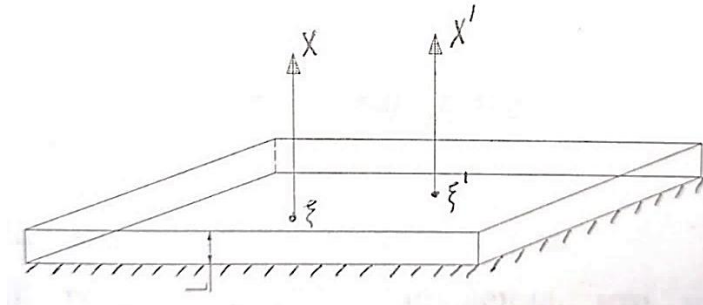


Рис. 2. Схематическое изображение лаковой пленки, нанесенной на поверхность древесины

Если рассмотреть две точки ξ и ξ' , то можно предположить, что условия высыхания на любых двух внутренних точках поверхности лаковой пленки одинаковы. Поэтому можно рассматривать одномерную задачу высыхания лакокрасочной системы вдоль оси координат X .

Введем переменную $u(x, t)$ – потеря массы в точке x в момент времени t , кг/м^3 , где $0 < x \leq L$, где L – начальная толщина лакокрасочной пленки. Выбор переменной обусловлен тем, что испарение летучих компонентов лаков при сушке лакокрасочных покрытий сопровождается наибольшей потерей массы пленки.

Тогда уравнение массопереноса имеет вид:

$$u_t = \alpha^2 \cdot u_{xx}, \quad 0 < x \leq L, \quad t \geq 0 \quad (2)$$

где α^2 – коэффициент массопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$.

При этом начальные условия решения задачи:

$$u(x, 0) = u_0, \quad 0 \leq x \leq L \quad (3)$$

где u_0 – начальная масса слоя в единице объема, кг/м^3 .

Граничные условия для решения задачи можно записать в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} u_x(0, t) = 0 \\ u_x(L, t) - h_b \cdot u(L, t) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $t \geq 0$;

h_b – коэффициент массоотдачи в воздух, $1/\text{м}$.

На нижней границе делаем допущение, что массопереноса в древесину не происходит. Это допущение достаточно грубое, однако для прояснения всех обстоятельств данной проблемы вполне пригодно для начальных рассуждений.

На верхней границе пары растворителя выносятся в воздух с коэффициентом массоотдачи h_b и граничные условия записываются как $u_x(L, t) - h_b \cdot u(L, t) = 0$, поскольку концентрацию растворителя в воздухе можно считать практически нулевой.

В результате математических преобразований, основанных на принципе метода разделения переменных, было получено уравнение изменения массы слоя:

$$u(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2u_0 (\sin \lambda_n L)^2}{\lambda_n^2 L + \lambda_n / 2 \sin 2\lambda_n L} e^{-(\lambda_n \alpha)^2 t}, \quad (5)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ – удовлетворяют уравнению $\operatorname{tg} \lambda L = -h/\lambda$.

Каждое слагаемое в разложении (5) является функцией x и t . Отметим, что вклад слагаемых с большими номерами при положительном t очень мал благодаря множителю с экспонентой. Следовательно, при истечении достаточно большого времени полное решение приближенно совпадает с первым слагаемым.

Полученная математическая модель изменения массы слоя во времени позволяет контролировать процесс отверждения покрытия посредством адекватного подбора модифицирующих добавок и определения времени отверждения.

Наличие указанной модели позволяет кроме того производить математическое моделирование процесса сушки с минимальным количеством экспериментальных исследований.

Список источников

1. Рудобашта С. П. Массоперенос в системах. – М. : Химия., 1980. – 130 с.
2. Гагарина С. В. Формирование защитно-декоративных покрытий древесины модифицированной нитроалкидной композицией : дис. ... канд. техн. наук: 28.12.1999 / Гагарина Светлана Валентиновна. – СПб., 1999. – 181 с.

References

1. Rudobashta S. P. Massoperenos in systems. – M. : Chemistry., 1980. – 130 p.
2. Gagarina S. V. Formation of protective and decorative wood coatings with modified nitroalkide composition: Dis. kand. techn. nauk : 28.12.1999 / S. V. Gagarin. – St. Petersburg, 1999. – 181 p.

Научная статья
УДК 674.049.2

МЕХАНИЗМ НЕРАВНОМЕРНОГО ПРЕССОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ, ПОДВЕРГНУТОЙ ОБЖИГУ И БРАШИРОВАНИЮ

Наталья Александровна Тарбеева¹, Ольга Анатольевна Рублева²

^{1,2} Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹ nataly.ntar534@yandex.ru

² olga_ru@vyatsu.ru

Аннотация. Для изготовления облицовочных изделий из древесины хвойных пород с помощью комбинированной обработки обжигом, брашированием, прессованием и термообработкой необходимо исследование механизма неравномерного прессования заготовок. В статье описаны закономерности деформирования рельефной заготовки, определена неравномерность уплотнения ее зон и установлена минимально необходимая степень деформации.

Ключевые слова: неравномерное прессование древесины, рельефная заготовка, степень деформации

Для цитирования: Тарбеева Н. А., Рублева О. А. Механизм неравномерного прессования древесины, подвергнутой обжигу и брашированию // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 71–76.

Original article

MECHANISM OF UNUNIFORM PRESSING FIRED AND BRASHED WOOD

Natalya A. Tarbeeva¹, Olga A. Rubleva²

^{1,2} Vyatka State University, Kirov, Russia

¹ nataly.ntar534@yandex.ru

² olga_ru@vyatsu.ru

Abstract. For the manufacture of facing products from coniferous wood using combined firing, brushing, pressing and heat treatment, it is necessary to study the mechanism of uneven pressing. The article describes the patterns of deformation of a relief wood blank, determines the uneven compaction of its zones, and establishes the minimum required degree of deformation.

Keywords: uneven pressing of wood, relief wood blank, degree of deformation

For citation: Tarbeeva N. A., Rubleva O. A. Mechanism of ununiform pressing fired and brashed wood // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 71–76.

Россия обладает значительными запасами лесных ресурсов и входит в тройку самых богатых лесных держав [1]. При этом большую часть лесных насаждений и заготавливаемой древесины составляют хвойные породы (~80 %), имеющие ограниченное применение для изготовления изделий с высокими прочностными показателями [2]. Нехватка запасов твердолиственной древесины для производства высококачественных облицовочных изделий, напольных покрытий, изделий мебели и другой продукции ставит необходимость поиска альтернативных видов древесных ресурсов и технологий их обработки, позволяющих имитировать свойства дефицитного сырья.

В качестве альтернативы твердолиственной древесины для изготовления облицовочных изделий авторами предложено использование заготовок из недефицитных хвойных пород после комбинированной обработки, включающей операции обжига, браширования, прессования и термической обработки, что позволяет улучшать их декоративные и физико-механические свойства [3, 4]. Ключевой операцией способа комбинированной обработки, вносящей наибольший вклад в формирование физико-механических свойств заготовок (плотности и твердости), является прессование. Прессование заготовки, подвергнутой обжигу и брашированию, становится неравномерным. Для определения рациональных режимов неравномерного прессования заготовок необходимо исследование указанного процесса. В связи с этим целью данной работы является изучение механизма неравномерного прессования древесины, подвергнутой обжигу и брашированию. Задачи исследования: установить закономерности одноосного прессования древесины, подвергнутой обжигу и брашированию; определить неравномерность деформации заготовки по ее сечению; определить минимально необходимую относительную степень деформации заготовки для эффективного повышения физико-механических свойств древесины.

Для исследования механизма прессования древесины, подвергнутой обжигу и брашированию, рельефную заготовку рассматривали упрощенно, как набор чередующихся брусков двух высот, равных толщине заготовки в зоне гребней (зоне Г) и в зоне впадин (зоне В) (рис. 1, б).

Процесс прессования рельефной заготовки (рис. 1, а) начинается с деформации зоны гребней (рис. 2). При соприкосновении пуансона с их вершинами давление пуансона передается нижележащим слоям клеток и ранняя зона годичного слоя под гребнями начинает упруго деформироваться.

Этот процесс соответствует степени деформации заготовки $\varepsilon \leq 3 \div 6 \%$ (фаза I' рис. 3) [5].

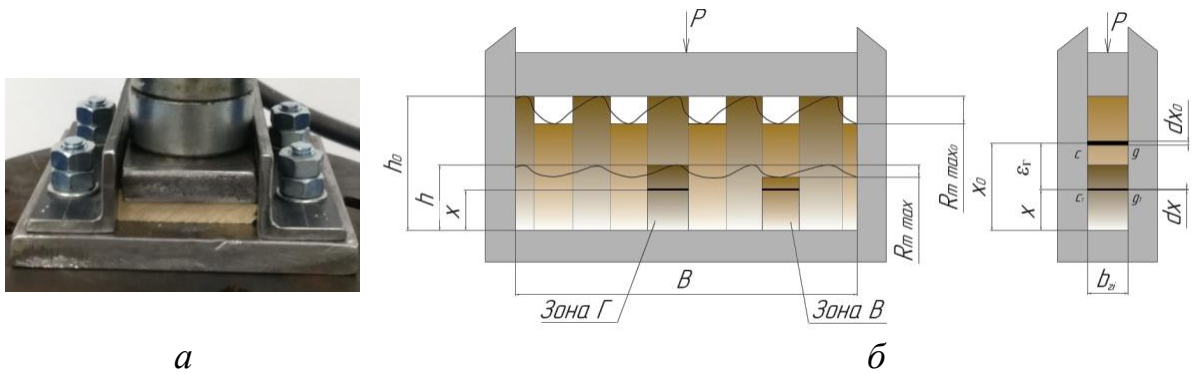


Рис. 1. Прессование заготовки, подвергнутой обжигу и брашированию:
а – заготовка в момент запрессовки; б – упрощенная схема заготовки

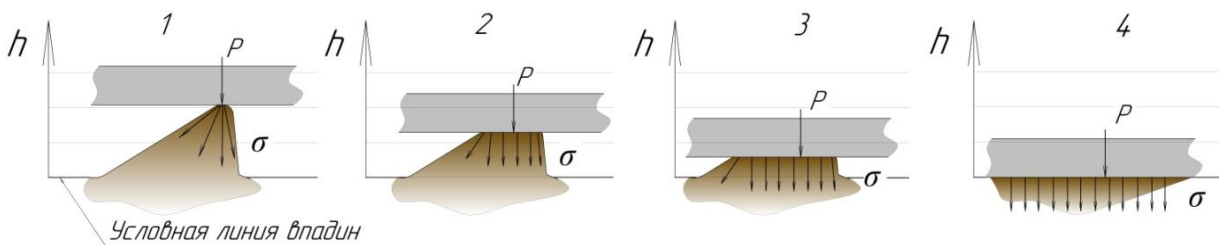


Рис. 2. Этапы прессования зоны гребней

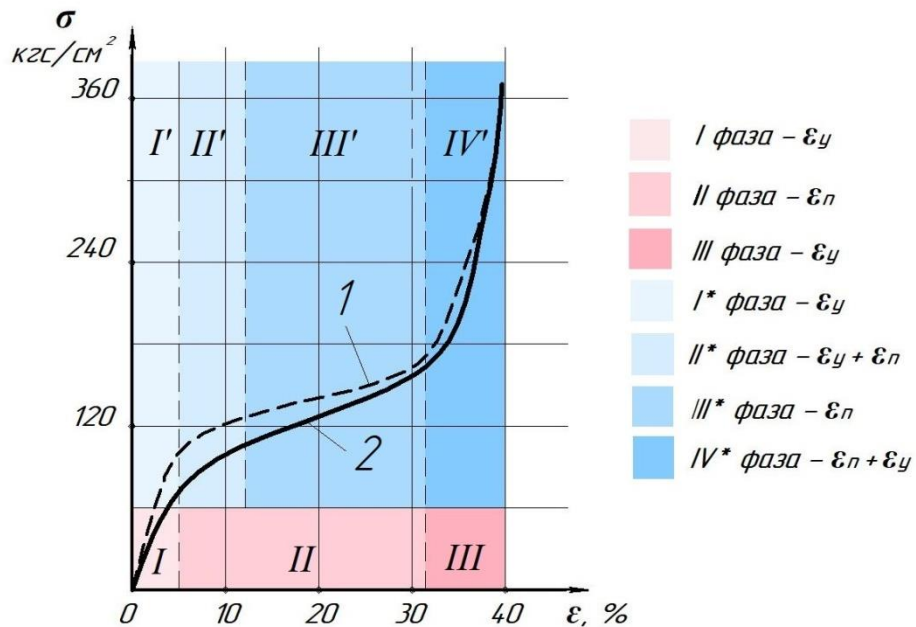


Рис. 3. Диаграмма деформация-напряжение $\varepsilon - \sigma$
при сжатии древесины в сухом состоянии:
1 – при равномерном прессовании; 2 – при неравномерном прессовании
после обжига и браширования

Далее при достижении $\varepsilon = 3 \div 6 \%$ в рассматриваемой зоне заготовки (зоне Г) начинается пластическое течение и смятие оболочек клеток ранней древесины. После соприкосновения пуансона с поверхностью впадин ($\varepsilon = 9 \div 12 \%$) клетки ранней зоны годичного слоя под впадиной начинают упруго деформироваться. В этот момент общая деформация складывается из упругой и пластической составляющих. На диаграмме деформация-напряжение $\varepsilon - \sigma$ (рис. 3) данный процесс соответствует фазе II'; участок кривой 2 (в отличие от кривой 1 для равномерного прессования [5]) характеризуется более крутым подъемом.

При дальнейшем прессовании ($\varepsilon = 12 \div 30 \%$) деформация заготовки в обеих зонах (зонах Г и В) протекает преимущественно за счет пластической деформации (фаза III') при незначительном повышении давления. Предельная величина деформации заготовки в этой фазе определяется объемным весом древесины: чем ниже вес исходной древесины, тем больше конечная величина деформации в этой фазе. Для заготовок из хвойных пород (сосны и ели) при их прессовании в сухом состоянии конец данной фазы соответствует $\varepsilon = 33 \div 37 \%$.

После смятия клеток ранней древесины по всей ширине заготовки начинается процесс деформации клеток поздней древесины, сначала в зоне гребней, а затем в зоне впадин (фаза IV'). В связи с тем, что протекание установленных Хухрянским фаз деформации [5] в зонах Г и В заготовки происходит неодновременно, то переход между выделенными фазами на кривой 2 более плавный по сравнению переходами на кривой 1.

В результате прессования зоны Г и В характеризуются разной степенью деформации. Зона заготовки под гребнем деформируется в большей степени, чем зона заготовки под впадиной. Основываясь на выводе П. Н. Хухрянского о том, что для получения высокопрочной древесины прессование необходимо доводить до третьей фазы деформации [5], важным условием прессования рельефной заготовки, подвергнутой обжигу и брашированию, является то, что после обработки степень деформации обеих зон должна соответствовать третьей фазе. Но так как при одноосном прессовании степень деформации уменьшается по толщине заготовки [5], а для облицовочных изделий наиболее важны физико-механические характеристики поверхностного слоя, будем считать, что указанное условие должно выполняться только в поверхностном слое, глубиной равной не менее $1/3$ толщины заготовки.

Используя принцип равновесия элементарного слоя для описания процесса равномерного прессования [5], определены зависимости степени деформации заготовки в зоне гребней ε_{Γ} и в зоне впадин ε_{δ} :

$$\varepsilon_{\varepsilon} = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_{\varepsilon} e^{\frac{-2\eta\mu(h-x)}{b_{\varepsilon}}}}{a}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{1}{b} \ln \frac{\sigma_{\sigma} e^{\frac{-2\eta\mu(h-x-0.002R_{m\max 0})}{b_{\sigma}}}}{a}, \quad (2)$$

где σ_2 и σ_{σ} – напряжение в зоне гребней и в зоне впадин соответственно, кгс/см²;

η – коэффициент внутреннего трения древесины;

μ – коэффициент поперечной деформации;

h – высота бруска после прессования, мм;

x – расстояние от дна матрицы и до слоя sg в спрессованном состоянии, мм;

$R_{m\max 0}$ – шероховатость поверхности заготовки до прессования, мкм;

a и b – коэффициенты, зависящие от породы и предварительной обработки древесины.

Их анализ показал, что при $x \geq 0,67h$ выполняется соотношение $\varepsilon_{\sigma} = 0,89\varepsilon_{\Gamma}$. Соответственно для обеспечения в поверхностном слое в зоне В третьей фазы деформации ($\varepsilon_{\sigma} \geq 35\%$) деформация поверхностного слоя зоны Г должна составлять $\varepsilon_{\Gamma} \geq 40\%$. Переведя эти значения в величину относительной деформации заготовки по толщине, установлено, что толщина заготовки после прессования должна быть не более 67 % от ее начальной толщины.

Таким образом, в результате исследования процесса неравномерного прессования заготовок, подвергнутых обжигу и брашированию, определен механизм процесса и выделены основные четыре фазы деформирования. Путем условного деления рельефной заготовки на зоны гребней и впадин получены теоретические зависимости степени деформации каждой зоны. Установлено, что в поверхностном слое заготовки степень деформации зоны гребней превышает степень деформации зоны впадин на 5–7 %. Для изготовления с помощью комбинированной обработки высококачественных облицовочных изделий относительная деформация заготовки, подвергнутой обжигу и брашированию, в результате процесса прессования, должна составлять не менее 33 %.

Список источников

1. Рыжов Н. И. Природные ресурсы как составляющая национального богатства России: качественно-количественные характеристики, народно-хозяйственная роль и проблемы повышения эффективности использования // Российский экономический журнал. – 2018. – № 5. – С. 43–57.

2. Шамаев В. А. Перспективы производства и применения модифицированной древесины // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – №. 78. – С. 258–268.

3. Патент № 2754909 Российская Федерация МПК E04F 13/08 (2021.02). Способ изготовления облицовочной панели из упрочненной древесины : № 2020139525 : заявлено 02.12.2020 : опубликовано 08.09.2021 / О. А. Рублева, Н. А. Тарбеева ; заявитель ВятГУ. – 7 с.

4. Тарбеева Н. А. Экспериментальное исследование комбинированного процесса изготовления облицовочных изделий на основе пьезотермической обработки деревянных заготовок / Н. А. Тарбеева, О. А. Рублева, А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1 (49). – С. 90–97.

5. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Лесная промышленность, 1964. – 361 с.

References

1. Ryzhov N. I. Natural resources as a component of the national wealth of Russia: qualitative and quantitative characteristics, national economic role and problems of increasing efficiency of use // Russian Economic Journal. – № 5. – P. 43–57.

2. Shamaev V. A. Prospects for the production and use of modified wood // Politematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2012. – № 78. – P. 258–268.

3. Patent No. 2754909 Russian Federation МПК E04F 13/08 (2021.02). Method of manufacturing facing panel from hardened wood : № 2020139525: declared 02.12.2020 : published 08.09.2021 / O. A. Rublev, N. A. Tarbeeva ; applicant VyatSU. – 7 p.

4. Tarbeeva N. A. Experimental study of the combined process of manufacturing facing products based on piezothermal processing of wooden billets / N. A. Tarbeeva, O. A. Rublev, A. G. Gorokhovsky, E. E. Shishkina // Systems. Methods. Technologies. – 2021. – № 1 (49). – P. 90–97.

5. Khukhryansky P. N. Wood pressing : 2nd ed., Edited and added. / P. N. Khukhryansky. – Moscow : Forest industry, 1964. – 361 p.

Научная статья
УДК 630.233

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Даниил Сергеевич Черепанов¹, Альбина Валерьевна Сафина²

^{1,2} Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

¹ danil-cherepanov-1999@mail.ru

² alb_saf@mail.ru

Аннотация. Представлены существующие исследования по изменению физико-механических свойств древесных материалов в результате термомодифицирования. Установлена эффективность данного способа обработки и разобраны его недостатки. Рассмотрена возможность использования полученных результатов для повышения качества клееных изделий из древесины.

Ключевые слова: древесина, термомодификация, гидрофобность, биостойкость, долговечность

Для цитирования: Черепанов Д. С., Сафина А. В. Исследование физико-механических свойств термомодифицированной древесины в производстве клееных изделий // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 77–81.

Original article

STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOMODIFIED WOOD IN THE PRODUCTION OF GLUED PRODUCTS

Daniil S. Cherepanov¹, Albina V. Safina²

^{1,2} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹ danil-cherepanov-1999@mail.ru

² alb_saf@mail.ru

Abstract. Existing studies on the change in the physical and mechanical properties of wood materials as a result of thermal modification are presented. The effectiveness of this processing method was established and its shortcomings were analyzed. The possibility of using the obtained results to improve the quality of glued wood products is considered.

Keywords: wood, thermal modification, hydrophobicity, biostability, durability

For citation: Cherepanov D. S., Safina A. V. Study of the physical and mechanical properties of thermomodified wood in the production of glued products // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 77–81.

В развитии технологии деревообработки древесины на сегодняшний день основной целью является улучшение химико- и физико-механических свойств древесины для увеличения спектра ее использования [1, 2].

В строительстве хорошо зарекомендовала себя клееная древесина, которая повсеместно используется как материал для несущих конструкций [3, 4]. Одним из методов, позволяющим повысить эксплуатационные свойства древесины, является термомодификация. Отрицательной стороной данного метода является большая энергозатратность процесса нагрева агента термомодификации. Однако в сравнении с обычной древесиной, термомодифицированная древесина отличается увеличением физико-механических свойств и характеризуется повышенными гигроскопичностью, гидрофобностью и биостойкостью.

Предварительной термомодификацией используемых материалов можно достичь повышение физико-механических свойств клееных изделий. В работе [5] авторами была рассмотрена проблема снижения энергозатратности процесса термомодификации и способ ее решения с помощью изменения начальной температуры, влажности древесины и метода передачи тепла. Особенность предлагаемой технологии заключается в том, что подвод тепловой энергии осуществляется с помощью перфорированной пластины, а используемая древесина имеет высокую начальную влажность. При постоянной температуре и атмосферном давлении осуществляется сушка, до тех пор, пока влажность древесины не достигнет 15–18 %. Далее с помощью повышения давления древесина доводится до абсолютно сухого состояния, после чего древесина нагревается до 200–240 °С, и осуществляется процесс термомодифицирования.

В работе Н. А. Тарбеевой и О. А. Рублёвой [6] рассмотрен метод модифицирования древесины путем обжига поверхности на глубину не более 2 мм. Далее идет термическая обработка при температуре 150–250 °С в течение 1–12 часов в зависимости от толщины древесины. Начальная влажность заготовки составляет 18–20 %, а в конце термомодификации влажность древесины достигает 6 %. Данный метод обеспечивает повышенную гигроскопичность, что в 6 раз больше по сравнению с необработанной древесиной.

В работе [7] было рассмотрено влияние термомодификации на теплопроводные свойства древесины в различных направлениях резки. Образцы

термически модифицировали в течение 3, 6 и 9 ч при температурах 160 °С, 180 °С и 200 °С в окислительной атмосфере с естественной конвекцией. В ходе исследования было выявлено, что плотность и теплопроводность древесного сырья снизились в основном за счет деполимеризации гемицеллюлоз, при этом большее снижение теплопроводности отмечается в поперечном и тангенциальном сечении.

Термически модифицированная древесина становится все более популярным материалом для наружного строительства. В работе [8] проведены исследования фасадных элементов зданий из термически модифицированной норвежской ели, которые были испытаны в полевых условиях при колебании осадков и относительной влажности. Результаты мониторинга показали, что элементы и окна из термически модифицированной ели (ТМС) имели значительно более низкое содержание влаги в древесине по сравнению с элементами из немодифицированной ели. Также установлено положительное влияние термомодификации на долговечность, стабильность размеров и теплопроводность древесины.

Как показал проведенный анализ, использование метода термомодификации увеличивает физико-механические, гидрофобные, гигроскопические свойства и улучшает биостойкость древесины, что положительно отражается на качестве клееных изделий. Рассмотренные исследования и методы позволят применить полученные результаты для повышения эксплуатационных свойств изделий из клееной древесины и продолжить исследования в этом направлении.

Список источников

1. Бурындин Б. Г., Серeda Б. П., Подковыркина О. М. Комплексная переработка древесины: изучение возможности получения малотоксичных древесно-композиционных материалов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2007. – С. 6–8.

2. Физическая модификация сырья для получения древесного и растительного пластика без добавления связующего / В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских, А. В. Артёмов, П. С. Кривоногов, А. Е. Шкуро // Деревообрабатывающая промышленность. – 2020. – № 3. – С. 38–45.

3. Стрекалкин А. А., Васильева Е. А. Особенности проектирования пространственных конструкций из клееной древесины // Вестник магистратуры. – 2018. – № 4–3 (79). – С. 58–62.

4. Турковский С. Б., Погорельцев А. А. Новая конструктивная система крупноблочного домостроения из клееной древесины // Вестник НИЦ Строительство. – 2021. – № 1 (28). – С. 55–62.

5. Патент № 2425305С1 Российская Федерация, МПК F26В 5/04 (2006.01) F26В 3/34 (2006.01). Способ сушки и термической обработки древесины: № 2010108198/06 : заявлен 04.03.2010 : опубликован

27.07.2011 / Р. Р. Сафин, Р. Г. Сафин, Н. А. Оладышкина ; заявитель (ООО «НТЦ РПО»). – 4 с. : ил.

6. Патент № 2 767 195 Российская Федерация, МПК В27М 1/08(2006.01). Способ защитной обработки изделий из древесины: № 2020140240 : заявлен 2020.12.08 : опубликован 2022.03.16 / О. А. Рублёва; заявитель «ВГУ». – 4 с.

7. Iveta Čabalová, Eva Výbohová, Rastislav Igaz, Lubos Kristak, František Kačík, Petar Antov & Antonios N. Papadopoulos (2021) Effect of oxidizing thermal modification on the chemical properties and thermal conductivity of Norway spruce (*Picea abies* L.) wood : Wood Material Science & Engineering. DOI: 10.1080/17480272.2021.2014566.

8. Ales Ugovsek, Barbara Subic, Jernej Starman, Gregor Rep, Miha Humar, Bostjan Lesar, Nejc Thaler, Christian Brischke, Linda Meyer-Veltrup, Dennis Jones, Urban Haggstrom & Jose Ignacio Lozano (2019) Short-term performance of wooden windows and facade elements made of thermally modified and non-modified Norway spruce in different natural environments : Wood Material Science & Engineering, 14:1, 42–47. DOI: 10.1080/17480272.2018.1494627.

References

1. Buryndin B. G., Sereda B. P., Podkovyrkina O. M. Complex wood processing: study of the possibility of obtaining low-toxic wood-composite materials // Cellulose. Paper. Cardboard. – 2007. – P. 6–8.

2. Physical modification of raw materials for obtaining wood and vegetable plastic without adding a binder / V. G. Buryndin, A. V. Savinovsky, A. V. Artyomov, P. S. Krivonogov, A. E. Shkuro // Woodworking industry. – 2020. – № 3. – P. 38–45.

3. Features of the design of spatial structures made of glued wood / A. A. Strekalkin, E. A. Vasilyeva // Vestnik magistracy. – 2018. – № 4–3 (79). – P. 58–62.

4. New structural system of large-block house building made of glued wood / S. B. Turkovsky, A. A. Pogoreltsev // Bulletin of Research and Development Center Construction. – 2021. – № 1 (28). – P. 55–62.

5. Patent № 2425305C1 of the Russian Federation, IPC F26B 5/04 (2006.01) F26B 3/34 (2006.01). Method of drying and heat treatment of wood : № 2010108198/06 : declared 04.03.2010 : published 27.07.2011 / R. R. Safin, R. G. Safin, N. A. Oladyshkina ; applicant (STC RPO LLC). – 4 p. : silt.

6. Patent № 2,767 of the Russian Federation, MPK B27M 1/08 (2006.01). Method of protective treatment of wood products : № 2020140240 : declared 2020.12.08 : published 2022.03.16/O. Rubleva; applicant «VSU». – 4 p.

7. Iveta Čabalová, Eva Výbohová, Rastislav Igaz, Lubos Kristak, František Kačík, Petar Antov & Antonios N. Papadopoulos (2021) Effect of oxidizing thermal modification on the chemical properties and thermal conductivity of Norway spruce (*Picea abies* L.) wood : *Wood Material Science & Engineering*. DOI: 10.1080/17480272.2021.2014566.

8. Ales Ugovsek, Barbara Subic, Jernej Starman, Gregor Rep, Miha Humar, Bostjan Lesar, Nejc Thaler, Christian Brischke, Linda Meyer-Veltrup, Dennis Jones, Urban Haggstrom & Jose Ignacio Lozano (2019) Short-term performance of wooden windows and facade elements made of thermally modified and non-modified Norway spruce in different natural environments : *Wood Material Science & Engineering*, 14:1, 42–47. DOI: 10.1080/17480272.2018.1494627.

Научная статья
УДК 674.419

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ «ФИЗИЧЕСКОГО» ВЫСЫХАНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ДРЕВЕСНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Светлана Борисовна Шишкина¹, Ирина Валерьевна Яцун²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ shishkinasb@m.usfeu.ru

² yatsuniv@m.usfeu.ru

Аннотация. Для прогнозирования времени сушки покрытия на основе ЛКК с рентгенозащитными свойствами с большим содержанием минерального наполнителя можно использовать теоретические закономерности кинетики сушки твердого тела. Сделано обоснование необходимости интенсификации процесса сушки покрытия в случае организации производства изделий со специальными свойствами.

Ключевые слова: лакокрасочная композиция с защитными свойствами, минеральный наполнитель, физическое высыхание, сушка покрытия, время высыхания лакокрасочного состава

Для цитирования: Шишкина С. Б., Яцун И. В. Определение времени «физического» высыхания защитного покрытия со специальными свойствами на древесной подложке // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века.* 2022. С. 82–87.

TIME DETERMINATION OF PHYSICAL DRYING OF A PROTECTIVE COATING WITH SPECIFIC PROPERTIES ON WOOD SUBSTRATE

Svetlana B. Shishkina¹, Irina V. Yatsun²

^{1,2} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ shishkinasb@m.usfeu.ru

² yatsuniv@m.usfeu.ru

Abstract. The aim of the work is to determine the time of «physical» drying of a paint composition with a high content of mineral filler. A technique for using the weight method for the process of coating drying kinetics within the framework of the well-known theory of solid body drying is given. Conclusions are drawn about the need to intensify the coating drying process in the case of organizing the production of products with specific properties.

Keywords: paint composition with protective properties, mineral filler, physical drying, coating drying, paint composition drying time

For citation: Shishkina S. B., Yatsun I. V. Time determination of physical drying of a protective coating with specific properties on wood substrate // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 82–87.

На кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета разработана лакокрасочная композиция (ЛКК) с рентгенозащитными свойствами от ионизирующего излучения, предназначенная для отделки изделий из древесины и древесных композитов. В качестве связующего в ЛКК использовалась водно-дисперсионная акриловая краска, для придания рентгенозащитных свойств – природный сульфат бария, разбавителем являлась вода.

Так как рентгенозащитные свойства ЛКК проявляются только при нанесении ее на подложку, то задача заключалась в подборе режимных параметров формирования защитно-декоративного покрытия.

Как известно, одной из наиболее важных технико-эксплуатационных характеристик является время высыхания состава на древесной подложке [1]. В процессе апробации различных вариантов состава ЛКК были сделаны выводы о том, что присутствие минерального наполнителя в количествах, сопоставимых или превышающих суммарное количество связующего и разбавителя, существенно повышают вязкость композиции и как следствие, увеличивает сухой остаток в пленке, превращая ее в «твердое» тело. Процесс высыхания лакокрасочных материалов на водной основе является «физическим», т. е. отверждение происходит за счет

испарения воды сначала с поверхности пленки, а затем из ее внутренних слоев.

Таким образом, для теоретического прогнозирования времени высыхания защитно-декоративного покрытия можно воспользоваться закономерностями кинетики сушки твердых тел [2].

Кривая процесса сушки лакокрасочного покрытия, протекающего за счет испарения летучих веществ, представлена на рис. 1.

Весь процесс сушки лакокрасочного покрытия условно можно разделить на два периода: сушка с постоянной скоростью (участок BC) и сушка с переменной скоростью (участок CE). Для упрощения расчетов при построении графиков кривая сушки на участке между точками C и E рассматривалась как отрезок [3].

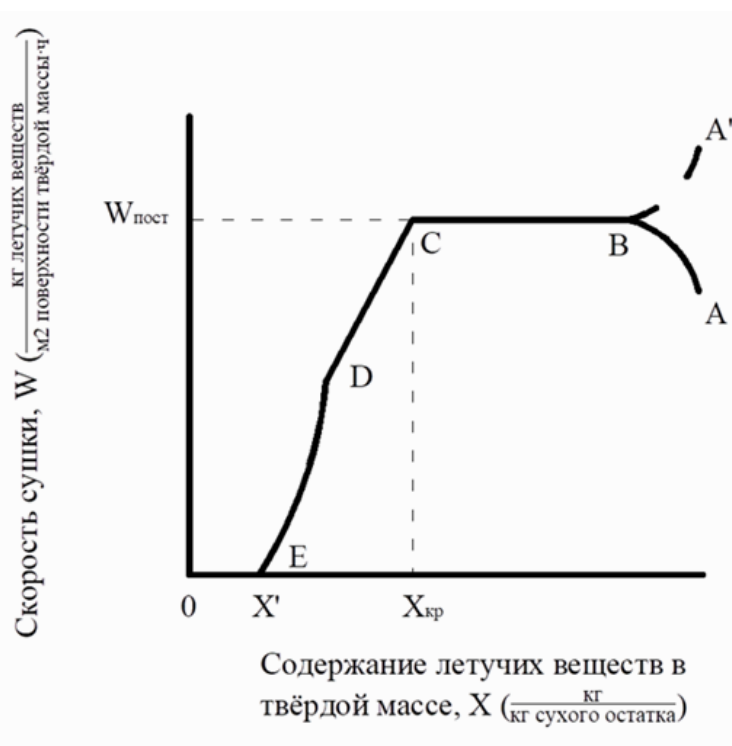


Рис. 1. Кривая процесса сушки лакокрасочного покрытия, протекающего за счет испарения летучих веществ

Для подтверждения теории высыхания твердого тела были проведены пробные исследования по определению времени высыхания рентгенозащитного покрытия на древесной подложке при естественной (атмосферной) сушке (при параметрах воздуха $T = 19 \pm 1$ °C и $W = 65 \pm 5$ %).

Проведенные исследования показали, что время высыхания покрытия превысило 24 часа, что, несомненно, приведет к снижению производительности и ритмичности технологического процесса [4].

Поэтому было принято решение – интенсифицировать процесс высыхания рентгенозащитного покрытия путем использования конвективной сушки. Выходным параметром в эксперименте являлось время высыхания

рентгенозащитного слоя на древесной подложке в условиях процессов конвективной сушки. Для его определения использовался весовой метод [5], представленный ниже.

1. *Подготовка подложки.* Были изготовлены образцы из березовой фанеры (ГОСТ 3916.1-2018) размерами $45 \times 90 \times 5$ мм, которые использовались в качестве древесной подложки. Измерялись вес и площадь образца. Далее полученные образцы шлифовались до шероховатости поверхности $R_m \leq 16$ мкм с последующим нанесением слоя грунтовки на основе ПВА-дисперсии.

2. *Формирование защитного слоя.* Нанесение ЛКК на подложку осуществлялось шпателем вручную. Для получения толщины защитного слоя 3 мм использовался трафарет в размер образца подложки, производилось первое взвешивание образца и фиксировалось начало отсчета времени процесса сушки. Процентное содержание компонентов ЛКК в наносимых на подложку составах представлено в табл. 1.

3. *Конвективная сушка.* Образцы с нанесенным защитным слоем ЛКК загружались в конвективную камеру ШС-10-02 СПУ модели 22-01 с фиксацией времени начала процесса сушки. Отверждение покрытия осуществлялось при температуре агента сушки $T = 60 \pm 1$ °С и влажности $W = 60 \pm 5$ % до достижения покрытием практического высыхания. Взвешивания повторное и последующие проводились с интервалом 10 минут до фиксации трех одинаковых показателей значений массы образца, что свидетельствовало об окончании процесса испарения разбавителя («физическом» высыхании) и стабилизации покрытия. Время окончания процесса сушки фиксировалось в точке достижения первого из трех одинаковых значений массы образца.

Таблица 1

Состав лакокрасочной композиции

Вариант состава	Процентное содержание компонентов в лакокрасочной композиции			Итого
	Водо-дисперсионная акриловая краска	Сульфат бария	Вода	
1	17,0	65,0	18	100
2	19,5	62,5	18	100
3	22,0	60,0	18	100
4	24,5	57,5	18	100
5	27,0	55,0	18	100
6	29,5	52,2	18	100
7	32,0	50,0	18	100
8	34,5	47,5	18	100
9	37,0	45,0	18	100

По результатам проведенных экспериментальных исследований был построен график кинетики процесса сушки покрытия для вышеприведенных вариантов составов (рис. 2).

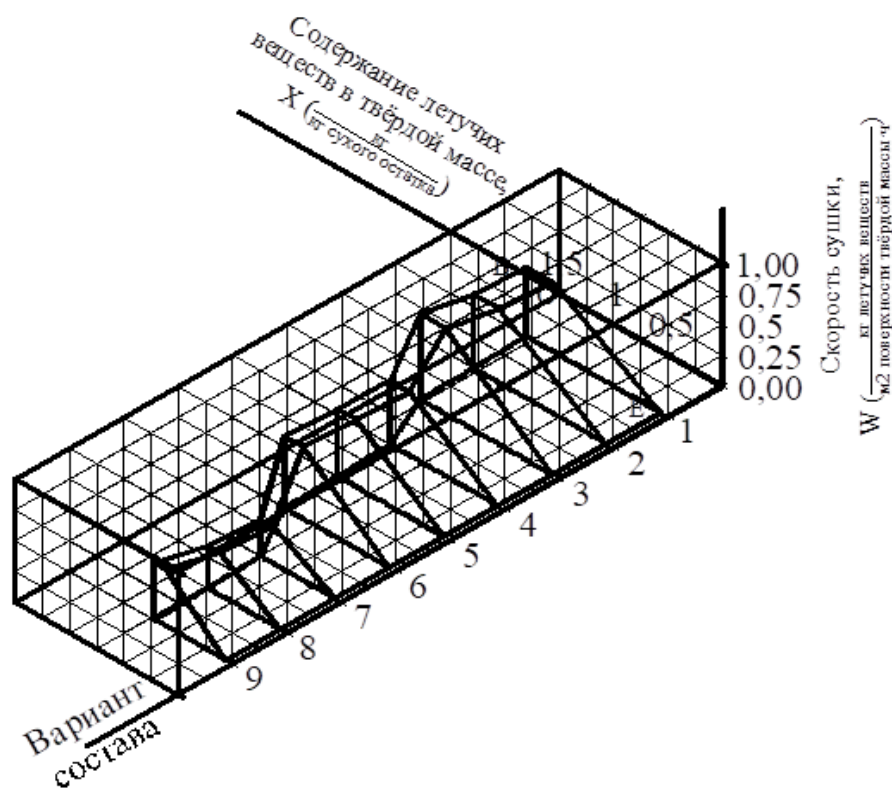


Рис. 2. График кинетики процесса конвективной сушки покрытия для различных вариантов состава лакокрасочной композиции при толщине рентгенозащитного слоя 3 мм

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Для прогнозирования времени сушки покрытия на основе ЛКК с рентгенозащитными свойствами с большим содержанием минерального наполнителя возможно использовать теоретические закономерности кинетики сушки твердого тела.

2. С увеличением процентного содержания минерального наполнителя в ЛКК с рентгенозащитными свойствами снижается скорость сушки рентгенозащитного покрытия и, следовательно, увеличивается время его «физического» высыхания.

3. Применение конвективной сушки рентгенозащитного покрытия по сравнению с атмосферной позволяет сократить время сушки в среднем в 3 раза, т. е. с 24 до 8 часов.

4. Интенсификация процесса сушки позволит существенно сократить производственный цикл отделки изделий со специальными свойствами на деревообрабатывающих предприятиях.

Список источников

1. Онегин В. И., Цой Ю. И., Соколова В. А. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов : учебное пособие. – СПб. : СПбГЛТУ, 2012. – 72 с.
2. Батунер Л. М., Позин М. Е. Математические методы в химической технике. – М. : Изд-во «Химия», 1968. – 824 с.
3. Ветошкин Ю. И., Шишкина С. Б., Яцун И. В. Прогнозирование времени сушки лакокрасочного покрытия со специфическими свойствами на основе модифицированной лакокрасочной композиции // Деревообрабатывающая промышленность. – 2007. – № 5. – С. 23–25.
4. Ветошкин Ю. И., Яцун И. В., Чернышев О. Н. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины : монография. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2009. – 148 с.
5. Лабораторный практикум по техническому анализу и контролю производств лакокрасочных материалов и покрытий : учебное пособие / Под ред. М. И. Карякиной. – М. : Изд-во «Химия», 1989. – 208 с.

References

1. Onegin V. I., Tsoi Yu. I., Sokolova V. A. Technology of protective and decorative coatings of wood and wood materials : textbook. allowance. – St. Petersburg : SPbGLTU, 2012. – 72 p.
2. Batuner L. M., Pozin M. E. Mathematical methods in chemical technics. – M.: Publishing House «Chemistry», 1968. – 824 p.
3. Vetoshkin Yu. I., Shishkina S. B., Yatsun I. V. Forecasting the drying time of a paint coating with specific properties based on a modified paint and varnish composition // Woodworking industry. – 2007. – №. 5. – P. 23–25.
4. Vetoshkin Yu. I., Yatsun I. V., Chernyshev O. N. Designs and operational and technological features of composite X-ray protective materials based on wood : monograph. – Yekaterinburg : Publishing House of UGLTU, 2009. – 148 p.
5. Laboratory workshop on technical analysis and control of the production of paints and varnishes and coatings: textbook. allowance / edited by M. I. Karyakina. – M. : Publishing House «Chemistry», 1989. – 208 p.

ДЕРЕВООБРАБОТКА В МАЛОЭТАЖНОМ И ИНДУСТРИАЛЬНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

WOODWORKING IN LOW-RISE AND INDUSTRIAL HOUSE-BUILDING

Научная статья
УДК 667.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Дмитрий Анатольевич Коленченко¹, Вячеслав Анатольевич Сопига²,
Александр Викторович Кокшаров³**

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

³ Уральский институт Государственной противопожарной службы
МЧС России, Екатеринбург, Россия

¹ dmitrii.kolenchenkod@yandex.ru

² sopigava@m.usfeu.ru

³ a44a33@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена испытанию огнезащитных составов для деревянных конструкций. Выполнены испытания трех огнезащитных составов. Испытания выполнены методом огневой трубы.

Ключевые слова: древесина, горение, защита, состав, испытание

Для цитирования: Коленченко Д. А., Сопига В. А., Кокшаров А. В. Исследование огнезащитных составов для деревянных конструкций // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 88–94.

RESEARCH OF FLAME RETARDANTS FOR WOODEN STRUCTURES

**Dmitrij A. Kolenchenko¹, Vyacheslav A. Sopiga²,
Aleksandr V. Koksharov³**

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

³ Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Russia

¹ dmitrii.kolenchenkod@yandex.ru

² sopigava@m.usfeu.ru

³ a44a33@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the testing of flame retardants for wooden structures. Three flame retardants have been tested. The tests were carried out by the fire tube method.

Keywords: wood, fire, protection, composition, testing

For citation: Kolenchenko D. A., Sopiga V. A., Koksharov A. V. Research of flame retardants for wooden structures // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 88–94.

Древесина как строительный материал применяется достаточно широко, поскольку обладает рядом достоинств – сравнительно высокой прочностью при небольшой плотности, достаточной упругостью, малой теплопроводностью, легкостью механической обработки, долговечностью. При нормальной эксплуатации сооружения из древесины сохраняются много лет.

Из древесины делают несущие конструкции зданий, ограждающие элементы, окна, двери, полы, плинтуса, наличники. Древесина применяется в строительстве в виде круглых лесоматериалов, в виде пиломатериалов – брусья, доски. Отходы древесины используют для производства древесно-волоконных плит, древесно-стружечных плит, клееных деревянных конструкций.

Несмотря на большое количество достоинств древесины как строительного материала она является горючей, что ограничивает ее применение, а также создает пожарную опасность, заключающуюся в возможности распространения и развития пожара [1].

В настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент огнезащитных составов для древесины и вопрос выбора наиболее эффективного состава является актуальным.

Пожарную опасность твердых горючих материалов характеризуют температурой воспламенения, температурой самовоспламенения

и температурой тления [2]. Распространение пламени является одним из важнейших показателей пожарной опасности твердых веществ [2, 8].

Основной количественной характеристикой процесса горения твердых материалов является массовая скорость выгорания. Скорость выгорания влияет на множество динамических характеристик пожара: тепловой режим, скорость изменения температуры, допустимое время эвакуации людей, фактическую огнестойкость конструкций, скорость распространения горения и изменения площади пожара [3, 4].

В настоящее время ведутся научные исследования по поиску составов, которые снижали бы горючесть древесины и переводили ее в группу трудногорючих и негорючих веществ или в группу слабогорючих или умеренногорючих [2, 8].

Обработка огнезащитными составами заключается в нанесении на поверхность защищаемого материала слоя покрытия, эффективность которого определяется физико-химическими свойствами и адгезией к данной поверхности. При местном воздействии кратковременного источника зажигания огнезащитные покрытия затрудняют горение деревянных конструкций, облегчают тушение пожара, а в ряде случаев исключают возможность его возникновения. Огнезащита способом пропитки заключается во введении в материал специальных веществ – антипиренов. Этот способ обеспечивает защиту деревянных конструкций от возгорания при локальном огневом воздействии в условиях возникновения пожара. В данном случае наблюдается только обугливание материала, которое ограничивается площадью воздействия пламени [3, 5, 6, 8].

Огнезащитные краски, лаки, эмали задерживают воспламенение материалов, уменьшают распространение пламени по поверхности материалов. Они выполняют следующие функции: являются защитным слоем на поверхности материалов, поглощают тепло в результате разложения, выделяют ингибиторные газы, высвобождают воду, ускоряют образование коксового слоя на поверхности материала [3, 4, 6, 8].

Составы, используемые для огнезащиты древесины и изделий из нее, в зависимости от входящих в них компонентов подразделяются на лаки, краски (эмали), пасты (обмазки), пропиточные составы, комбинированные составы.

Создание материалов пониженной горючести достигается путем поверхностной и глубокой пропитки материалов специальными составами, введения антипиренов в состав исходных композиций, использования различных минеральных наполнителей, а также путем использования разнообразных технологических приемов.

При применении пропиточных составов, содержащих антипирены, вспучивающихся красок, лаков и эмалей может ставиться задача некоторого снижения распространения пламени по поверхности деревянных

конструкций либо перевода древесины в группу трудногораемых материалов, что дает возможность резко ограничить распространение огня по ним до нормируемых пределов [2, 5, 6].

Наиболее доступным способом огнезащиты деревянных конструкций является покрытие их огнезащитными составами. Составы состоят из связующего вещества, наполнителя и пигмента. Назначение связующего вещества – обеспечить затвердевание смеси с образованием твердой негорючей пленки. Назначение наполнителя – повысить огнезащитный эффект, уменьшить усадку. Назначение пигмента – улучшить декоративные качества покрытия.

Методы испытаний огнезащитных составов предусматривают определение их огнезащитной эффективности и эксплуатационных свойств, выполненных на их основе покрытий. Огнезащитная эффективность является обязательным классификационным показателем, определяющим возможность отнесения состава к огнезащитным [2, 7].

Огнезащитная эффективность составов, используемых для защиты древесины и материалов на ее основе, должна быть подтверждена испытаниями, проведенными по ГОСТ Р 53292 – 2009. По методам, изложенным в данном стандарте, проводят также контроль качества огнезащитных составов (контрольный метод определения огнезащитной эффективности) и определяют устойчивость к старению по сохранению огнезащитной эффективности (метод испытаний на устойчивость к старению).

Метод огневой трубы является экспресс-методом для определения группы горючести сгораемых твердых материалов.

Для проведения испытаний на эффективность огнезащиты нами были приобретены следующие составы: состав огнебиозащитный «СПЕЦНАЗ» № 261 (образец № 1); огнезащитный состав «PROFIWOOD» (образец № 2); огнезащитная пропитка «БРАВЫЙ БРИГАДИР» (образец № 3).

После проведения испытаний образцы взвешивались, определялась потеря массы в % от массы исходного образца.

Далее определяется группа горючести исследуемого вещества. Если самостоятельное пламенное горение или тление, которое оценивают по выделению дыма, продолжается 60 секунд и потеря массы при этом выше 20 %, то испытанный материал относят к группе горючих веществ. Если потеря массы составляет менее 20 % и образцы не горят самостоятельно более 60 секунд, то такие вещества и материалы относят к группе трудногорючих [2, 7].

Результаты испытаний представлены в таблице. Образцы после испытания представлены на рисунке.

Таблица

Результаты испытаний образцов древесины,
обработанных огнезащитными составами

Номер образца	$m_{нач}$, Г, масса начальная	$m_{кон}$, Г, масса конечная	Δm , Г, изменение массы	ПМ, %, потеря массы	Время τ , сек	
					пламенного горения	тления
Состав «Бригадир»						
1	8,10	7,66	0,44	5,4	0	0
2	8,32	7,90	0,42	5,1	0	20
3	12,49	11,82	0,67	5,3	0	14
Состав «Профивуд»						
1	9,6	9,1	0,5	5,2	0	20
2	8,97	8,05	0,92	10,2	2	8
3	9,0	7,95	1,05	11,7	0	20
Состав «Спецназ»						
1	8,28	7,93	0,35	4,23	0	0
2	10,92	10,64	0,28	2,5	0	0
3	7,6	7,48	0,12	1,6	0	0



а

б

в

Образцы древесины после испытания, обработанные
огнезащитными составами:

а – «Профивуд»; б – «Бригадир»; в – Огнебиозащита «Спецназ»

На основе визуализации образцов после испытаний и данных таблицы можно сделать вывод, что потеря массы у всех образцов составила менее 20 % и время пламенного горения и/или тления у всех образцов составляет менее 60 секунд. Следовательно, обработанная древесина всеми приведенными огнезащитными составами относится к трудногорючим материалам.

Список источников

1. Кислицын А. Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. – М. : Лесн. пром-сть, 1990. – 311 с.
2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Новосибирск : Норматика, 2016. – 112 с.
3. Собурь С. В. Огнезащита материалов и конструкций : учебно-справочное пособие. – 4-е изд., доп. (с изм.). – М. : ПожКнига, 2008. – 199 с.
4. Пожарная безопасность в строительстве : учебное пособие / А. Ю. Медведев, В. А. Пестерев, Е. Н. Брюхов и др. ; под общ. ред. О. А. Мокроусовой. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2014. – 235 с.
5. ГОСТ Р 53292-2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на их основе. Общие требования. Методы испытания. – М. : Издательство стандартов, 2009.
6. ГОСТ 20022.6-93. Защита древесины. Способы пропитки. – М. : Издательство стандартов, 1995.
7. ГОСТ 12.01.44-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы определения. – М. : Издательство стандартов, 1989.
8. Балакин В. М., Красильникова М. А., Пазникова С. Н. Замедлители горения для древесины на основе продуктов химической деструкции полиэтилентерефталата // Техносферная безопасность. – 2015. – № 4 (9). – С. 61–65.

References

1. Kislitsyn A. N. Wood pyrolysis: chemistry, kinetics, products, new processes. – M. : Lesn. prom, 1990. – 311 p.
2. Federal Law of 22.07.2008 № 123-FZ Technical Regulations on Fire Safety Requirements. Novosibirsk : Normatika, 2016. – 112 p.
3. Sobur S. V. Fire protection of materials and structures: educational and reference manual. – 4th ed., additional (with rev.). – M. : PozBook, 2008. – 199 p.
4. Fire safety in construction: training manual / A. Yu. Medvedev, V. A. Pesterev, E. N. Bryukhov, etc. ; under the general editor O. A. Mokrousova. – Yekaterinburg : Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, 2014. – 235 p.
5. GOST R 53292-2009. Fire retardants and substances for wood and materials based on them. General requirements. Test methods. – M. : Publishing House of Standards, 2009.

6. GOST 20022.6-93 Protection of wood. Impregnation methods. – M. : Publishing House of Standards, 1995.

7. GOST 12.01.44-89. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of determination. – M. : Publishing House of Standards, 1989.

8. Balakin V. M., Krasilnikova M. A., Paznikova S. N. Combustion retardants for wood based on chemical degradation products of polyethylene terephthalate // Technosphere safety. – 2015. – № 4 (9). – P. 61–65.

ПРОГРЕССИВНОЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

PROGRESSIVE WOODWORKING EQUIPMENT AND TOOLS

Научная статья
УДК 676. 024. 61

БАЛАНСИРОВКА ЯНКИ-ЦИЛИНДРА БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Сергей Николаевич Вихарев¹, Валерий Павлович Сиваков²,
Евгений Григорьевич Кучумов³**

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

^{1, 2, 3} cbp200558@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты балансировки янки-цилиндра бумагоделательной машины. Янки-цилиндр отбалансирован на месте его установки на бумагоделательной машине по методу подбора корректирующих масс. Параметры вибрации уменьшились после балансировки на лицевой опоре в 2,1 раза, приводной опоре в 2,7 раз. Стабильность нагрузки привода после балансировки значительно улучшилась.

Ключевые слова: бумагоделательная машина, янки-цилиндр, балансировка

Для цитирования: Вихарев С. Н., Сиваков В. П., Кучумов Е. Г. Балансировка янки-цилиндра бумагоделательной машины // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 95–99.

BALANCING OF UNKI-CYLINDER PAPERMAKING MACHINE

Sergey N. Vikharev¹, Valery P. Sivakov², Evgeny G. Kuchumov³

^{1, 2, 3} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{1, 2, 3} cbp200558@mail.ru

Abstract. In article results of balancing of unki-cylinder papermaking machines are submitted. The Unki-cylinder balancing on a place of his installation on papermaking machines on trial and error method of adjusting weights. Parameters of vibration have decreased after balancing on an obverse support – in 2.1 times, приводной to a support – in 2.7 times. Stability of loading of a drive after balancing has considerably improved.

Keywords: paper machine, Yankee cylinder, balancing

For citation: Vikharev S. N., Sivakov V. P., Kuchumov E. G. // Balancing of unki-cylinder papermaking machine // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 95–99.

При модернизации бумагоделательной машины №1 на ЗАОр Туринский ЦБЗ возникла необходимость проведения балансировки янки-цилиндра на месте его установки. Янки-цилиндр, диаметром 4479 мм, шириной 2265 мм, массой 45000 кг. Материал рубашки – сталь, крышки – чугун. Отношение диаметра к ширине – 1,98. Частота вращения при скорости бумагоделательной машины 500 м/мин – 35,55 об./мин или 0,59 Гц. Диаметр янки-цилиндра превышает его ширину в 1,98 раз и цилиндр имеет частоту вращения не более одного Гц. Для таких цилиндров рекомендуется статическое уравнивание вращающихся масс [1].

Янки-цилиндр отбалансирован статически по методу подбора корректирующих масс. Корректирующая масса составила 38 кг на радиусе цилиндра 2000 мм. Параметры вибрации корпусов подшипниковых опор янки-цилиндра до и после балансировки представлены в табл. 1 и на рис. 1–3.

Таблица 1

Параметры вибрации опор янки-цилиндра

Место измерения вибрации	Виброперемещение, мкм, до балансировки	Виброперемещение, мкм, после балансировки
Лицевая опора	56	27
Приводная опора	32	12

Параметры вибрации опор янки-цилиндра после балансировки не превышают параметров, регламентируемых ГОСТ 26493 – 85 [2]. Параметры вибрации уменьшились после балансировки на лицевой опоре – в 2,1 раза, приводной опоре – в 2,7 раз.

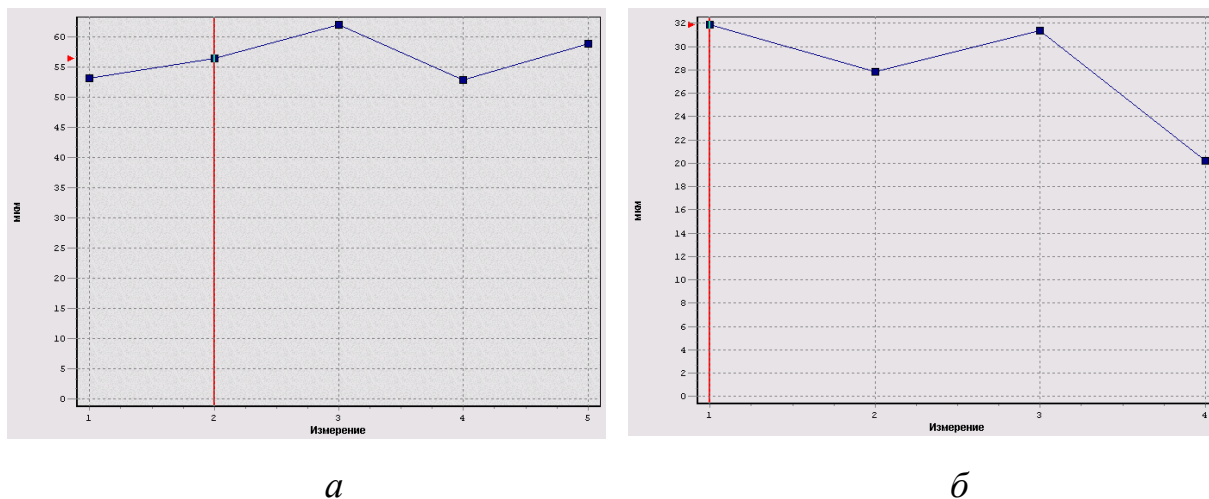


Рис. 1. Параметры вибрации лицевой (а) и приводной (б) подшипниковых опор янки-цилиндра до балансировки

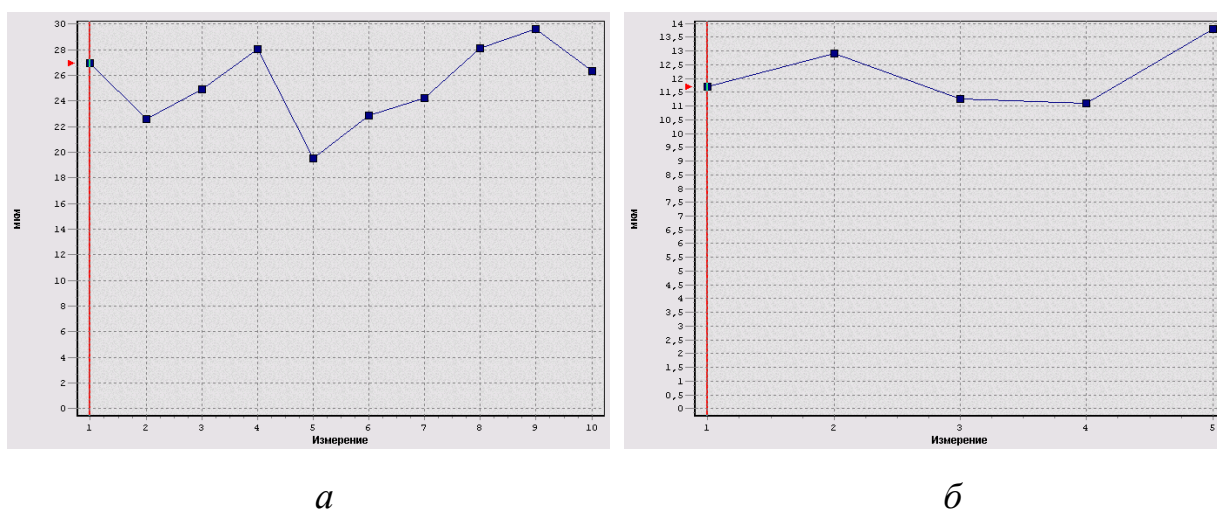
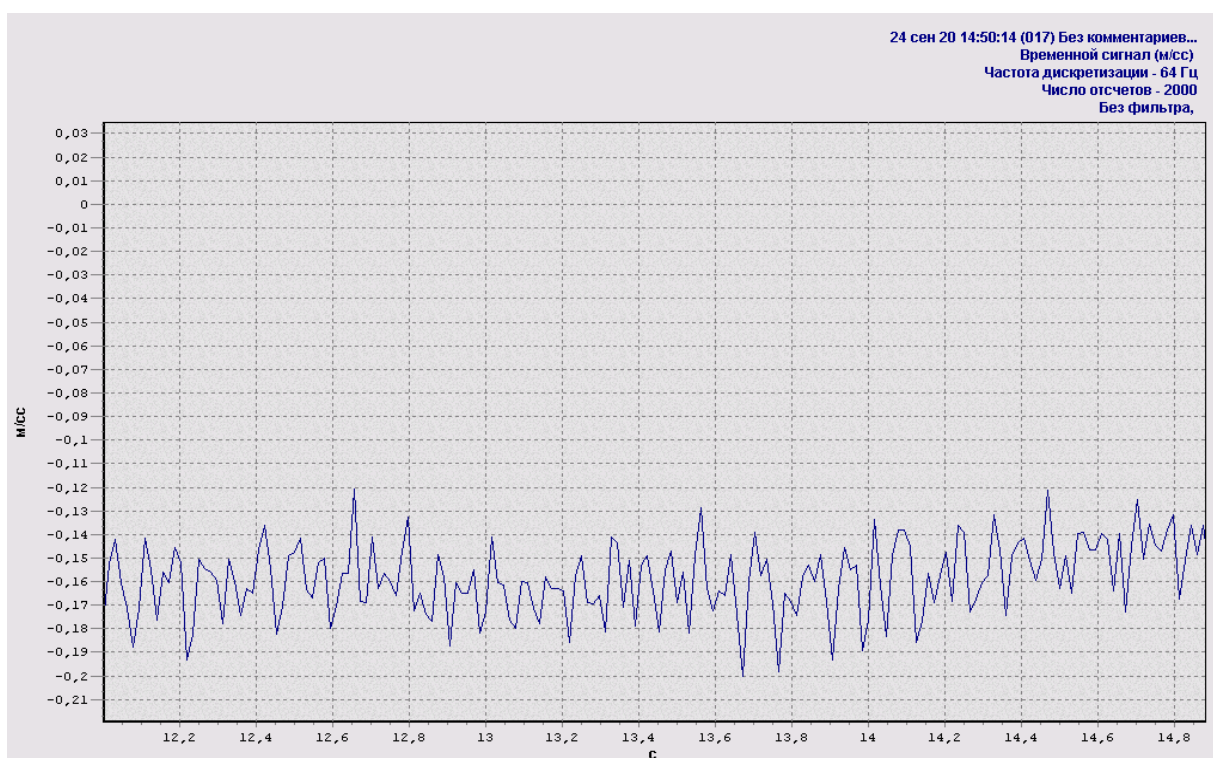


Рис. 2. Параметры вибрации лицевой (а) и приводной (б) подшипниковых опор янки-цилиндра после балансировки



а



б

Рис. 3. Временная зависимость амплитуды вибрации лицевой опоры янки-цилиндра до (а) и после (б) балансировки

Параметры тока электропривода до и после балансировки янки-цилиндра представлены в табл. 2.

Таблица 2

Ток, потребляемый электроприводом янки-цилиндра

Размах силы	Показатели
Размах силы тока до балансировки, А, при скорости машины 360 м/мин	182–285
Размах силы тока после балансировки, А, при скорости машины 330 м/мин	238–260

Размах силы тока до балансировки янки-цилиндра составлял 103 А, после балансировки – 22 А. Стабильность нагрузки электропривода улучшилась.

Выводы. Янки-цилиндр отбалансирован на месте его установки на бумагоделательной машине по методу подбора корректирующих масс. Корректирующая масса составила 38 кг на радиусе цилиндра 2000 мм.

Параметры вибрации уменьшились после балансировки на лицевой опоре – в 2,1 раза, приводной опоре – в 2,7 раз.

Размах силы тока электропривода до балансировки составлял 103 А, после балансировки – 22 А. Стабильность нагрузки привода улучшилась.

Список источников

1. Вибрации и технике : справочник. Защита от вибрации и ударов. В 6 т. – Т. 6. – 2-е изд., испр. и доп. / Ред. совет : К. В. Фролов (пред.). – М. : Машиностроение, 1995. – 456 с.

2. ГОСТ 26493-85. Вибрация. Технологическое оборудование целлюлозно-бумажного производства. Нормы вибрации. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.

References

1. Vibrations and Techniques: Reference Book. Vibration and shock protection. In 6 vols. – Vol. 6. – 2nd ed., ispr. and add. / Ed. Council : K. V. Frolov (previously). – M. : Mechanical engineering, 1995. – 456 p.

2. GOST 26493-85. Vibration. Pulp and Paper Production Process Equipment. Vibration norms. – M. : Publishing House of Standards, 1985. – 8 p.

Научная статья
УДК 621.914:674:004

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Виктор Николаевич Гаранин¹, Татьяна Александровна Машорипова²

^{1,2} Белорусский государственный технологический университет,

Минск, Республика Беларусь

^{1,2} dosy@bstu.unibel.by

Аннотация. Данная статья посвящена оценке исследований в области вибрационного разрушения материалов с целью нахождения возможностей повысить износостойкость дереворежущего фрезерного инструмента. Использование вибрационного взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом при высокоскоростном резании древесины позволяют изменить условия взаимодействия инструмент-деталь, что открывает новые возможности к использованию упрочняющих технологий, базирующихся не только на использовании покрытий или обработке режущих материалов.

Использование вибраций при дроблении древесины на щепу в деревообрабатывающем оборудовании позволяет влиять на динамику резания древесины, что положительно сказывается на возможностях использования инструментальных материалов с низкой ударной вязкостью для изготовления дереворежущего инструмента.

Ключевые слова: обработка древесины, фрезерный инструмент, вибрация, износостойкость

Для цитирования: Гаранин В. Н., Машорипова Т. А. Анализ возможностей использования вибраций при обработке древесины и других материалов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 100–107.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING VIBRATIONS IN THE PROCESSING OF WOOD AND OTHER MATERIALS

Victor N. Garanin¹, Tatyana A. Mashoripova²

^{1,2} Belarusian State University of Technology, Minsk, Republic of Belarus

^{1,2} dosy@bstu.unibel.by

Abstract. This article is devoted to the assessment of research in the field of vibration destruction of materials in order to find opportunities to increase the wear resistance of wood-cutting milling tools. The use of the vibrational interaction of the tool with the material being processed during high-speed cutting of wood will make it possible to change the conditions of interaction between the tool-detail, which opens up new possibilities for the use of hardening technologies based not only on the use of coatings or processing of cutting materials.

The use of vibrations during receiving chips in woodworking equipment allows to influence on the dynamics of wood cutting, which has a positive effect on the possibilities of using tool materials with low impact strength for the manufacture of wood-cutting tools.

Keywords: wood processing, milling tool, vibration, wear resistance

For citation: Garanin V. N., Mashoripova T. A. Analysis of the possibilities of using vibrations in the processing of wood and other materials // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 100–107.

Изучению вибрационного резания древесины в прошлом было уделено внимание исследователями, которые занимались изучением способов деления древесных материалов. Так, в работе [1] Любченко рассматривал открытое прямолинейное резание, когда главное движение лезвия относительно неподвижной заготовки складывается из двух движений: поступательного с постоянной скоростью V_1 и возвратно-поступательного (колебательного) с переменной скоростью V_2 , изменяющейся по синусоидальному закону.

При таком резании наблюдались условия, когда происходила повторная зачистка лезвием поверхности резания, что положительно сказывалось на качестве обработанной поверхности. Как видим, аналогично использованию рефлекторного фрезерования, дополнительные степени свободы инструмента при обработке древесины позволяют добиться улучшения качества обработанных поверхностей без увеличения скоростей деталей привода или увеличения количества режущих элементов.

Большинство исследований вибраций при резании изотропных материалов выполнено на основе упрощенных структурных схем. Чаще изучение вредных вибраций проводят на основе исследования влияния отдельных первичных параметров на интенсивность вибраций и результаты обработки. Так, А. И. Кашириным выполнены исследования интенсивности вредных вибраций с учетом влияния особенностей процесса трения только на контактных поверхностях [2], Л. П. Соколовским – с учетом особенностей пластического деформирования при врезании и выходе инструмента, И. С. Штейнбергом – с учетом процесса наростообразования.

Надо отметить, что совершенно недостаточно изучен механизм влияния вредных вибраций, обусловленных процессом резания, на вторичные факторы и прежде всего на стойкость и прочность инструмента. Исследования полезных вибраций, задаваемых специальными вибраторами, проведены, как правило на основе рассмотрения прямой взаимосвязи первичных и вторичных факторов без изучения физических закономерностей процесса резания, определяющих эту взаимосвязь.

К паре «инструмент – разрезаемый материал» следует обратить внимание на третье – полевое воздействие.

Влияние импульсного воздействия на металл было определено в лабораторных условиях [2, 3, 4].

Так, для исследования влияния вибрации на процесс резки арматурной стали, профессором С. А. Волковым был использован вибратор направленного действия с частотой ~ 25 Гц ($P = 1$ кВт, $n = 1540$ мин⁻¹). Он провел 230 экспериментов, показав, что в режиме резонанса наблюдается существенное снижение сил резания (более чем в четыре раза была уменьшена сила резания).

С целью расширения частотного диапазона С. А. Евтюковым [2] были выполнены эксперименты по выявлению влияния ультразвукового воздействия на зону резания металлов. Удалось снизить силу резания в 1,8–2,2 раза на частоте 7,9 кГц. Для этого исследования был применен оптимальный метод статистического планирования эксперимента.

Эффект снижения прочности материала наблюдался в экспериментах, проведенных в начале 60-х годов в СССР при снятии внутренних напряжений со сварных конструкций и с затвердевшего бетона с помощью ультразвукового воздействия, а также в экспериментах со стальными шариками и плитой. Если прочность шарика была выше прочности плиты, то под воздействием ультразвука шарик деформировался (при большей прочности) только от собственного веса.

Этот же эффект наблюдался болгарским профессором Г. С. Ангеловым [5] при растяжении монокристаллов цинка и алюминия.

Объяснение роли цикличности нагружения в разрушении материалов дают Ю. А. Никонов и В. А. Степанов [6]. Они считают, что одной из причин понижения напряжения разрушения при циклической нагрузке

является взаимодействие поля микронапряжений от внешней нагрузки цикла с остаточными микронапряжениями, возникающими в теле после предыдущих циклов. Остаточные микронапряжения и микродефекты возникают при растяжении, а при сжатии происходит «отдых». Если сразу после растяжения в каждом цикле проводить мероприятия по снятию остаточных напряжений, то долговечность тела могла бы быть значительно повышена.

Следует также обратить внимание и на зарубежный опыт изучения вибраций при резании различных материалов [7–22]. Схематично результаты изучаемых направлений можно представить в следующем виде (рис. 1).

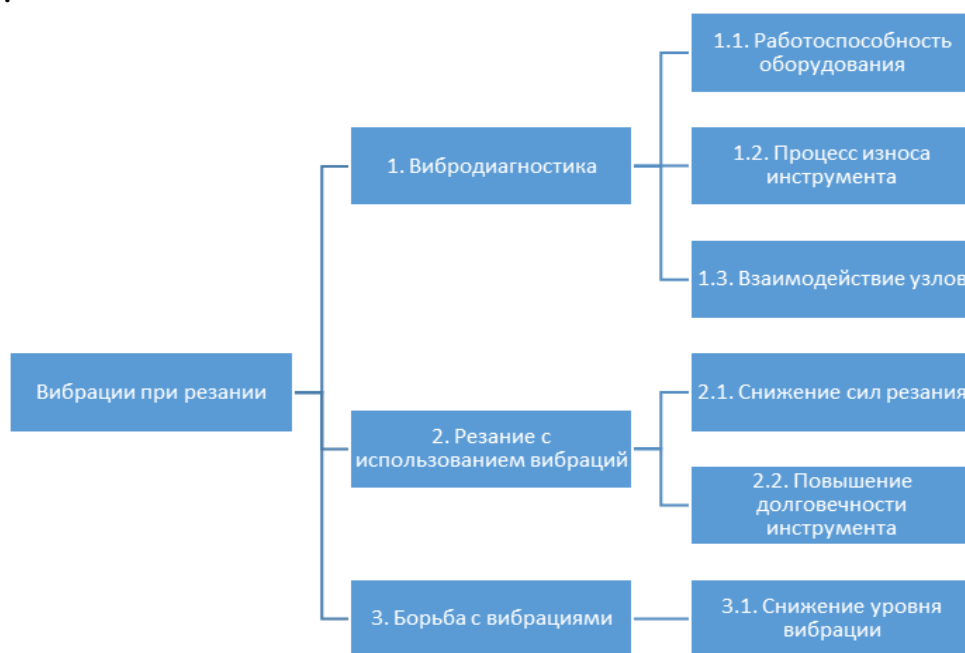


Рис. 1. Зарубежный опыт в изучении вибраций при резании материалов

Наиболее интересным из рассмотренных зарубежных материалов с точки зрения влияния вибраций на силообразование процесса разрушения древесины следует считать работу [21], где созданием алиптических вибраций обеспечивается «накачка» необходимых для разрушения материала напряжений сжатия (рис. 2).

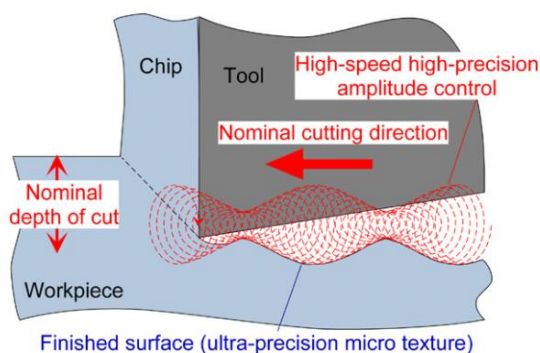


Рис. 2. Точение с использованием алиптических вибраций [21]

На примере обработки сталей вибрации, обусловленные процессом резания с оптимальными параметрами (частотой и амплитудой), можно использовать их для улучшения механической обработки, т. е. превратить вредные вибрации в полезные путем адаптации их к условиям создания разрушающих напряжений в зоне резания. В частности, для процесса цилиндрического фрезерования материалов данные условия взаимодействия характеризуются циклоидальным характером образования поверхностей, и создание полезных вибраций следует рассматривать именно в процессе формирования циклоиды. Создание полезных вибраций при циклоидальном взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом предлагается обеспечивать с помощью рабочих органов деревообрабатывающего оборудования (механизмов резания, подачи и базирования), что может послужить целью дальнейших работ на указанную тему. Для примера, создание вибраций приводом механизма резания можно обеспечить за счет использования жесткости ременной передачи, представленной на рис. 3.

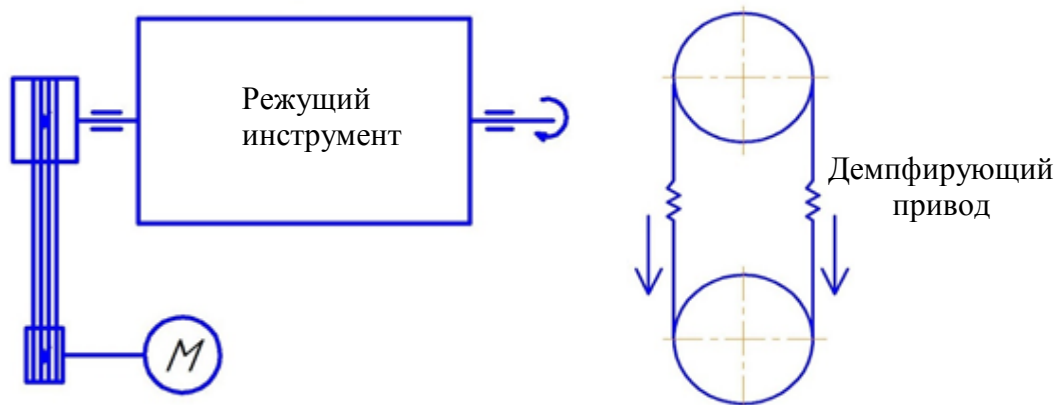


Рис. 3. Схема создания вибраций приводом резания

Подобные схемы можно представить для различных рабочих органов обрабатывающего оборудования.

Таким образом, изучению полезных вибраций при резании различных материалов уделяется большое внимание и наблюдается постоянный поиск новых методов снижения сил резания, оказывающих большое влияние на стойкость инструмента (особенно при ударных нагрузках).

Список источников

1. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов : учебное пособие для вузов. – М. : Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.
2. Волков С. А. Влияние динамических нагрузок на прочность и реологическое поведение твердых тел (о механизмах самоорганизации структур дефектов кристаллической решетки в зонах деформаций) // Синергетика и методы науки. – СПб. : Наука, 1998. –155 с.

3. Волков С. А. Влияние скорости резания и вибрации на величину усилий в зоне среза // Строительные и дорожные машины : докл. к XXIV науч. конф. ЛИСИ. – Л.; 1966. – С. 34–36.
4. Волков С. А. Физические основы рабочих процессов машин для изготовления арматуры железобетонных конструкций. – СПб., 2001. – 125 с.
5. Применение ультразвука в промышленности / Под ред. А. И. Маркова. – М. : Машиностроение; София : Техника, 1975. – 240 с.
6. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Л. Б. Зельдович и др. – М. : Наука, 1966. – 686 с.
7. Dimla D. E. The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation, *Int J Adv Manuf Technol.* – 2002. – С. 19:705–713.
8. Sz wajka K., Gó rski J. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal // *Journal of Physics : Conference Series* 48. – 2006. – С. 1205–1209.
9. Philips S. Active vibration control and real-time cutter path modification in rotary wood planning / Philips S. Ogun, Michael R. Jackson // *Mechanics Volume.* – 2017. – № 46. October. – P. 21–31.
10. Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling // *Int J Adv Manuf Technol.* – 2006. – P. 688–692.
11. Wse of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling / J. Gorski, K. Szymanowski, P. Podziewski, K. Smietanska, P. Charniak, M. Cyrankowski // *Sensing tool wear in milling, Gorski et al.* – *BioResources.* – 2019. – № 14 (2). – P. 3379–3388.
12. Tratar J., Pusavec F., Kopac J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot // *Journal of Mechanical Science and Technology.* – 2014. – № 28 (11). – P. 4421–4429.
13. Kovatchev G. Influence of the belt type over vibrations of the cutting mechanism in woodworking shaper // *Chip and chipless woodworking processes.* – 2018. – № 11 (1). – P. 105–110.
14. Fang X. D., Yao Y., Arndt G. Monitoring groove wear development in cutting tools via stochastic modelling of three-dimensional vibrations // *Elsevier Sequoia, Lausanne, Wear.* – 1991. – I51. – P. 143–156.
15. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / X. Chuangwen, D. Jianming, C. Yuzhen, L. Huaiyuan, S. Zhicheng and X. Jing // *Advances in Mechanical Engineering.* – 2018. – Vol. 10 (1). – P. 1–14.
16. Gochev Z., Vukov G. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration // *Acta facultatis xylogologiae Zvolen.* – 2017. – № 59 (2). – P. 147–153.

17. Tian J. F., Hutton S. G. Cutting-induced vibration in circular saws // *Journal of Sound and Vibration*. – 2001. – № 242 (5). – P. 907–922.
18. Md. Sayem Hossain Bhuiyan, Imtiaz Ahmed Choudhury. Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel // *Machining Science and Technology*. – 2015. – № 19. – P. 236–261.
19. Nasir V., Cool J. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* : Received : 26 March 2020 /Accepted : 18 May 2020. – P. 202–217.
20. Corrosion of materials used as cutting tools of wood / M. Gauvent, E. Rocca, P. J. Meausoone, P. Brenot // *Wear* 261: 2006. – P. 1051–1055.
21. Suzuki N., Yokoi H., Shamoto E. Micronano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting // *Precision Engineering* 35: 2011. – P. 44–50.
22. Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling // *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46: 2006. – P. 659–666.

References

1. Lyubchenko V. I. Cutting wood and wood material. – Moscow : Lesnaya prom-st', 1986. – 296 p.
2. Volkov S. A. The influence of dynamic loads on the strength and rheological behavior of solids (on the mechanisms of self-organization of crystal lattice defect structures in deformation zones) // *Synergetics and methods of Science*. – St. Petersburg : Nauka, 1998. – 155 p.
3. Volkov S. A. The influence of cutting speed and vibration on the amount of effort in the cut zone // *Construction and road machines: dokl. to XXIV scientific conf. LISI*. – L. ; 1966. – P. 34–36.
4. Volkov S. A. Physical fundamentals of working processes of machines for the manufacture of reinforcement of reinforced concrete structures. – St. Petersburg, 2001. – 125 p.
5. Application of ultrasound in industry / ed. by A. I. Markov. – M. : Mashinostroenie ; Sofia : Technika, 1975. – 240 p.
6. Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena / L. B. Zeldovich [et al.]. – M. : Nauka, 1966. – 686 p.
7. Dimla D. E. The Correlation of Vibration Signal Features to Cutting Tool Wear in a Metal Turning Operation, *Int J Adv Manuf Technol*. – 2002. – P. 19:705–713.
8. Szwajka K., Górski J. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal // *Journal of Physics : Conference Series* 48. – 2006. – P. 1205–1209.

9. Philips S. Active vibration control and real-time cutter path modification in rotary wood planning / Philips S. Ogun, Michael R. Jackson // *Mechanics Volume*. – 2017. – № 46. October. – P. 21–31.
10. Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling // *Int J Adv Manuf Technol*. – 2006. – P. 688–692.
11. Wse of cutting force and vibro-acoustic signals in tool wear monitoring based on multiple regression technique for compreg milling / J. Gorski, K. Szymanowski, P. Podziewski, K. Smietanska, P. Charniak, M. Cyrankowski // *Sensing tool wear in milling*, Gorski et al. – *BioResources*. –2019. – № 14 (2). – P. 3379–3388.
12. Tratar J., Pusavec F., Kopac J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard with an industrial robot // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2014. –№ 28 (11). – P. 4421–4429.
13. Kovatchev G. Influence of the belt type over vibrations of the cutting mechanism in woodworking shaper // *Chip and chipless woodworking processes*. – 2018. – № 11 (1). – P. 105–110.
14. Fang X. D., Yao Y., Arndt G. Monitoring groove wear development in cutting tools via stochastic modelling of three-dimensional vibrations // *Elsevier Sequoia, Lausanne ,Wear*. – 1991. – I51. – P. 143–156.
15. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / X. Chuangwen, D. Jianming, C. Yuzhen, L. Huaiyuan, S. Zhicheng and X. Jing // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2018. – Vol. 10 (1). – P. 1–14.
16. Gochev Z., Vukov G. Influence of the wearing of the saw unit elements of the wood shaper on the system vibration // *Acta facultatis xylogologiae Zvolen*. – 2017. – № 59 (2). – P. 147–153.
17. Tian J. F., Hutton S. G. Cutting-induced vibration in circular saws // *Journal of Sound and Vibration*. – 2001. –№ 242 (5). – P. 907–922.
18. Md. Sayem Hossain Bhuiyan, Imtiaz Ahmed Choudhury. Investigation of Tool Wear and Surface Finish by Analyzing Vibration Signals in Turning Assab-705 Steel // *Machining Science and Technology*. – 2015. – № 19. – P. 236–261.
19. Nasir V., Cool J. Intelligent wood machining monitoring using vibration signals combined with self-organizing maps for automatic feature selection // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* : Received : 26 March 2020 /Accepted : 18 May 2020. – P. 202–217.
20. Corrosion of materials used as cutting tools of wood / M. Gauvent, E. Rocca, P. J. Meausoone, P. Brenot // *Wear* 261: 2006. – P. 1051–1055.
21. Suzuki N., Yokoi H., Shamoto E. Micronano sculpturing of hardened steel by controlling vibration amplitude in elliptical vibration cutting // *Precision Engineering* 35: 2011. – P. 44–50.
22. Gwo-Lianq Chern, Yuan-Chin Chang. Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling // *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46: 2006. – P. 659–666.

Научная статья
УДК 674.914:674.338

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ НОЖА ФРЕЗЫ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩЕГО СТАНКА НА КАЧЕСТВО ТОРЦЕВОГО СРЕЗА ЭЛЕМЕНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

Игорь Казимирович Клепацкий¹, Вячеслав Валерьевич Раповец²

^{1,2} Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь

^{1,2} igorklepatski@gmail.com

Аннотация. Эффективность измельчения круглого древесного сырья зависит от различных факторов, в частности – от износа ножей перерабатывающего оборудования. Износ ножей был определен в ходе долгосрочного исследования, проведенного на лесопильном заводе по переработке древесного сырья ОАО «Борисовский ДОК».

Данная статья предоставляет возможность непосредственной оценки влияния состояния режущих кромок лезвия ножа на геометрию микроструктуры элемента технологической щепы при фрезеровании древесины сосны малоножевыми торцово-коническими фрезами.

Ключевые слова: резание, нож, технологическая щепка, агрегатная обработка, стойкость, качество, фрезерно-брусующий станок

Для цитирования: Клепацкий И. К., Раповец В. В. Оценка влияния состояния режущей кромки ножа фрезы фрезерно-брусующего станка на качество торцевого среза элемента технологической щепы // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 108–114.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE STATE OF THE CUTTING EDGE OF THE KNIFE OF THE CUTTER-CUTTER MACHINE ON THE QUALITY OF THE END CUT OF THE ELEMENT OF TECHNOLOGICAL CHIPS

Ihar K. Klepatski¹, Vyacheslav V. Rapovets²

^{1,2} Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

^{1,2} igorklepatski@gmail.com

Abstract. The efficiency of grinding round wood raw materials depends on various factors, in particular, on the wear of the knives of the processing equipment. The wear of knives was determined in the course of a long-term study conducted at the sawmill for the processing of wood raw materials of OJSC Borisovsky DOK.

This article provides an opportunity to directly assess the effect of the state of the cutting ability of a knife blade on the geometry of the microstructure of an element of technological chips during milling of pine wood with small-blade face-conical cutters.

Key words: cutting, knife, technological chips, aggregate processing, durability, quality, chipper-canter

For citation: Klepatski I. K., Rapovets V. V. Evaluation of the influence of the state of the cutting edge of the knife of the cutter-cutter machine on the quality of the end cut of the element of technological chips // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 108–114.

Для полной переработки сырья на деревоперерабатывающих предприятиях важно включать в технологический процесс применение максимального объема древесных ресурсов, не исключая отходы от основных этапов обработки. Проведенные исследования показали, что полное использование древесного материала напрямую связано с созданием экологических и безотходных производств [1, 2]. Важным направлением использования круглого леса является технологическая щепка, которая имеет подходящее качество для переработки с применением варочных котлов и т. п. независимо от времени года, погодных условий и изменений в составе исходного сырья [3]. Качество технологической щепки имеет первостепенное значение как для выхода полуфабриката при химическом производстве целлюлозы, так и для последующих этапов процесса [4, 5].

Промышленные испытания проводились на экспериментальной партии ножей из стали 6ХС, на фрезерно-брусующей линии LINK V25 фрезерно-брусующего станка LINK VS22 (ОАО «Борисовский ДОК», РБ), был получен ряд данных по динамике технологической стойкости лезвия ножа

от объема переработанной древесины сосны [6]. Агрегатная линия позволяет попутно получать профилированный брус из сердцевинной зоны бревна и технологическую щепу из обапола. Исходные данные проведенных экспериментальных исследований были следующими: объем обработанной древесины хвойных пород составил 2100 м^3 и по составу 95 % сосна, 5 % ель, частота вращения малоножевых фрез 1090 мин^{-1} , скорость подачи 25 м/мин, время работы ножей без переточки 40 ч (5 рабочих смен). Производственные этапы переработки кругляка с получением технологической щепы и обрезной доски представлены на рис. 1.

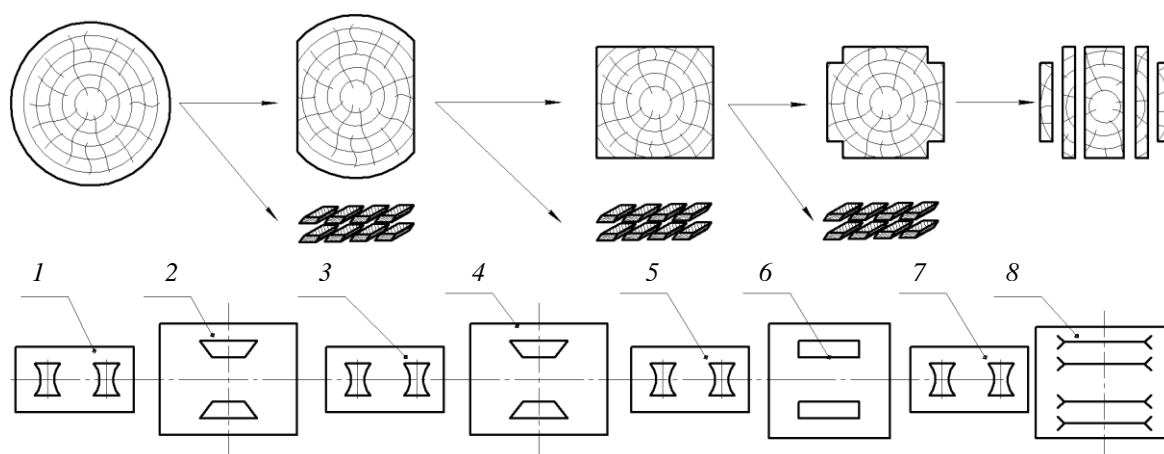


Рис. 1. Технологическая схема получения щепы на фрезерно-брусующей линии LINK V25:

- 1, 3, 5, 7 – цепной транспорте; 2 – фрезерно-брусующий узел первого прохода;
4 – фрезерно-брусующий узел второго прохода; 6 – профилирующий агрегат;
8 – пильный агрегат

Обе малоножевые сборные торцово-конические фрезы фрезерно-брусующего станка второго прохода (левая и правая, рис. 1 поз. 4) были оснащены тремя сборными модифицированными ножами [7] со следующими геометрическими параметрами: угол заточки длинного лезвия 36° , угол заточки короткого лезвия 36° , угол наклона кромки длинного лезвия ножа $+30^\circ$, угол наклона кромки короткого лезвия ножа 0° . Сборные ножи были переподготовлены – радиус заточки режущих кромок составил 4–6 мкм; ножи установлены в корпусе с необходимым смещением в корпусе фрезы с использованием специального шаблона и набора концевых мер.

Были собраны образцы щепы из 5 смен работы инструмента с целью исследования качества торцевого среза щепы в зависимости от состояния режущей кромки дереворежущего фрезерного инструмента [8, 9]. Для проведения работ на микроскопе были отобраны образцы элементов щепы, строго соответствующие ГОСТ 15815–83 [10], линейные размеры контролировались штангенциркулем с точностью $\pm 0,1 \text{ мм}$.

На рис. 2 представлена зависимость радиуса округления режущей кромки ρ , мкм, от пройденного суммарного пути резания Σl , м.

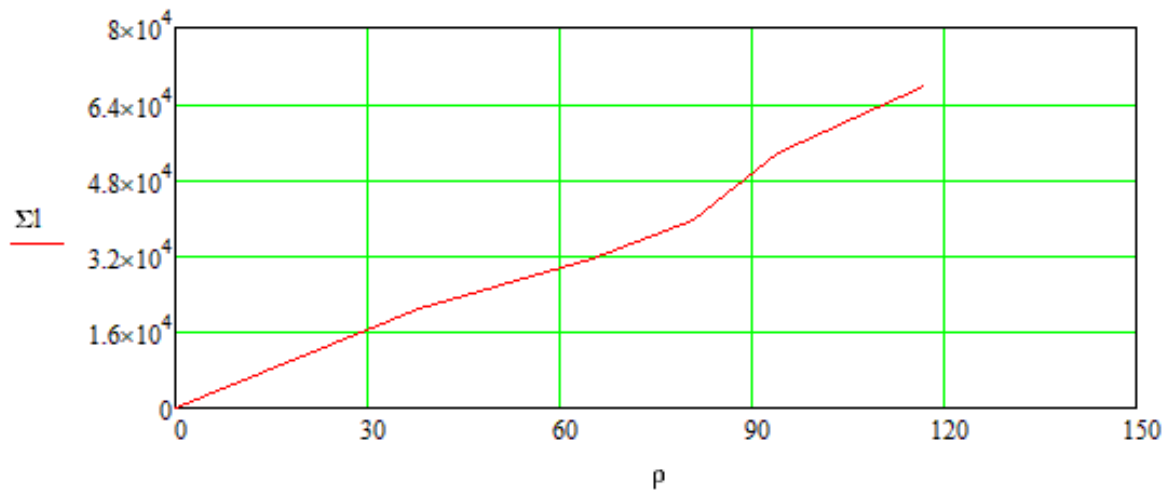


Рис. 2. Зависимость радиуса округления режущей кромки ρ , мкм, от пройденного суммарного пути резания Σl , м

Фотографии образцов торца элементов технологической щепы в зависимости от радиуса округления режущей кромки представлены на рис. 3–7.

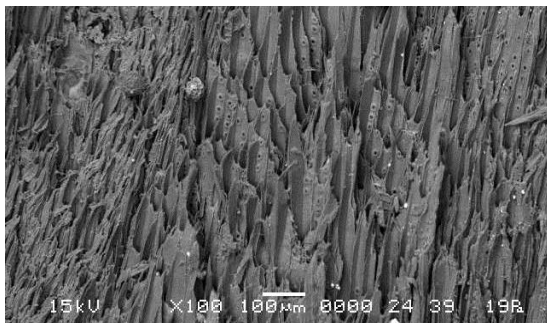


Рис. 3. Макрофотография торцевого среза технологической щепы ($\rho = 38$ мкм)

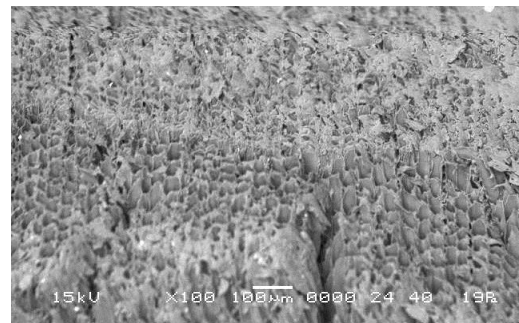


Рис. 4. Макрофотография торцевого среза технологической щепы ($\rho = 65$ мкм)



Рис. 5. Макрофотография торцевого среза технологической щепы ($\rho = 81$ мкм)

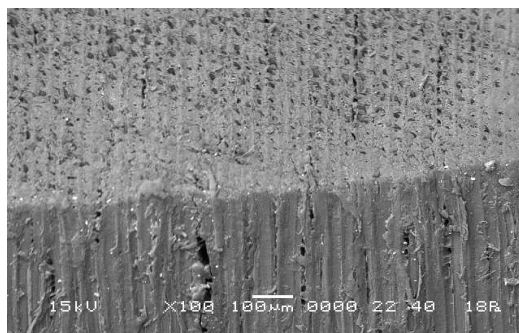


Рис. 6. Макрофотография торцевого среза технологической щепы ($\rho = 94$ мкм)

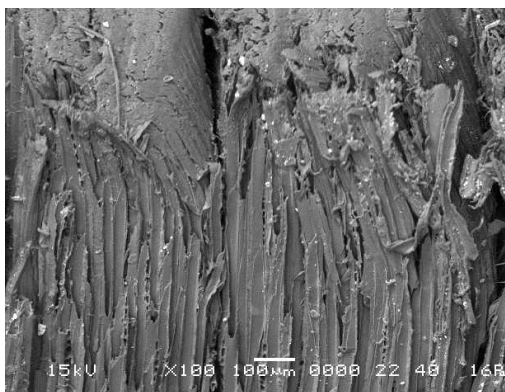


Рис. 7. Макрофотография торцевого среза технологической щепы ($\rho = 117$ мкм)

Представленные фотографии наглядно (рис. 3–7) демонстрируют, что радиус округления режущей кромки ножа во многом определяет качество торцевого среза элемента технологической щепы. С увеличением радиуса округления режущей кромки ножа структура среза торца щепы становится более заглаженная (закрыта) и при достижении критического ее значения торцевой срез полностью закрыт.

Необратимость динамического процесса потери режущей способности ножей приводит ко множеству негативных последствий, таких как увеличение сил резания и мощности, потребляемой на переработку древесного сырья, потеря потребительских качеств получаемой пилопродукции.

Технологическая щепка как полуфабрикат для большинства производств должна соответствовать определенным требованиям, предъявляемым к ней конечным переработчиком. Наиболее существенное влияние на выходные характеристики получаемой продукции, производимой из щепы, оказывают ее качество среза и геометрические размеры. Согласно ГОСТ 15815 торцы щепы должны быть без мятых кромок. В рамках данного исследования была возможность визуально оценить (см. рис. 1–7), какое влияние оказывает изменение радиуса округления режущей кромки на качество технологической щепы.

Список источников

1. Коробов В. В. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). – М.: Экология, 1991. – 288 с.
2. Rezaei H., Lim C. Size, shape and flow characterization of ground wood chip and ground wood pellet particles // Powder Technology. – 2016. – Vol. 301. – P. 137–146.
3. Facelloa A., Cavalloa E. The effect of knife wear on chip quality and processing cost of chestnut and locust fuel wood // Biomass and Bioenergy. – 2013. – Vol. 59. – P. 468–476.

4. Timmerfors J. The impact of using diferent wood qualities and wood species on chips produced using a novel type of pilot drum chipper // *Nordic Pulp & Paper Research*. – 2021. – Vol. 36. – P. 214–226.

5. Павлецова Н. А., Якимович С. Б. Оценка влияния размернокачественных характеристик щепы на прочностные свойства картона // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : мат. XV Всерос. науч.-техн. конференции*. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 58–60.

6. Клепацкий И. К., Раповец В. В. Динамика потери режущей способности лезвий малоножевых фрез при агрегатной переработке древесины // *Труды БГТУ. Сер. 2 : Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. – 2019. – С. 298–303.

7. Сборный нож для деревообработки : патент ВУ12435 / И. К. Клепацкий, В. В. Раповец. Оpubл. 24.01.2020.

8. Раповец В. В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. ... канд. техн. наук / Раповец Вячеслав Валерьевич. – Минск, 2011. – 206 с.

9. Spinelli R., Glushkov S. Managing chipper knife wear to increase chip quality and reduce chipping cost // *Biomass and Bioenergy*. – 2014. – Vol. 62. – P. 117–122.

10. Щепа технологическая. Технические условия. ГОСТ 15815-83. – М. : Издательство стандартов. – 14 с.

References

1. Korobov V. V. Processing of low-quality raw materials (problems of waste-free technology). – М. : Ecology, 1991. – 288 p.

2. Rezaei H., Lim C. Size, shape and flow characterization of ground wood chip and ground wood pellet particles // *Powder Technology*. – 2016. – Vol. 301. – P. 137–146.

3. Facelloa A., Cavalloa E. The effect of knife wear on chip quality and processing cost of chestnut and locust fuel wood // *Biomass and Bioenergy*. – 2013. – Vol. 59. – P. 468–476.

4. Timmerfors J. The impact of using diferent wood qualities and wood species on chips produced using a novel type of pilot drum chipper // *Nordic Pulp & Paper Research*. – 2021. – Vol. 36. – P. 214–226.

5. Pavletsova N. A., Yakimovich S. B. Assessment of the influence of dimensional quality characteristics of chips on the strength properties of cardboard//*Scientific creativity of youth - the forest complex of Russia: mat. XV All-Russian. scientific-technical conferences*. – Yekaterinburg : UGLTU, 2019. – P. 58–60.

6. Klepatsky I. K., Rapovets V. V. Dynamics of loss of cutting ability of blades of small-legged cutters during aggregate wood processing // Proceedings of BSTU. 2019. Ser. 2, Forest Farm, Nature Management and Reworking. renewable resources. – P. 298–303.
7. Prefabricated knife for woodworking: patent BY12435 / I. K. Klepatsky, V. V. Rapovets. Opubl. 24.01.2020.
8. Rapovets V. V. Complex treatment of wood with cutters with a spiral arrangement of prefabricated two-blade knives, ensuring the quality of products and reducing energy costs: dis. cand. techn. techn. sciences. – Minsk, 2011. – 206 p.
9. Spinelli R., Glushkov S. Managing chipper knife wear to increase chip quality and reduce chipping cost // Biomass and Bioenergy. – 2014. – Vol. 62. – P. 117–122.
10. Process chips. Specifications. GOST 15815-83. – Moscow : Publishing House of Standards. – 14 p.

Научная статья
УДК 674.914:519.654

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ УПРОЧНЕННЫХ НОЖЕЙ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКОВ

Игорь Казимирович Клепацкий¹, Вячеслав Валерьевич Раповец²

^{1, 2} Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь

^{1, 2} igorklepatski@gmail.com

Аннотация. Необходимость создания модели в соответствии с исследуемым объектом возникает при поиске решения вопросов анализа и синтеза физических процессов с использованием математических методов. Начальная задача – определение типа исследуемого объекта, далее – анализ неизвестных параметров и выбор подходящей математической модели.

Ключевые слова: фрезерно-брусующий станок, нож, упрочнение, стойкость, моделирование

Для цитирования: Клепацкий И. К., Раповец В. В. Применение метода наименьших квадратов для теоретического расчета технологической стойкости упрочненных ножей фрезерно-брусующих станков // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 115–120.

**APPLICATION OF THE METHOD OF THE SMALL SQUARES
FOR THEORETICAL CALCULATION OF THE TECHNOLOGICAL
STABILITY OF HARDENED KNIVES OF MILLING
AND SHAVING MACHINES**

Igor K. Klepatsky¹, Vyacheslav V. Rapovets²

^{1,2} Belarusian State University of Technology, Minsk, Republic of Belarus

^{1,2} igorklepatski@gmail.com

Abstract. The need to create a model in accordance with the object under study arises when finding a solution to the problems of analysis and synthesis of physical processes using mathematical methods. The initial task is to determine the type of object under study, then – to analyze unknown parameters and select a suitable mathematical model.

Keywords: milling and cutting machine, knife, hardening, resistance, and modeling

For citation: Klepatski I. K., Rapovets V. V. Application of the method of the small squares for theoretical calculation of the technological stability of hardened knives of milling and shaving machines // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 115–120.

Широкое распространение применение метода наименьших квадратов (МНК) при обработке результатов научных экспериментов [2–5] получило благодаря дифференцированным подходом к исходным наборам известных и неизвестных величин и обработке измерений с извлечением информации о точности измерений.

Построение математической модели технических и технологических систем уже давно является универсальным инструментом, который позволяет решать задачи оптимального выбора сырья, материалов, оборудования, проводить многовариантный анализ, отрабатывать технологические режимы, определять оптимальную стратегию ведения технологических процессов. Необходимость решения указанных задач постоянно возрастает. Это складывается из того, что при больших масштабах производства даже незначительная модернизация в любой из этих областей может дать ощутимый экономический эффект. В то же время материальный урон от неоптимального решения задачи может быть значительным [1, 4].

В исследованиях [6] были проведены прямые измерения радиусов округления режущей кромки ножей для агрегатной обработки древесины сосны малоножевым фрезерным инструментом в определенные моменты времени их работы. По результатам измерений получен массив данных для

расчета математической модели технологической стойкости режущей кромки по МНК.

Теоретический анализ сущности изучаемого явления, изменение которого отображается временным рядом, служит основой для выбора кривой [5].

Полиномиальная функция, согласно МНК, будет иметь вид

$$y = \sum_{i=0}^k (b_i \cdot x^i), \quad (1)$$

где b_i – коэффициенты данного полинома, $i = 0, k$,

b_0 – свободные члены;

x – радиус округления режущей кромки ножа, мкм;

y – объем переработанной древесины, м³.

Схожим образом с линейной регрессией МНК сводит к минимуму следующий ряд S суммы отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где \hat{y}_i – гипотетические значения, являющиеся значениями полинома x^i . Следовательно:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{i=0}^k b_i \cdot x^i - y_i \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Выполняя обязательное условие экстремума функции $(k + 1)$ переменных $S = S(b_0, b_1, \dots, b_k)$, приравняем к нулю ее частные производные

$$S'_{b_p} = 2 \sum_{i=1}^n x_i^p \left(\sum_{i=0}^k b_i \cdot x^i - y_i \right) = 0, \quad (4)$$

$$p = \overline{0, k}. \quad (5)$$

Обе части уравнения поделим на два и представим в развернутом виде сумму второй части уравнения, т. е.

$$\sum_{i=1}^n x_i^p (b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + \dots + b_k x_i^k) - \sum x_i^p \cdot y_i = 0, \quad (6)$$

$$p = \overline{0, k}. \quad (7)$$

После раскрытия скобок сделаем перенос в каждом p -ом выражении последнего слагаемого вправо и поделим обе части на n . В итоге

получилось $(k + 1)$ выражений, образующих систему линейных нормальных уравнений относительно b_p :

$$\begin{cases} b_0 + b_1 \bar{x} + b_2 \bar{x}^2 + \dots + b_k \bar{x}^k = \bar{y}, \\ b_0 \bar{x} + b_1 \bar{x}^2 + b_2 \bar{x}^3 + \dots + b_k \bar{x}^{k+1} = \overline{xy}, \\ b_0 \bar{x}^2 + b_1 \bar{x}^3 + b_2 \bar{x}^4 + \dots + b_k \bar{x}^{k+2} = \overline{x^2 y}, \\ \dots, \\ b_0 \bar{x}^k + b_1 \bar{x}^{k+1} + b_2 \bar{x}^{k+2} + \dots + b_k \bar{x}^{2k} = \overline{x^{2k} y}. \end{cases} \quad (8)$$

Перезапишем предыдущее выражение в матричном виде $AB = C$,

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \bar{x} & \bar{x}^2 & \bar{x}^3 & \bar{x}^k \\ \bar{x} & \bar{x}^2 & \bar{x}^3 & \dots & \bar{x}^{k+1} \\ \bar{x}^2 & \bar{x}^3 & \bar{x}^4 & \dots & \bar{x}^{k+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}^k & \bar{x}^{k+1} & \bar{x}^{k+2} & \dots & \bar{x}^{2k} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_k \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} \bar{y} \\ \overline{xy} \\ \overline{x^2 y} \\ \vdots \\ \overline{x^{2k} y} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Для построения аппроксимационной зависимости в среде MS Excel была выбрана точка x (ρ_1) лезвия ножа на расстоянии $l = 1$ мм от края режущей кромки, в которой измерялся радиус округления режущей кромки ножа [6].

Данные этой точки при потере им режущей способности в зависимости от количества объема переработанной древесины V_i , м³, собранные по истечении пяти рабочих смен t_i , ч, ($\sum t_i = 40$ ч) от момента переточки ножа на производстве, представлены в таблице.

Изменения радиуса округления точки на кромке ножа фрезерно-брусующей машины

t_i , ч	0	8	16	24	32	40
V_i , м ³	–	1971	1975	1980	2446	1456
ρ_1 , мкм	8	46	75	90	115	160

Сравнительным параметром y выбрана суммарная длина контакта точки ножа с древесиной – путь резания [8–10], пройденный этой точкой ножа $\sum l_k$, м, т. е.

$$\sum l_k = \sqrt{\frac{h_{\text{бр}}}{D}} \cdot \sum l_{\text{бр}}, \quad (10)$$

где $h_{\text{бр}}$ – высота бруса, мм;

D – диаметр резания, мм;

$\sum l_{\text{бр}}$ – суммарная длина обработанного материала (бревна), м.

По итогам расчета МНК была получена регрессионная полиомная зависимость

$$y = -0,0093x^3 + 1,8095x^2 + 388,0548x - 2415,5903.$$

Данная зависимость позволяет определить теоретический радиус округления на режущей кромке ножа фрезерно-брусующей машины в определенной точке в зависимости от пройденного им пути резания. Предлагаемый метод благодаря простоте и быстрдействию вычислений удобен для расчетов косвенных параметров при проведении натуральных экспериментальных исследований.

Список источников

1. A Least Square Method for Measurement and Optimisation in Selected Physical Experiments // I. Frollo, P. Andris, I. Strolka, L. Baciak. Key Engineering Materials. – 2005. – P. 295–296.

2. Várhegyi G., Wang L., Skreiberg Ø. Non-isothermal kinetics: best-fitting empirical models instead of model-free methods. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2020. – Vol. 142. – P. 1043–1054.

3. Колеснев А. С. Сглаживание экспериментальных зависимостей по методу наименьших квадратов. Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–2. – С. 193–195.

4. Time Scale in Least Square Method // Ö. Yeniay, Ö. İşçi, A. Göktaş, M. Çankaya. Available at. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/aaa/2014/354237/> (accessed 20.01.2020).

5. Мазаник Н. В. Моделирование и оптимизация процессов в деревообработке. Методы построения, анализа и визуализации математических моделей. – Минск : БГТУ, 2014. – 161 с.

6. Клепацкий И. К., Раповец В. В. Динамика потери режущей способности лезвий малоножевых фрез при агрегатной переработке древесины // Труды БГТУ. Сер. : Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2019. – № 2. – С. 298–303.

References

1. A Least Square Method for Measurement and Optimisation in Selected Physical Experiments // I. Frollo, P. Andris, I. Strolka, L. Baciak. Key Engineering Materials. – 2005. – P. 295–296.

2. Várhegyi G., Wang L., Skreiberg Ø. Non-isothermal kinetics: best-fitting empirical models instead of model-free methods. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2020. – Vol. 142. – P. 1043–1054.

3. Kolesnev A. S. Smoothing of experimental dependencies by the least squares method. Modern high-tech technologies. – 2014. – № 5–2. – P. 193–195.

4. Time Scale in Least Square Method // Ö. Yeniay, Ö. İşçi, A. Göktaş, M. Çankaya. Available at. – URL: <https://www.hindawi.com/journals/aaa/2014/354237/> (accessed 20.01.2020).

5. Mazanik N. V. Modeling and optimization of processes in woodworking. Methods of construction, analysis and visualization of mathematical models. – Minsk : BSTU, 2014. – 161 p.

6. Klepatskiy I. K., Rapovets V. V. Dynamics of loss of cutting ability of blades of small-legged cutters during aggregate processing of wood // Trudy BSTU. Ser. : Forestry and woodworking industry. – 2019. – № 2. – P. 298–303.

Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 121–125.
Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022 P. 121–125.

Научная статья
УДК 621.85.06

К РАСЧЕТУ МОЩНОСТИ ПРИВОДНЫХ РОЛЬГАНГОВ

Владимир Геннадьевич Новоселов

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия
novoselovvg@m.usfeu.ru

Аннотация. Рассмотрен приводной рольганг как распределенная система отбора по мощности. Показано влияние потерь на каждой ступени трансмиссионной передачи на потребную мощность привода. Приведены расчетные формулы.

Ключевые слова: приводной рольганг, мощность, коэффициент полезного действия

Для цитирования: Новоселов В. Г. К расчету мощности приводных рольгангов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 121–125.

Original article

TO POWER CALCULATION OF DRIVE ROLLERS

Vladimir G. Novoselov

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
novoselovvg@m.usfeu.ru

Abstract. The drive roller table is considered as a distributed power takeoff system. The effect of losses at each transmission stage on the required drive power is shown. Calculation formulas are given.

Keywords: drive roller table, power and efficiency

For citation: Novoselov V. G. To power calculation of drive rollers // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 121–125.

Приводные рольганги (роликовые транспортеры) широко применяются в деревообрабатывающей промышленности в качестве средства межоперационных перемещений материалов, заготовок и полуфабрикатов.

Конструктивно они состоят из общей рамы, на которой размещены цилиндрические либо седловидные ролики, приводимые во вращательное движение с помощью электродвигателя, и системы механических передач. В качестве последних могут использоваться трансмиссионные валы с отбором мощности на каждый ролик через ортогональную передачу – зубчатую коническую или червячную либо через систему последовательно соединенных цепных передач. Кроме этого, конструкция приводного рольганга может обеспечивать поперечное смещение материала за счет винтовых ребер на поверхности роликов и упора, расположенного на окончании рольганга (рис. 1).

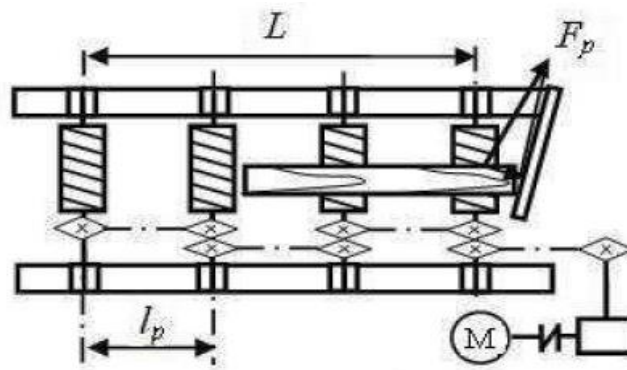


Рис. 1. Схема рольганга

Мощность двигателя при непрерывном установившемся движении грузов по горизонтальному рольгангу расходуется на преодоление сопротивления перекачиванию грузов по роликам, сопротивления от сил трения в подшипниковых опорах роликов, а в случае установки упора для поперечного смещения груза еще и сил трения груза об упор и сил сопротивления пробуксовыванию роликов по грузу. Определение этих составляющих сопротивлений, а также компонент мощности приводного двигателя рассмотрено в работе [1]. Потребная мощность двигателя на продольное перемещение грузов предлагается рассчитывать по формуле:

$$N = \frac{(Z_0 G w' + z P w_1') v}{1000 \eta}, \quad (1)$$

где Z_0 – количество грузов, одновременно находящихся на рольганге;

G – сила тяжести груза, Н;

w' – коэффициент сопротивления перемещению лежащих на рольганге грузов;

z – количество роликов;

P – сила тяжести ролика, Н;

w_1' – коэффициент сопротивления вращению роликов;

v – скорость движения грузов;

η – коэффициент полезного действия (КПД) приводного механизма.

С точки зрения механики «сосредоточенных» систем преобразования движения, когда в системе имеется одно ведущее звено, передаточное устройство и одно звено, совершающее полезную работу, данная формула не вызывает никаких сомнений. Однако рекомендацию принимать КПД приводного механизма $\eta = 0,8–0,85$ надо считать не всегда корректной. При длине рольганга, незначительно превышающей длину груза, и соответственно малом количестве роликов, можно приближенно считать систему рольганга «сосредоточенной». В противном случае нельзя пренебрегать тем, что в системе не одно, а множество рабочих звеньев, между которыми происходит распределение поступающей в систему мощности, причем она поступает первоначально на одно звено, от которого через передаточные механизмы поступает на следующие звенья (группы звеньев). На каждой ступени происходит отбор мощности на выполнение полезной работы по перемещению груза, а также на преодоление вредного сопротивления в передаточном механизме.

Расчеты, основанные на формуле (1), дают нереально заниженные значения. Так, при длине транспортера $L = 65$ м, длине груза $l_{gp} = 3,5$ м, силе тяжести груза $G = 479$ Н, силе тяжести ролика $P = 235$ Н, скорости движения $v = 0,38$ м/с, расчетное значение мощности составляет всего $N = 0,37$ кВт. Статистический анализ каталожных данных приводных рольгангов показал, что на 1 м длины рольганга в среднем требуется мощность 0,233 кВт с достоверностью более 0,9 (рис. 2).

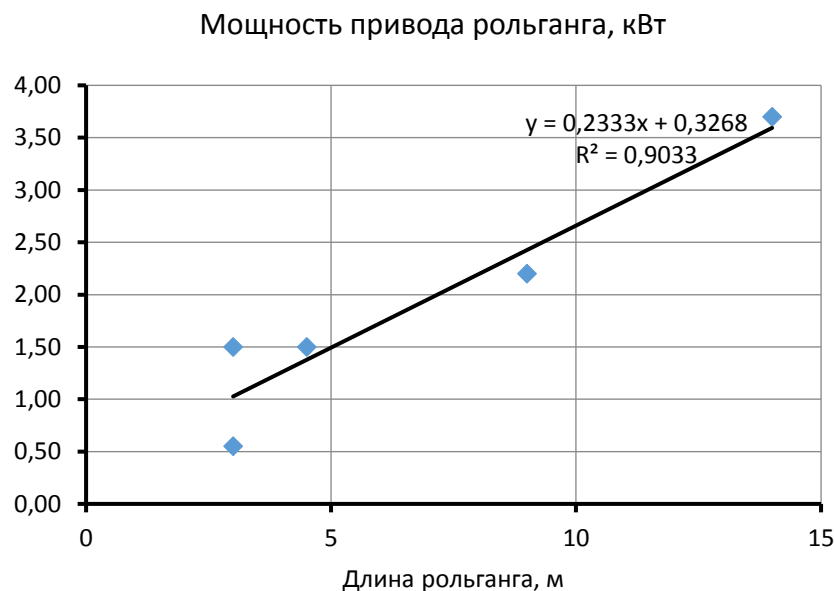


Рис. 2. Зависимость мощности привода от длины рольганга

Рекомендация [1] о вычислении общего КПД как произведения всех КПД имеющих в приводе передач, наоборот, дает существенно завышенные значения мощности – более 20 кВт.

Экстраполяция результатов на приведенные исходные данные дает значение мощности двигателя $N = 15,5$ кВт, но эта величина основана на статистических данных из области малых значений и также не может быть признана вполне корректной.

Предлагается, воспользовавшись материалами работы [1], определить требуемую мощность приводного двигателя рольганга как распределенной системы. При транспортировке длинномерных грузов (брусьев, досок, брусков) расстояние между роликами должно обеспечивать их опирание не менее чем на два ролика. Наибольший момент сопротивления передвижению груза, приведенный к оси одного ролика, определяется по формуле

$$M = \left(\frac{K_1 G w'}{k} + P w'_1 \right) \frac{D}{2}, \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент неравномерности распределения силы тяжести груза по роликам;

k – количество роликов, на которых одновременно лежит груз;

D – диаметр ролика.

Необходимая для преодоления этого момента сопротивления мощность электродвигателя следующая:

$$N_i = M \frac{2v}{D \eta^i}, \quad (3)$$

где i – порядковый номер ролика, отсчитываемый от первого, ближайшего к двигателю;

η – КПД одной ступени последовательной передачи.

Мощность, необходимую для преодоления сопротивления движению всех грузов, находящихся на рольганге, при коэффициенте заполнения более 0,5, можно определить, суммируя N_i :

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = M \frac{2v}{D} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta^i}. \quad (4)$$

Полагая для упрощения расчетов коэффициент неравномерности распределения силы тяжести груза по роликам $K_1 = 1$ и принимая КПД для одной ступени открытой цепной передачи $\eta = 0,9$, получим для заданных условий требуемую мощность двигателя для привода рольганга $N = 4,48$ кВт. Как видим, величина расчетной потребной мощности двигателя привода рольганга как распределенной системы существенно отличается от посчитанной по рекомендуемой формуле (1), что необходимо учитывать при реальном проектировании.

Вывод. Приводы рольгангов с последовательной передачей движения от ведущего звена к рабочим органам необходимо проектировать с учетом распределения потоков мощности и ее потерь на каждой ступени передачи.

Список источников

1. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины : учебное пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1983. – 483 с.

References

1. Spivakovsky A. O., Dyachkov V. K. Transporting Machines : Textbook for Engineering Universities. – 3rd ed., Rework. – M. : Engineering, 1983. – 483 p.

Научная статья
УДК 674.055:621.934

ПРИМЕНЕНИЕ МоС ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

**Вадим Витальевич Чаевский¹, Андрей Константинович Кулешов²,
Пётр Коледа³, Павел Викторович Рудак⁴**

¹ Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь

² Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

³ Technical University in Zvolen, Zvolen, Словацкая Республика

⁴ ООО «БалансКонтакт», Минск, Беларусь

¹ chayeuski@belstu.by

² kuleshak@bsu.by

³ peter.koleda@tuzvo.sk

⁴ rudak.pavel@huawei.com

Аннотация. В статье исследовано влияние обработки методом КИБ лезвий ножей на износостойкость ножей фрезы и на ее режущую способность при плоском фрезеровании древесины дуба. Экспериментальным инструментом являлась торцевая фреза со сменными ножами из быстрорежущей стали HS 18-0-1-5 (ISO 4957:1999). Осажденное на поверхность ножей МоС покрытие увеличивает износостойкость лезвий ножей, в результате чего период стойкости модифицированного инструмента увеличивается в 1,3 раза. Установлено, что параметр шероховатости Ra поверхности древесины для ножей с МоС покрытием практически не изменяется во всем диапазоне применяемых скоростей подачи.

Ключевые слова: покрытия, износ инструмента, фрезерование древесины

Для цитирования: Чаевский В. В., Кулешов А. К., Коледа П., Рудак П. В. Применение МоС покрытий для усовершенствования дерево-режущих инструментов // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века.* 2022. С. 126–133.

Благодарности: Исследования финансировались в рамках ГПНИ Республики Беларусь «Материаловедение, новые материалы и технологии» (задание 3.2.7 «Исследование и разработка технологии упрочнения инструмента из сталей и сплавов нанесением высокопрочных покрытий гальваническими и плазменными методами»).

APPLING MoC COATINGS TO IMPROVE WOOD-CUTTING TOOLS

**Vadim V. Chayauski¹, Andrey K. Kuleshov², Peter Koleda³,
Pavel V. Rudak⁴**

¹ Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

² Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

³ Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovak Republic

⁴ LLC «BalansContact», Minsk, Republic of Belarus

¹ chayauski@belstu.by

² kuleshak@bsu.by

³ peter.koleda@tuzvo.sk

⁴ rudak.pavel@huawei.com

Abstract. The article investigates the effect of processing by Arc-PVD method of knife edges on the wear resistance of cutter knives and on its cutting ability during a flat milling of oak wood. The experimental tool was an end mill with interchangeable knives made of high speed steel HS 18-0-1-5 (ISO 4957:1999). The MoC coating deposited on the surface of the knives increases the wear resistance of the knife blades, as a result of which the durability period of the modified tool increases by 1.3 times. It was found that the roughness parameter Ra of the wood surface for knives coated MoC practically does not change in the entire range of applied feed rates.

Keywords: coatings, tool wear, wood milling

For citation: Chayauski V. V., Kuleshov A. K., Koleda P., Rudak P. V. Appling MoC coatings to improve wood-cutting tools // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 126–133.

Acknowledgments: This research was financed by the State Budget Programme of Scientific Research of the Republic of Belarus «Materials Science, New Materials and Technologies» (assignment no. 3.2.7 «Research and development of technology for hardening tools made of steels and alloys with a deposition high-strength coatings by galvanic and plasma methods»).

Процесс обработки дерева считается более сложным, чем процесс обработки металлов. Дереворежущие инструменты испытывают высокие механические и термические нагрузки, пластическую деформацию, налипание, диффузный износ и окисление [1, 2]. В этих условиях инструменты из стальных сплавов быстро изнашиваются. Результаты исследований [3] показали, что основной причиной абразивного износа лезвия ножа фрезы при обработке древесины является трение поверхности лезвия ножа с древесиной. Кроме того, на период стойкости инструмента значительно влияют его геометрия и кинематические параметры резания [4, 5]. Затраты

на деревообработку в основном состоят из затрат на сырье, энергию, рабочую силу, оборудование и инструменты. Усовершенствования инструментов могут увеличить их производительность, сократить время простоя, вызванное заменой инструмента, снизить потребление энергии и улучшить качество обработки. Использование модифицированных инструментов может позволить увеличить скорость резания [6]. Шероховатость поверхности как одно из важнейших свойств конечных изделий из дерева во многом зависит от особенностей структуры древесины, направления волокон древесины и характеристик режущего инструмента [7].

Установлено, что одним из наиболее эффективных способов обработки поверхности лезвий ножей фрезерного инструмента с целью сохранения остроты режущей кромки лезвия является метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ), с помощью которого сформированные покрытия увеличивают период стойкости инструмента [8]. Поэтому целью работы было исследование влияния КИБ обработки лезвий ножей на износостойкость ножей фрезы и на ее режущую способность.

Для целей эксперимента были использованы образцы черенков дуба (*Quercus robur* L.) со средним возрастом 95 лет. Пиломатериалы толщиной 30 мм были получены в Техническом университете (ТУ) в Зволене (Словацкая Республика). Пиломатериал был просушен в печи до влажности 8 %. После сушки пиломатериал был разрезан на заготовки. Конечные размеры образцов: толщина – 25 мм, ширина – 100 мм, длина – 750 мм.

Плоское фрезерование образцов проводилось на деревообрабатывающем вертикальном фрезерном станке ZDS-2 производства Liptovské Strojárne (Словацкая Республика). В экспериментальных измерениях в качестве инструмента использовалась фрезерная головка производства Staton (Tugary, Словацкая Республика), в которой устанавливалось два ножа (рис. 1, *а*). Исследуемые ножи зажимались так, чтобы диаметр режущей окружности фрезерной головки был $D = 125$ мм. Фрезерные ножи (рис. 1, *б*) были изготовлены из инструментальной высоколегированной Cr-V-Mo стали HS 18-0-2-5 (ISO 4957:2018) и отшлифованы.

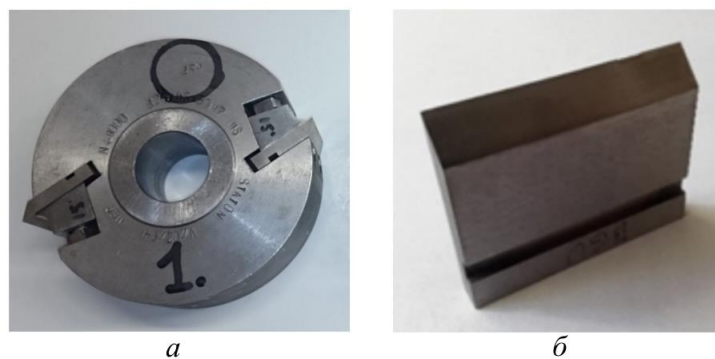


Рис. 1. Инструменты экспериментальных измерений:
а – фрезерная головка; *б* – сменный нож фрезы

Фрезерный нож *B* был дополнительно обработан с помощью метода КИБ, в то время как нож *A* (контрольный) не подвергался дополнительной обработке поверхности. Нанесение покрытия на нож *B* осуществлялось в лаборатории кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета совместно с кафедрой физики УО «Белорусский государственный технологический университет».

Твердость лезвий ножей *A* и *B* была измерена в ТУ в Зволене с помощью твердомера *Škoda RB1*. Твердость лезвия ножа *A* составила 64 HRC. Характеристики покрытия ножа *B* приведены в табл. 1.

Технические и технологические параметры процесса фрезерования приведены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики покрытия ножа *B*

Параметр процесса фрезерования	Показатели
Тип покрытия	MoC
Толщина покрытия	1 мкм
Температура осаждения	600 °C
Средняя твердость покрытия	57 HRC

Таблица 2

Технические и технологические параметры процесса фрезерования

Параметр		Значение
Геометрия ножа	Угол задней грани γ	15°
	Угол заточки лезвия β	45°
	Угол клиренса α	30°
	Угол резания δ	75°
Скорость вращения n фрезы		3000 об./мин; 4000 об./мин; 5000 об./мин
Скорость подачи V_F		6 м/мин; 8 м/мин; 10 м/мин; 12 м/мин; 14 м/мин
Глубина резания a_e		1 мм; 2 мм

Для обработки данных технических и технологических параметров процесса фрезерования использовалась также программа *Statistica 12* (США).

Измерения износа режущей кромки лезвия фрезерных ножей проводились в лаборатории Ironal (предместье Banska Bystrica, г. Зволен) на контурографе модели *Hommel – Etamic C8000 Contour* немецкой фирмы *Hommel* (рис. 2, а). Параметр износа WB_W лезвия ножа оценивался по уменьшению острия кромки лезвия ножа [9]: смещению режущей кромки лезвия вдоль оси режущего угла клина VB_W на контурных графиках (рис. 2, б) с использованием программы *Evovis*.

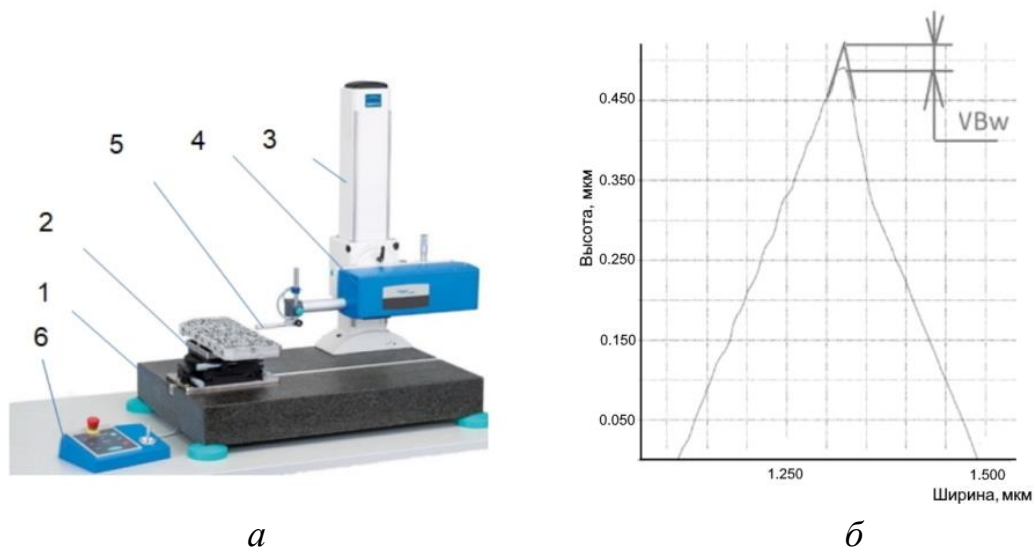


Рис. 2. Измерения износа режущей кромки лезвия фрезерных ножей:
а – контурограф *Hommel – Elomic C8000 Contour*:
 1 – гранитное основание, 2 – стол, 3 – консоль, 4 – кронштейн,
 5 – сенсорная (сканирующая) головка, 6 – панель управления;
б – профилограмма кромки лезвия ножа с указанием смещения режущей кромки лезвия вдоль оси режущего угла клина VB_w

Экспериментальные измерения шероховатости проводились на оборудовании, расположенном в лаборатории Технического университета в Зволене. Для определения качества шероховатости поверхности был использован бесконтактный лазерный профилометр (LPM-4), работающий по оптическому методу [10]. Лазерный луч создает след света на контролируемой поверхности, который сканируется и после ЖК-камеры преобразуется в двоичную форму изображения.

Полученные зависимости значений параметра износа WB_w кромок лезвий ножей от длины фрезерования L (рис. 3) подтвердили исследования [4, 5]. Характер износа ножей демонстрировали две зоны: зона приработки $L = 0-90$ м, в которой наблюдался наиболее интенсивный износ кромок лезвий ножей, и зона нормального износа $L = 90-270$ м.

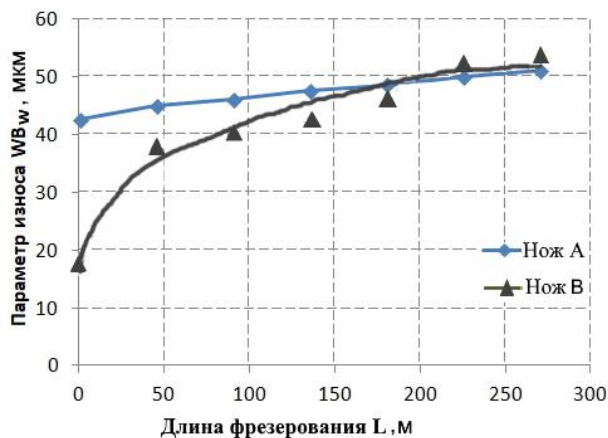


Рис. 3. Зависимость параметра износа WB_w кромок лезвий ножей фрезы от длины фрезерования L ($n = 5000$ об./мин; $a_e = 1$ мм; $V_F = (6, 8, 10, 12, 14)$ м/мин)

Лезвие ножа без обработки поверхности имело интенсивный износ без существенных изменений значения его величины. Износ лезвий ножей с покрытием имел достаточно монотонный характер с незначительным увеличением величины износа в диапазоне длины фрезерования $L = 100\text{--}180$ м.

Качество поверхности обработанного образца оценивалось параметром шероховатости поверхности Ra . На рис. 4 показаны зависимости среднеарифметических значений параметра шероховатости поверхности Ra обработанных поверхностей фрезерованных образцов древесины дуба от скорости подачи для всех исследованных ножей фрезы.

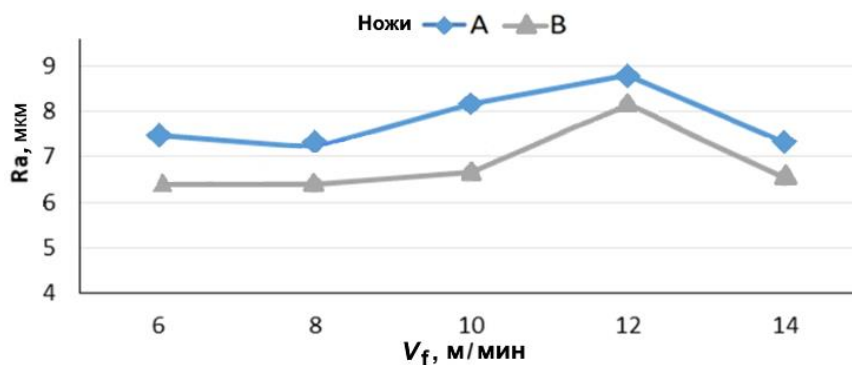


Рис. 4. Влияние скорости подачи V_f на значение шероховатости Ra образцов древесины (параметры фрезерования: $n = 5000$ об./мин, $a_e = 1$ мм, длина фрезерования $L = 11,25\text{--}270,00$ м)

На основании анализа показанной на рис. 4 зависимостей для всех исследованных ножей при параметрах фрезерования $n = 5000$ об./мин, $a_e = 1$ мм, длине фрезерования $L = 11,25\text{--}270,00$ м можно сделать вывод, что в результате нанесения покрытия на лезвия ножей фрезы шероховатость поверхности Ra фрезерованных образцов древесины практически не изменилась и увеличилась в среднем на 1,5 мкм на образцах древесины дуба для немодифицированной фрезы во всем диапазоне применяемых скоростей подачи V_f .

Таким образом, ионно-плазменная обработка лезвий ножей фрезы, увеличивая их износостойкость, способствует также сохранению значений параметра шероховатости поверхности Ra древесины как критерия качества.

Проведенные лабораторные испытания модифицированного инструмента показали, что сформированное методом КИБ на поверхности лезвий стальных HS 18-0-1-5 ножей фрезерного инструмента MoC покрытие способствует увеличению его периода стойкости в 1,3 раза по сравнению с необработанным инструментом при резании древесины дуба (сертификат лабораторных испытаний на кафедре технологии производства и автоматизации технологического ф-та Технического университета в Зволене (Technical University in Zvolen) от 25.06.2020 г.).

Выводы. Осажденное методом КИБ на поверхность лезвий стальных HS 18-0-1-5 ножей фрезерного инструмента MoC покрытие увеличивает износостойкость лезвий ножей, в результате чего период стойкости модифицированного инструмента увеличивается в 1,3 раза. Ионно-плазменная обработка лезвий ножей фрезы, увеличивая их износостойкость, способствует сохранению значений параметра шероховатости поверхности *Ra* древесины дуба как критерия качества.

Список источников

1. Corrosion mechanisms in the wood industry, especially caused by tannins / H. Winkelmann, E. Badisch, M. Roy, H. Danninger // *Mater. Corros.* – 2009. – Vol. 60. – P. 40–48.
2. Lukashov S. V., Pamfilov E. A., Prozorov Y. S. Mechanochemical fracture of the components of wood-cutting equipment // *Mater. Sci.* – 2014. – Vol. 50. – P. 148–155.
3. Beer P. In situ examinations of the friction properties of chromium coated tools in contact with wet wood // *Tribol. Lett.* – 2005. – Vol. 18 (3). – P. 373–376.
4. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // *Eur. J. Wood Prod.* – 2009. – Vol. 67 (2). – P. 173–176.
5. Bendikine R., Keturakis G. The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance // *J. Wood Sci.* – 2017. – Vol. 63. – P. 606–614.
6. Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools // *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* – 2017. – Vol. 18. – P. 1–9.
7. Keturakis G., Bendikiene R., Baltrusaitis A. Tool Wear Evolution and Surface Formation in Milling Various Wood Species // *BioResources.* – 2017. – Vol. 12 (4). – P. 7943–7954.
8. Structural and Mechanical Properties of the ZrC/Ni-Nanodiamond Coating Synthesized by the PVD and Electroplating Processes for the Cutting Knives / V. Chayeuski et al. // *J. Mater. Eng. Perform.* – 2019. – Vol. 28 (3). – P. 1278–1285.
9. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors influencing steel tool wear when milling wood // *Wood Science and Technology.* – 2005. – Vol. 39 (3). – P. 225–234.
10. Effects of technical and technological parameters on the surface quality when milling thermally modified European oak wood / M. Korčok et al. // *BioResources.* – 2018. – Vol. 13 (4). – P. 8569–8577.

References

1. Corrosion mechanisms in the wood industry, especially caused by tannins / H. Winkelmann, E. Badisch, M. Roy, H. Danninger // *Mater. Corros.* – 2009. – Vol. 60. – P. 40–48.
2. Lukashov S. V., Pamfilov E. A., Prozorov Y. S. Mechanochemical fracture of the components of wood-cutting equipment // *Mater. Sci.* – 2014. – Vol. 50. – P. 148–155.
3. Beer P. In situ examinations of the friction properties of chromium coated tools in contact with wet wood // *Tribol. Lett.* – 2005. – Vol. 18 (3). – P. 373–376.
4. Examination of tools of different materials edge geometry for MDF milling / G. Kowaluk, W. Szymanski, B. Palubicki, P. Beer // *Eur. J. Wood Prod.* – 2009. – Vol. 67 (2). – P. 173–176.
5. Bendikine R., Keturakis G. The influence of technical characteristics of wood milling tools on its wear performance // *J. Wood Sci.* – 2017. – Vol. 63. – P. 606–614.
6. Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools // *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* – 2017. – Vol. 18. – P. 1–9.
7. Keturakis G., Bendikiene R., Baltrusaitis A. Tool Wear Evolution and Surface Formation in Milling Various Wood Species // *BioResources.* – 2017. – Vol. 12 (4). – P. 7943–7954.
8. Structural and Mechanical Properties of the ZrC/Ni-Nanodiamond Coating Synthesized by the PVD and Electroplating Processes for the Cutting Knives / V. Chayauski et al. // *J. Mater. Eng. Perform.* – 2019. – Vol. 28 (3). – P. 1278–1285.
9. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors influencing steel tool wear when milling wood // *Wood Science and Technology.* – 2005. – Vol. 39 (3). – P. 225–234.
10. Effects of technical and technological parameters on the surface quality when milling thermally modified European oak wood / M. Korčok et al. // *BioResources.* – 2018. – Vol. 13 (4). – P. 8569–8577.

ДРЕВЕСНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

WOOD COMPOSITE MATERIALS

Научная статья
УДК 691.175.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИМЕРНОЙ ФАЗОЙ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ДРЕВЕСНОЙ МУКОЙ И ОТХОДАМИ АЦЕТАТНЫХ ПЛЕНОК

Александра Сергеевна Винокурова¹, Алексей Евгеньевич Шкуро²,
Виктор Владимирович Глухих³, Денис Денисович Чирков⁴

^{1–4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ sasha.vinokurova.27@mail.ru

² shkuroae@m.usfeu.ru

³ gluhihvv@m.usfeu.ru

⁴ chirkovdd@m.usfeu.ru

Аннотация. В работе приведены результаты применения смеси древесной муки и отходов ацетатных пленок в качестве наполнителя для полимерных композиционных материалов с полимерной фазой ацетата целлюлозы.

Ключевые слова: композит, ацетат целлюлозы, утилизация, древесная мука, вальцевание

Для цитирования: Винокурова А. С., Шкуро А. Е., Глухих В. В., Чирков Д. Д. Исследование физико-механических свойств полимерных композиционных материалов с полимерной фазой ацетата целлюлозы, древесной мукой и отходами ацетатных пленок // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 134–139.

Благодарности: работа выполнена в рамках исполнения госбюджетной темы FEUG-2020.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS WITH POLYMER PHASE OF CELLULOSE ACETATE, WOOD FLOUR AND WASTE ACETATE FILMS

Alexandra S. Vinokurova¹, Alexey E. Shkuro²,
Viktor V. Glukhikh³, Denis D. Chirkov⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ sasha.vinokurova.27@mail.ru

² shkuroae@m.usfeu.ru

³ gluhihvv@m.usfeu.ru

⁴ chirkovdd@m.usfeu.ru

Abstract. The paper presents the results of using a wood flour and waste acetate films mixtures as a filler for polymer composite materials with a polymeric phase of cellulose acetate.

Keywords: composite, cellulose acetate, recycling, wood flour, rolling

For citation: Vinokurova A. S., Shkuro A. E., Glukhikh V. V., Chirkov D. D. Physical and mechanical properties of polymeric composite materials with polymer phase of cellulose acetate, wood flour and waste acetate films // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 134–139.

Acknowledgments: the work was carried out as part of the implementation of the state budget theme FEUG-2020.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе пластифицированного ацетата целлюлозы и лигноцеллюлозных наполнителей характеризуются высокими физико-механическими свойствами [1, 2] и способностью к биоразложению в грунте [3]. Однако ацетат целлюлозы может быть использован не только в качестве полимерной матрицы ПКМ, но так же и как наполнитель. Особенно актуальным такая сфера применения может стать для отходов изделий из АЦ. Одним из наиболее распространенных видов таких отходов являются ацетатные фото/видео пленки. Целью исследования являлось изучение физико-механических свойств полимерных композиционных материалов с полимерной фазой пластифицированного ацетата целлюлозы, древесной мукой и отходами ацетатных пленок.

В качестве наполнителя использовали древесную муку марки 180 (ДМ-180), производства ООО «Юнайт» и отходы ацетатных пленок, предоставленные союзом отходоперерабатывающих предприятий Уральского федерального округа (СОПП УрФО). Отходы ацетатных пленок предварительно измельчались в лабораторной мельнице A1 Basic.

В качестве пластификаторов использовали триацетин и трифенилфосфат. Массовое соотношение между этилцеллюлозой и триацетином во всех опытах оставалось постоянным и составляло 90:10 м. ч. В качестве лубриканта использовался стеарат кальция. Массовое соотношение между ацетатом целлюлозы, триацетином и трифенилфосфатом в составе полимерной матрицы оставалось постоянным для всех образцов композитов и составляло 667 : 266 : 67 м.ч.

Смешение компонентов ПКМ производилось на лабораторных вальцах марки ПД-320-160/160 при температуре 150–160 °С. Стандартные образцы для испытаний физико-механических свойств были изготовлены методом горячего прессования. Рецептуры полученных ПКМ приведены в табл. 1.

Для полученных композитов были определены показатели следующих свойств: твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии, по ГОСТ 4670-67, прочность при изгибе определялись по ГОСТ 17036-71, водопоглощение по ГОСТ 19592.

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ с отходами ацетатных пленок и древесной муки приведены в табл. 2. Экспериментально-статистические зависимости свойств ПКМ от содержания них отходов ацетатных пленок и древесной муки представлены в табл. 3.

Таблица 1

Состав образцов ПКМ с отходами ацетатных пленок

Номер опыта	Содержание компонента, %		
	Пластифицированный ацетат целлюлозы	Отходы ацетатных пленок	ДМ-180
1	36,1	15,0	15,0
2	54,7	25,0	25,0
3	36,1	5,0	25,0
4	12,8	5,0	0,0
5	49,2	15,0	29,1
6	49,2	29,1	15,0
7	36,1	15,0	15,0
8	36,1	25,0	5,0
9	22,9	0,9	15,0
10	22,9	15,0	0,9

Установлено, что показатели твердости по Бринеллю (рис. 1) и модуля упругости при сжатии увеличиваются прямо пропорционально росту содержания отходов ацетатных пленок в составе ПКМ. Изменение содержания древесной муки в образце не оказывает существенного влияния на эти показатели. Для модуля упругости при сжатии характерны аналогичные тенденции.

Увеличение содержания древесной муки выше 15 мас. % и отходов ацетатных пленок выше 10 мас. % приводит к падению показателя прочности при изгибе (рис. 2) ПКМ.

Таблица 2

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ с отходами ацетатных пленок

Номер опыта	Твердость, МПа	Модуль упругости при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Водопоглощение за 30 суток, %
1	60,2	594	45,1	8,2
2	71,1	741	33,9	12,6
3	48,7	451	33,0	17,0
4	46,9	424	48,2	4,0
5	32,0	250	16,3	20,9
6	58,7	575	25,7	10,7
7	72,8	763	47,7	9,7
8	62,0	619	38,4	9,2
9	37,7	318	37,6	11,0
10	52,1	492	46,9	6,1

Таблица 3

Экспериментально-статистические зависимости свойств ПКМ от содержания отходов ацетатных пленок (Z_1) и древесной муки (Z_2)

Свойство	Регрессионная зависимость Y_i	Статистические параметры зависимости Y_i для доверительной вероятности 0,90		
		Значение F	Коэффициент детерминации R_2	Стандартная ошибка
Твердость по Бринеллю, МПа (Y_1)	$Y_1 = 0,84 \cdot Z_1 + 41,56$	0,07	0,35	11,4 МПа
Модуль упругости при сжатии, МПа (Y_4)	$Y_4 = 363,63 - 10 \cdot Z_1$	0,07	0,36	143,4 МПа
Прочность при изгибе, МПа (Y_5)	$Y_5 = 48,01 + 0,71 \cdot Z_1 - 0,05 \cdot Z_{11} - 0,04 \cdot Z_{22} + 0,03 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,05	0,81	6,1 МПа
Водопоглощение за 30 суток, % (Y_7)	$Y_8 = 4,75 - 0,03 \cdot Z_1 + 0,45 \cdot Z_2$	0,00	0,81	2,4 %

Для показателя водопоглощения за 30 суток (рис. 3) также характерна прямая зависимость от содержания древесной муки в составе ПКМ. При этом увеличение содержания отходов ацетатных пленок в составе композита приводит к снижению водопоглощения.

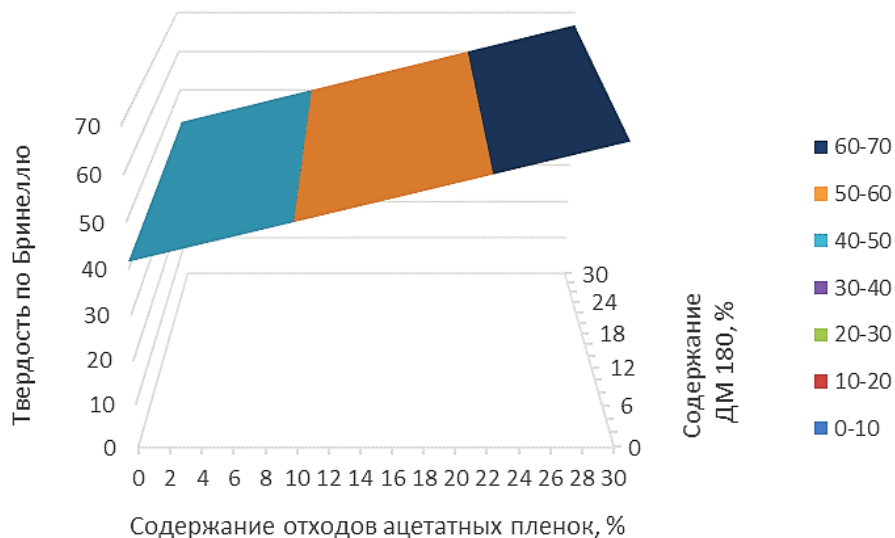


Рис. 1. График зависимости показателя твердости по Бринеллю от содержания в образце отходов ацетатных пленок и древесной муки

Использование отходов ацетатных пленок в качестве наполнителя для ПКМ на основе пластифицированного ацетата целлюлозы является перспективным способом их утилизации и позволяет получать композиционные материалы с высокими физико-механическими свойствами.

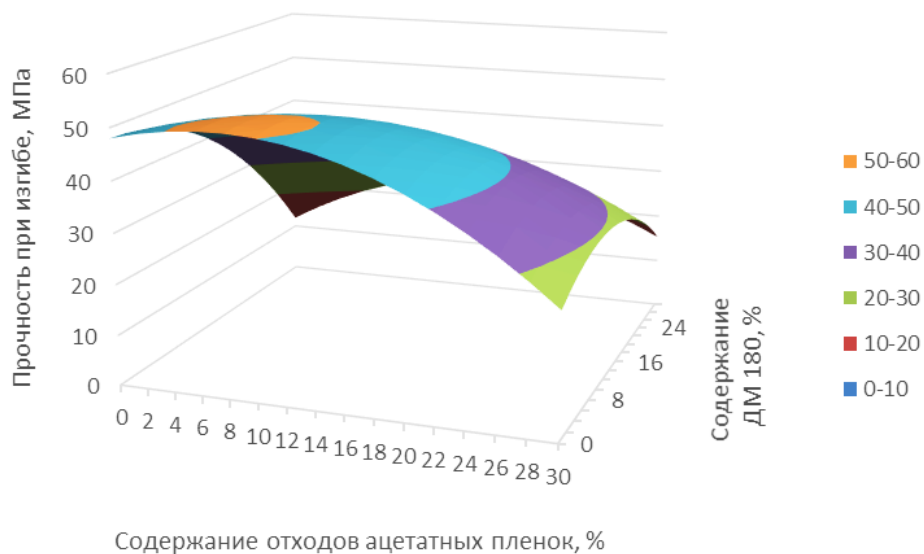


Рис. 2. График зависимости прочности при изгибе от содержания в образце отходов ацетатных пленок и древесной муки

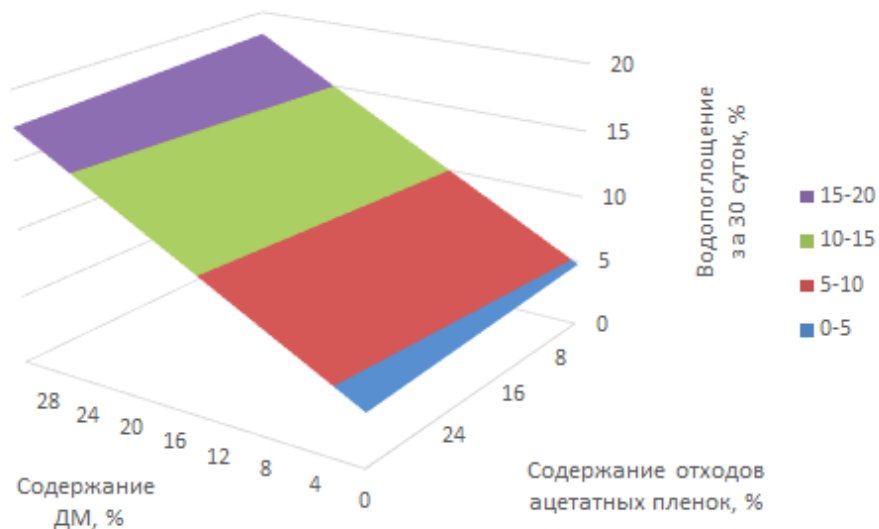


Рис. 3. График зависимости водопоглощения за 30 суток от содержания в образце отходов ацетатных пленок и древесной муки

Список источников

1. Кудрявцев А. Д., Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование физико-механических свойств ацетилцеллюлозных этролов // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22. – № 12. – С. 28–32.
2. Исследование свойств полимерного композиционного материала на основе пластифицированного ацетата целлюлозы и муки тростника / П. С. Захаров, Д. Д. Чирков, А. Е. Шкуро, Ю. М. Кулаженко // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 12. – С. 88–92.
3. Захаров П. С., Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование свойств наполненных ацетилцеллюлозных этролов // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 50–53.

References

1. Kudryavtsev A. D., Shkuro A. E., Krivonogov P. S. Study of the physical and mechanical properties of atse-tilcellulose etrols // Bulletin of the Technological University. – 2019. – Vol. 22. – № 12. – P. 28–32.
2. Research of properties of polymer composite material based on plasticized cellulose acetate and cane flou/ P. S. Zakharov, D. D. Chirkov, A. E. Shkuro, Yu. M. Kulazhenko // Bulletin of the Technological University. – 2021. – Vol. 24. – № 12. – P. 88–92.
3. Zakharov P. S., Shkuro A. E., Krivonogov P. S. Research of the properties of filled cellulose acetate etrols // Bulletin of the Technological University. – 2020. – Vol. 23. – № 2. – P. 50–53.

Научная статья
УДК 674.81

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ДРЕВЕСНЫХ ПЛАСТИКОВ

Маргарита Сергеевна Гарт¹, Анна Сергеевна Ершова²,
Артем Вячеславович Артемов³, Андрей Викторович Савиновских⁴,
Виктор Гаврилович Бурындин⁵

¹⁻⁵ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ gartmargarita@yandex.ru

² ershovaas@m.usfeu.ru

³ artemovav@m.usfeu.ru

⁴ savinovskihav@m.usfeu.ru

⁵ buryndinvg@m.usfeu.ru

Аннотация. Данной работой обобщены результаты исследования физико-механических свойств древесных пластиков по модулю упругости, прочности при изгибе, твердости и определению корреляционной зависимости между ними.

Ключевые слова: пластики, прочность, упругость, твердость

Для цитирования: Гарт М. С., Ершова А. С., Артемов А. В., Савиновских А. В., Бурындин В. Г. Исследование зависимости между физико-механическими свойствами древесных пластиков // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 140–146.*

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD PLASTICS

Margarita S. Garth¹, Anna S. Ershova², Artyom V. Artyomov³,
Andrey V. Savinovskih⁴, Viktor G. Buryndin⁵

¹⁻⁵ Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ gartmargarita@yandex.ru

² ershovaas@m.usfeu.ru

³ artemovav@m.usfeu.ru

⁴ savinovskihav@m.usfeu.ru

⁵ buryndinvg@m.usfeu.ru

Annotation. This work summarizes the results of the study of the physical and mechanical properties of wood plastics in terms of modulus of elasticity, flexural strength, hardness and determination of the correlation between them.

Keywords: plastics, strength, elasticity, hardness

For citation: Garth M. S., Ershova A. S., Artyomov A. V., Savinovskih A. V., Buryndin V. G. Investigation of the relationship between the physical and mechanical properties of wood plastics // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 140–146.

Acknowledgements: The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education within the framework of the scientific project «FEUG-2020-0013».

Одними из основных физико-механических свойств древесных пластиков являются: модуль упругости при изгибе ($E_{изг}$), прочность при изгибе ($\sigma_{изг}$) и твердость при вдавливании шарика (HB). Эти важнейшие характеристики материала необходимо знать не только при расчетах элементов конструкций на жесткость и прочность, но и в расчетах, связанных с устойчивостью, колебаниями, ударными нагрузками, а также при оценке износостойкости материала. Поэтому при изготовлении и использовании древесных пластиков необходимо, чтобы все эти физико-механические свойства определялись достаточно быстро, легко и дешево.

Целью данной работы являлось выявление возможной корреляционной зависимости между физико-механическими свойствами для древесных пластиков как и со связующими, так и без добавления связующих. Поскольку физико-механические свойства зависят от плотности (ρ), то одновременно анализировалась зависимость их от плотности [1].

Сущность работы заключается в последовательном определении вышеперечисленных физико-механических свойств по принятым методикам для плоских образцов-дисков диаметром 90 мм и толщиной 2 мм [2].

Для испытаний изготавливались образцы диаметром 90 мм и толщиной 2 мм из материалов, представленных в табл. 1 в соответствии с технологическими режимами прессования, представленными в табл. 2.

Таблица 1

Материал образцов-дисков

Материал	Обозначение
Масса древесно-прессовочная на основе СФЖ 3110	МДП (СФЖ 3110)
Масса древесно-прессовочная на основе ЛБС 1	МДП (ЛБС 1)
Фенопласт	03-010-02
Древесный пластик без добавления связующего из опилок ленточной пилорамы	ДП-БС ОЛП
Древесный пластик без добавления связующего из шлифовальной пыли ДСтП	ДП-БС ШП-ДСтП
Древесный пластик без добавления связующего из композиции: опилки ленточной пилорамы и лигнин	ДП-БС ОЛП/Лигнин

Таблица 2

Режим прессования образцов-дисков

Материал	Давление прессования, МПа	Температура прессования, °С	Влажность пресс-материала, %	Масса пресс-материала, г	Время прессования, мин
МДП (СФЖ 3110)	40	140–150	5–10	18	5
МДП (ЛБС 1)					
Фенопласт 03-010-02					
ДП-БС ОЛП	40	170–180	5–10	18	10
ДП-БС ШП-ДСтП					
ДП-БС ОЛП/Лигнин					

Отпрессованные образцы, кондиционированные в комнатных условиях в течение суток, переносились в приспособление для замера прогиба. После испытаний на жесткость образцы-диски распиливались на четыре части, где центральные части образца использовались для определения прочности при изгибе, а две крайние «горбушки» – на твердость [3–5].

Результаты испытаний сведены в табл. 3.

Полученные данные по упругости, прочности и твердости образцов анализировались с помощью методов математической статистики, и определялась зависимость между ними.

Параллельно проводились исследования свойств древесно-прессовочной композиционной массы (ДПКМ) на основе фенолоформальдегидных олигомеров и древесных отходов.

Таблица 3

Физико-механические свойства образцов-дисков
диаметром 90 мм

Материал	ρ , кг/м ³	$\sigma_{изг}$, МПа	$E_{изг}$, МПа	НВ, МПа
МДП СФЖ3110	1236	55,94	4814,99	131,13
МДП ЛБС 1	1225	42,97	4277,13	172,73
Фенопласт 0301002	1263	64,46	4645,81	241,98
ДП-БС ОЛП	1251	19,09	5065,71	65,76
ДП-БС ШП-ДСтП	1158	8,57	2840,16	61,27
ДП-БС ОЛП / лигнин	1108	5,74	–	20,85

Основная цель данной части работы заключалась в определении оптимальных условий получения ДПКМ для последующего изготовления из нее готового изделия поддон. Задачей исследования являлось изучение и сравнение физико-механических свойств древесно-полимерных композиций на основе связующего ЛБС-1, СФЖ-3013 и отходов деревообрабатывающих производств стружки и опила, а также определение оптимального расхода связующего и определение фракционного состава древесного наполнителя.

В качестве древесного наполнителя использовали опилки и стружку – отходы от деревообрабатывающих производств. В качестве связующего для измельченной древесины использовали фенолоформальдегидные связующие марок СФЖ-3013 и ЛБС-1.

Отпрессованное изделие: плитка прямоугольной формы размерами 157 × 111 × 8,5–10,0 мм. Физико-механические показатели ДПКМ определяли по ГОСТ 11368-89.

Результаты исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

Свойства ПКМ на основе фенолоформальдегидных олигомеров
и древесных отходов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Прочность при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа	Прочность при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа	Водопогло- щение w , %
МДП СФЖ3110	1293	45,4	45,9	8,0
МДП ЛБС 1	1300	34,6	43,5	6,8

По результатам исследований проведен анализ полученных данных по физико-механическим свойствам древесных пластиков и ДПКМ на основе фенолоформальдегидных олигомеров и древесных отходов и определена корреляционная зависимость между ними.

По полученным данным исследований построены графические зависимости, определены уравнение зависимости и величина достоверности аппроксимации, которые позволяют сделать следующие выводы, представленные ниже.

1. На рис. 1, *а* приведена зависимость между прочностью при изгибе и модулем упругости при изгибе для ДКМ. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,513$. Это показывает, что имеется зависимость между прочностью при изгибе и модулем упругости при изгибе для ДКМ.

На рис. 1, *б* приведена зависимость между модулем упругости при изгибе и твердостью для ДКМ. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,0007$. Это показывает, что практически не существует зависимости между прочностью при изгибе и твердостью для ДКМ.

На рис. 1, *в* приведена зависимость между прочностью при изгибе и твердостью для ДКМ. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,8416$. Это показывает, что имеется зависимость между прочностью при изгибе и твердостью для ДКМ.

На рис. 1, *г* приведена зависимость между плотностью и прочностью при изгибе для ДКМ. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,5499$. Это показывает, что имеется зависимость между плотностью и прочностью при изгибе для ДКМ.

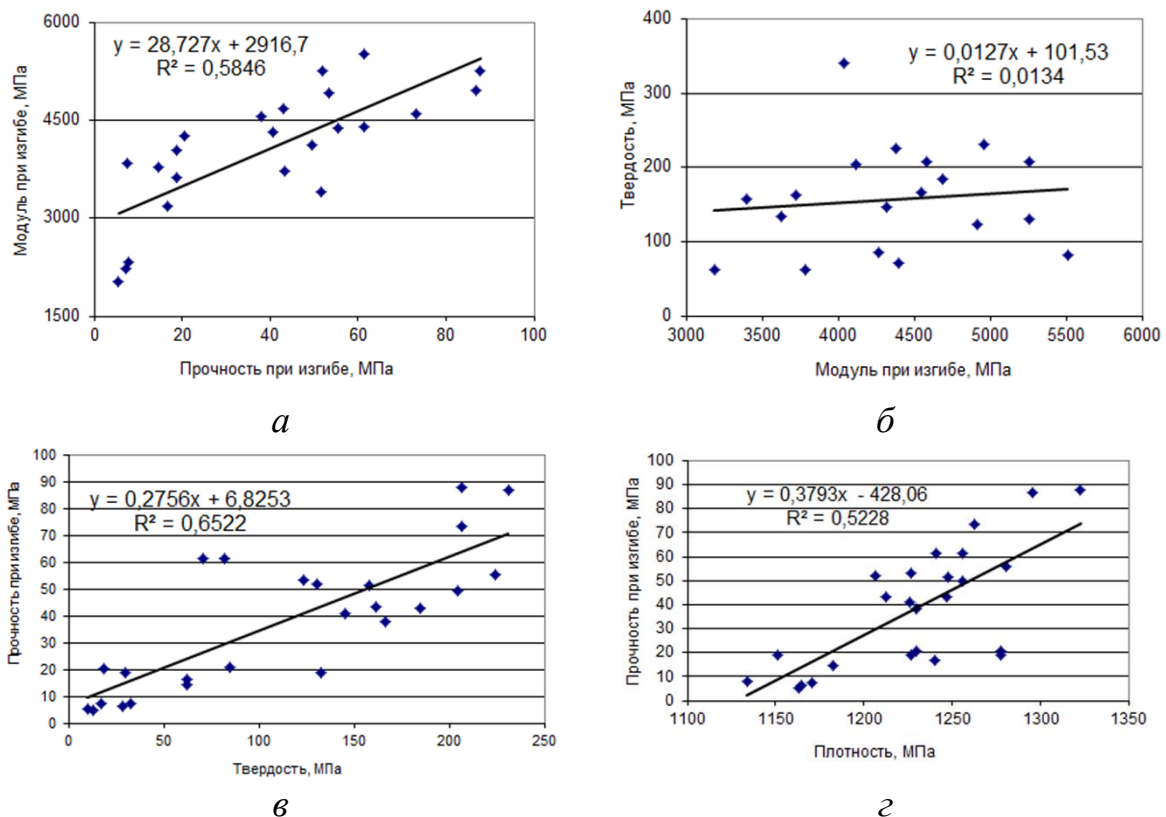


Рис. 1. Зависимость между свойствами ДКМ:

- а* – прочность при изгибе и модуль упругости при изгибе;
- б* – модуль при изгибе и твердость;
- в* – твердость и прочность при изгибе;
- г* – плотность и прочность при изгибе

2. На рис. 2, *а* приведена зависимость между плотностью и прочностью при изгибе для ДП-БС. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,8023$. Это показывает, что имеется зависимость между плотностью и прочностью при изгибе для ДП-БС. Это является подтверждением работы [1].

На рис. 2, *б* приведена зависимость между плотностью и модулем упругости при изгибе для ДП-БС. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,4891$. Это показывает, что имеется зависимость между плотностью и модулем упругости при изгибе для ДП-БС.

На рис. 2, *в* приведена зависимость между плотностью и твердостью для ДП-БС. Коэффициент корреляции составил $R^2 = 0,4721$. Это показывает, что имеется зависимость между плотностью и твердостью для ДП-БС.

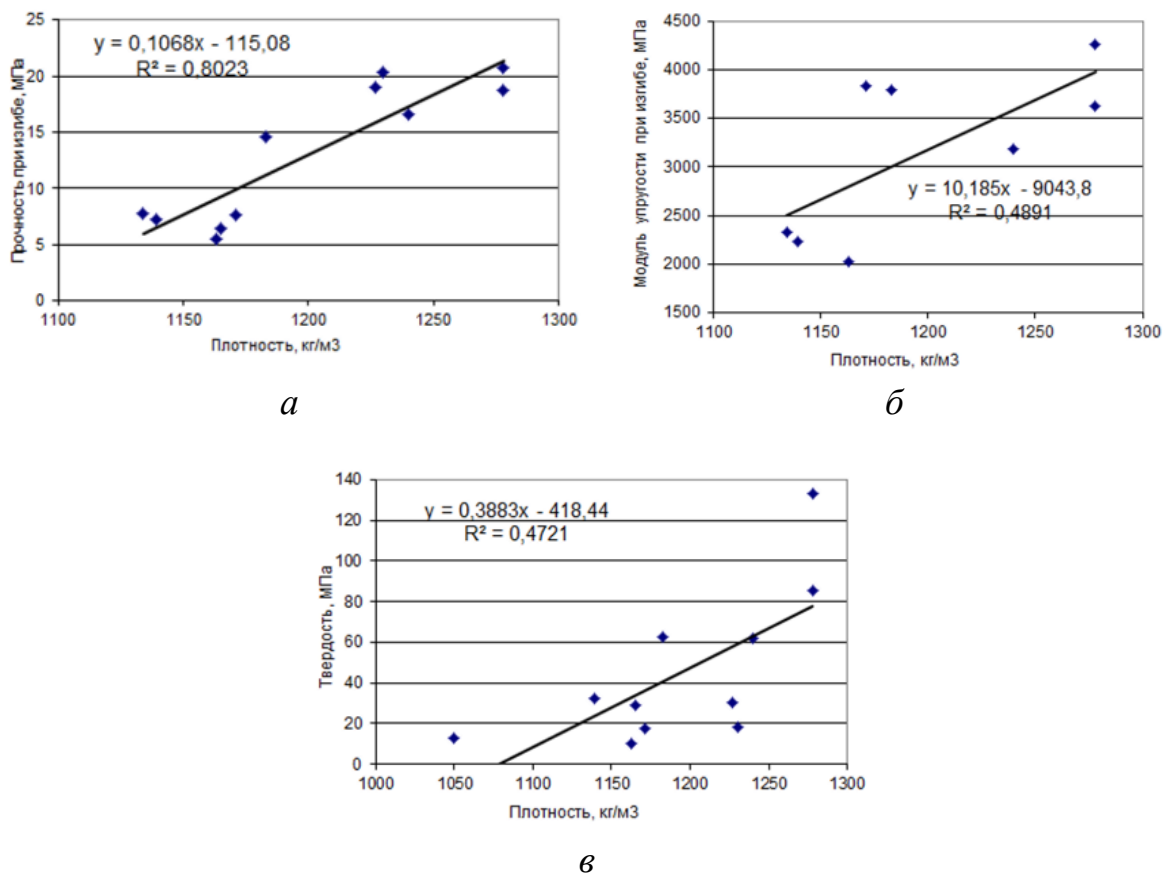


Рис. 2. Зависимость между свойствами ДП-БС:

а – плотность и прочность; *б* – плотность и модуль упругости при изгибе;

в – плотность и твердость

3. При сравнении образцов-плиток ДПКМ на основе фенолоформальдегидных олигомеров и древесных отходов с образцами-дисками по прочности при изгибе выявлено, что прочность при изгибе у образцов-дисков больше, чем у образцов-плиток на $\approx 19\%$. Это может быть объяснено масштабным фактором.

Список источников

1. Зависимость водопоглощения и прочности при изгибе от плотности древесного пластика без связующего / А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, В. Г. Дедюхин, В. В. Глухих // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. науч. тр. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2004. – С. 24–31.

2. Бурындин Б. Г., Савиновских А. В., Артемов А. В. Определение модуля упругости древесных пластиков без добавления связующих // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : мат. XIII Межд. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – С. 529–531.

3. Дедюхин В. Г., Мухин Н. М., Ставров В. П. Методы контроля процесса отверждения реактопластов // Пластмассы. – 1976. – № 10. – С. 66–67.

4. ГОСТ 4648-71. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб (с Изменениями № 1, 2, 3). – М. : Издательство стандартов, 1992.

5. ГОСТ 4670-2015 (ISO 2039-1:2001). Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика. – М. : Стандартиформ, 2016.

References

1. Dependence of water absorption and bending strength on the density of wood plastic without binder / A. V. Artemov, V. G. Buryndin, V. G. Dedyukhin, V. V. Glukhikh // Technology of wood boards and plastics: intercollegiate collection of scientific works / Ural State Forestry University, 2004. – P. 24–31.

2. Buryndin B. G. Determination of the elastic modulus of wood plastics without adding binders / B. G. Buryndin, A. V. Savinovskikh, A. V. Artyomov // Effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and nature, man and technology : socio-economic and environmental problems of the forest complex: materials of the XIII International Scientific and Technical Conference. – Yekaterinburg : Ural State Forestry University, 2021. – P. 529–531.

3. Dedyukhin V. G., Mukhin N. M., Stavrov V. P. Methods for controlling the process of curing reactoplasts // Plastics. – 1976. – № 10. – P. 66–67.

4. GOST 4648-71. Plastics. Static bending test method (with Rev. № 1, 2, 3). – M. : Publishing House of Standards, 1992.

5. GOST 4670-2015 (ISO 2039-1: 2001). Plastics. Determination of hardness. The method of pressing the ball. – M. : Standardinform, 2016.

Научная статья
УДК 691.175.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ПОЛИАКРИЛАТОМ НАТРИЯ

Мария Ярославовна Данчук¹, Павел Сергеевич Захаров²,
Алексей Евгеньевич Шкуро³, Виктор Владимирович Глухих⁴

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ mariyadanchuk2607@mail.ru

² zaharovps@m.usfeu.ru

³ shkuroae@m.usfeu.ru

⁴ glukhikhvv@m.usfeu.ru

Аннотация. В работе исследована возможность применения полиакрилата натрия при получении полимерных композиционных материалов с водоудерживающими свойствами с полимерной фазой ацетата целлюлозы.

Ключевые слова: композит, ацетат целлюлозы, древесная мука, полиакрилат натрия, водопоглощение

Для цитирования: Данчук М. Я., Захаров П. С., Шкуро А. Е., Глухих В. В. Исследование физико-механических свойств древесно-полимерных композитов с полиакрилатом натрия // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 147–152.*

STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH SODIUM POLYACRYLATE

Maria Y. Danchuk¹, Pavel S. Zakharov², Alexey E. Shkuro³,
Viktor V. Glukhikh⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ mariyadanchuk2607@mail.ru

² zaharovps@m.usfeu.ru

³ shkuroae@m.usfeu.ru

⁴ glukhikhvv@m.usfeu.ru

Abstract. The possibility of using sodium polyacrylate in the preparation of polymer composite materials with water-retaining properties with a polymeric phase of cellulose acetate was studied in this work.

Keywords: composite, cellulose acetate, wood flour, sodium polyacrylate, water absorption

For citation: Danchuk M. Y., Zakharov P. S., Shkuro A. E., Glukhikh V. V. Study of the physical and mechanical properties of wood-polymer composites with sodium polyacrylate // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 147–152.

В настоящее время в сельскохозяйственной промышленности существует потребность в биоразлагаемых материалах с водоудерживающими свойствами. Такие материалы позволили бы удерживать водорастворимые удобрения в почве пролонгируя их действие [1]. В качестве полимерного связующего для получения такого материала был выбран ацетат целлюлозы, так как его композиции обладают высокими физико-механическими свойствами и способностью к биоразложению в грунте [2, 3]. В качестве наполнителя и водоудерживающей добавки – полиакрилат натрия. Целью исследования являлось изучение физико-механических свойств композиционных материалов с полимерной матрицей ацетата целлюлозы, наполнителем смеси древесной муки с полиакрилатом натрия.

Для получения композиционных материалов использовали древесную муку марки 180 (ДМ-180) производства ООО «Юнайт» и полиакрилат натрия производства ООО «Миксем». В качестве пластификаторов применили триацетин и трибутилфосфат, а в качестве лубриканта – стеарат кальция. Массовое соотношение между ацетатом целлюлозы, триацетином и трибутилфосфатом в составе полимерной матрицы оставалось постоянным для всех образцов композитов и составляло 667 : 266 : 67 м. ч.

Смешение компонентов композитов производилось на лабораторных вальцах марки ПД-320-160/160 при температуре 160–170 °С. Стандартные образцы композитов были изготовлены методом горячего прессования. Рецептуры полученных композитов приведены в табл. 1.

Для полученных композитов были определены показатели следующих физико-механических свойств: твердость по Бринеллю по ГОСТ 4670-67, прочность при изгибе по ГОСТ 17036-71, водопоглощение по ГОСТ 19592.

Таблица 1

Состав образцов полученных композитов

Номер образца	Содержание компонентов в образцах композитов, мас. %		
	Пластифицированный ацетат целлюлозы	Полиакрилат натрия	ДМ-180
1	100,0	0	0
2	66,7	0	33,3
3	50,0	0	50,0
4	90,9	9,1	0,0
5	62,9	6,3	30,8
6	47,5	4,8	47,7
7	83,3	16,7	0
8	59,2	11,8	29
9	45,1	9,1	45,8

Результаты испытаний физико-механических свойств полученных образцов композитов приведены в табл. 2. Экспериментально-статистические зависимости свойств композитов от содержания в них полиакрилата натрия и древесной муки представлены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов композитов

Номер образца	Показатели свойств композитов		
	Твердость по Бринеллю, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Водопоглощение за сутки, мас. %
1	34,4	45,1	4,8
2	66,7	32,6	8,7
3	74,1	38,4	9,7
4	48,1	50,0	14,8
5	57,7	36,7	19,7
6	67,1	37,5	20,0
7	49,3	44,9	17,5
8	76,0	30,6	16,5
9	55,9	34,5	29,5

Таблица 3

Экспериментально-статистические зависимости показателей свойств композитов от содержания в них полиакрилата натрия (Z_1) и древесной муки (Z_2)

Показатели свойств	Регрессионная зависимость Y_i	Статистические параметры регрессионной зависимости Y_i для доверительной вероятности 0,95		
		Значение F	Коэффициент детерминации R_2	Стандартная ошибка
Твердость по Бринеллю, МПа (Y_1)	$Y_1 = 41,25 + 0,5 \cdot Z_1 + 0,54 \cdot Z_2$	0,05	0,63	9,6 МПа
Прочность при изгибе, МПа (Y_2)	$Y_2 = 44,8 + 1,45 \cdot Z_1 - 0,77 \cdot Z_2 - 0,0876 \cdot Z_{12} + 0,013 \cdot Z_{22} - 0,019 \cdot Z_1 \cdot Z_2$	0,005	0,98	1,3 МПа
Водопоглощение за сутки, % (Y_3)	$Y_3 = 3,5 + 2,3 \cdot Z_1 - 0,93 \cdot Z_{12} + 0,0037 \cdot Z_{22}$	0,01	0,85	3,6 %

Установлено, что твердость по Бринеллю (рис. 1) увеличивается пропорционально росту содержания как полиакрилата натрия, так и древесной муки в составе композита.

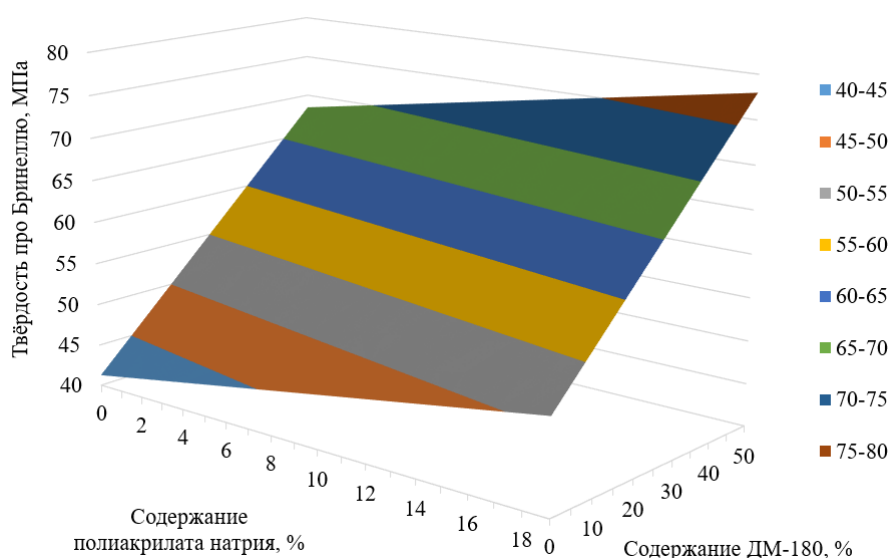


Рис. 1. График зависимости показателя твердости по Бринеллю от содержания в образце полиакрилата натрия и древесной муки

При увеличении содержания в композите древесной муки наблюдалось падение прочности при изгибе материала (рис. 2). Введение в состав композита полиакрилата натрия также негативно сказывается на этом

показателе. Однако для образцов композитов с низким содержанием акрилата натрия это влияние незначительно.

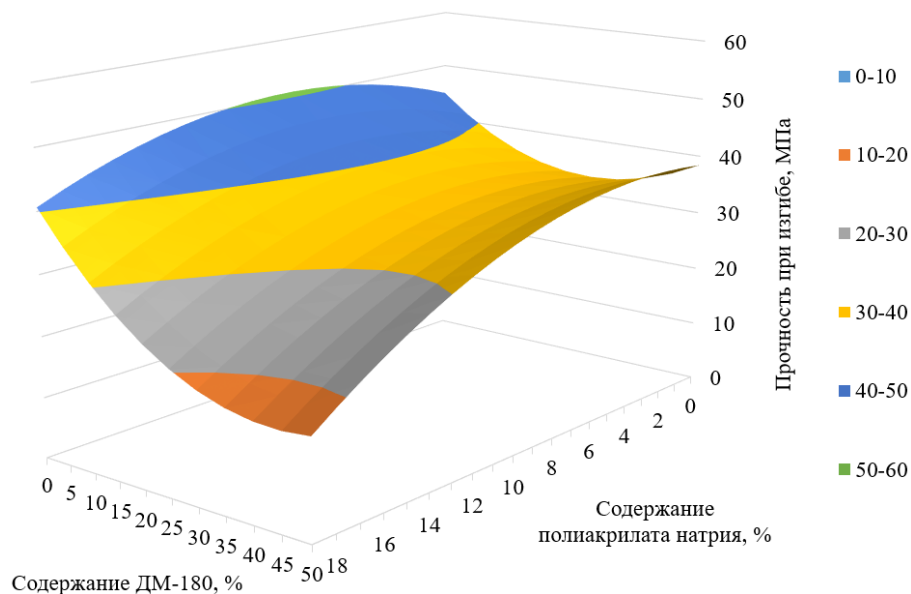


Рис. 2. График зависимости прочности при изгибе от содержания в образце полиакрилата натрия и древесной муки

Показатели водопоглощения композита за 24 часа выдержки увеличиваются с ростом содержания древесной муки составе композита (рис. 3). Зависимость этого показателя от содержания полиакрилата натрия носит экстремальный характер. При его содержании в композите 12 мас. % достигается максимальное значение водопоглощения материала.

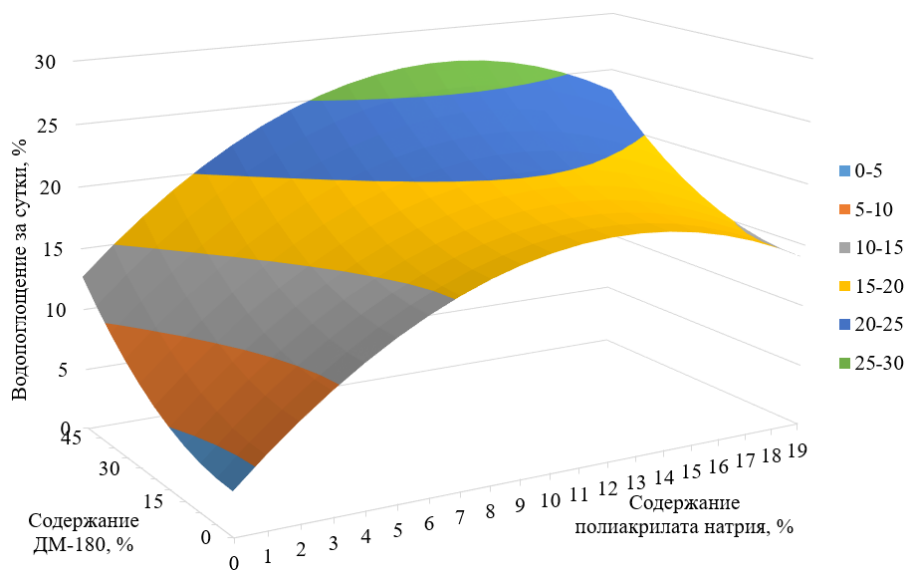


Рис. 3. График зависимости водопоглощения за сутки от содержания в образце полиакрилата натрия и древесной муки

Использование полиакрилата натрия в качестве водоудерживающего агента позволяет увеличить показатели водопоглощения композитов с полимерной фазой ацетата целлюлозы более чем в 2,7 раза, сохраняя при этом физико-механические свойства на высоком уровне. Дальнейшие исследования влияния водоудерживающих агентов на физико-механические свойства композитов и изделий из них являются перспективным направлением в связи с потребностью таких материалов в сельском хозяйстве.

Список источников

1. Yang X., Congying L., Hongbin H. Performances of biodegradable polymer composites with functions of nutrient slow-release and water retention in simulating heavy metal contaminated soil: Biodegradability and nutrient release characteristics // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – P. 294.

2. Кудрявцев А. Д., Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование физико-механических свойств ацетилцеллюлозных этролов // *Вестник технологического университета*. – 2019. – Т. 22. – № 12. – С. 28–32.

3. Захаров П. С., Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование свойств наполненных ацетилцеллюлозных этролов // *Вестник технологического университета*. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 50–53.

References

1. Yang X., Congying L., Hongbin H. Performances of biodegradable polymer composites with functions of nutrient slow-release and water retention in simulating heavy metal contaminated soil: Biodegradability and nutrient release characteristics // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – P. 294.

2. Kudryavtsev A. D. Study of the physical and mechanical properties of acetyl-cellulose etrols / A. D. Kudryavtsev, A. E. Shkuro, P. S. Krivonogov // *Bulletin of the University of Technology*. – 2019. – Vol. 22. – № 12. – P. 28–32.

3. Zakharov P. S. Research of the properties of filled cellulose acetate etrols/P.S. Zakharov, A.E. Shkuro, P.S. Krivonogov//*Bulletin of the University of Technology*. – 2020. – Vol. 23. – № 2. – P. 50–53.

Научная статья
УДК 674.419.32

ВЛИЯНИЕ ТИПА СВЯЗУЮЩЕГО НА СВОЙСТВА PSL

**Антон Юрьевич Тесленко¹, Олег Федорович Шишлов²,
Виктор Владимирович Глухих³**

^{1,2} ПАО «Уралхимпласт», г. Нижний Тагил, Россия;

³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ a.teslenko@ucp.ru

² o.shishlov@ucp.ru

³ gluhihvv@m.usfeu.ru

Аннотация. В данной работе исследовано влияние типа связующего (фенолформальдегидное; эпоксидное с карданолсодержащим основанием Манниха) на свойства древесного-композиционного материала (ДКМ) – клееного бруса из параллельных волокон древесины (PSL).

Ключевые слова: ДКМ, PSL, древесно-композиционный материал, пиломатериал с параллельными прядями, фенолкамин

Для цитирования: Тесленко А. Ю., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Влияние типа связующего на свойства PSL // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 153–156.

Original article

INFLUENCE OF BINDER TYPE ON PSL PROPERTIES

Anton Yu. Teslenko¹, Oleg F. Shishlov², Viktor V. Glukhikh³

^{1,2} JSC Uralchimplast, Nizhny Tagil, Russia;

³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ a.teslenko@ucp.ru

² o.shishlov@ucp.ru

³ gluhihvv@m.usfeu.ru

Abstract. In this work, the influence of the type of binder (phenol-formaldehyde; epoxy with Mannich cardanol-containing base) on the properties of a wood-composite material (WCM) – a glued beam of parallel wood fibers (PSL) was studied.

Keywords: WCM, PSL, wood-composite material, parallel-strand lumber, phenalkamine

For citation: Teslenko A. Yu., Shishlov O. F., Glukhikh V. V. Influence of binder type on PSL properties // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 153–156.

В последнее время наблюдается большой интерес к древесным композиционным материалам, которые широко используются в таких отраслях, как деревянное домостроение, судо-авиастроение и другие.

К ДКМ, отвечающим современным требованиям, относят материалы из инженерной древесины, такие как древесно-волоконистая плита высокой и средней плотности; ориентированная древесно-стружечная плита; клееный брус; поперечно-слоистый брус; пиломатериалы с параллельными прядями; древесно-пластиковый композит.

Пиломатериал с параллельными прядями (PSL) – это вид инженерной древесины, состоящий из продольного пиломатериала, древесное волокно которого имеет параллельную ориентацию вдоль длины пиломатериала, скрепленного связующим.

Получение композиционного пиломатериала с параллельными прядями на фенолформальдегидном и эпоксидном связующих. Ранее [1, 2] нами была показана возможность получения ДКМ с использованием эпоксидного связующего с карданол-содержащим основанием Манниха – фенолкамином. Результаты, полученные в данных работах, позволили сделать вывод о применимости данного типа связующего для получения PSL.

Для изучения влияния типа связующего на свойства PSL нами были выбраны следующие связующие:

- СФЖ-3014 (производства ПАО «Уралхимпласт»);
- Эпоксидная смола (ЭД-20) в смеси с отвердителем «Кардамин Д-1» (соотношение 100 : 40, м. ч.)

Образцы PSL № 1 и № 2 были получены следующим образом. На листы березового шпона (Д × Ш × В: 200 : 200 : 1,5 мм) кистью наносили связующее. Затем полученные листы нарезались на ламели, из которых далее формировали «пакет». Расположение ламелей в «пакете» продольное. Полученный «пакет» подвергали пьезо-термической обработке в течение часа. По окончании пьезо-термической обработки образец извлекался из пресса, подвергался механической обработке и кондиционировался в течение 3-х суток при 20 °С, рис. 1 и 2.

Часть полученных образцов после механической обработки и кондиционирования была подвергнута температурно-влажностной обработке (ТВО). Результаты испытаний полученных образцов PSL представлены в таблице.



Рис. 1. Образец PSL № 1 (слева) и № 2 (справа) без механической обработки



Рис. 2. Образец PSL № 2 на эпоксидном связующем с карданолсодержащим основанием Манниха после механической обработки

Таблица

Результаты испытаний образцов PSL

Показатель	Образец PSL № 1	Образец PSL № 2
Плотность, кг/м ³	1135	1326
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, Мпа (без ТВО)	111,9	143,9
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, Мпа (ТВО 1 ч, 100 °С)	42,2	52,3
Водопоглощение за 24 ч 20 °С, %	9,0	8,0
Объемное разбухание 24 ч 20° С, %	42,0	7,0
Водопоглощение 1 ч 100 °С, %	14,0	7,0

На основании полученных экспериментальных данных нами был сделан вывод о применимости фенолформальдегидного и эпоксидного связующего для получения конструкционных ДКМ.

Также стоит отметить, что образец PSL № 2, полученный на основе эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха,

обладает меньшими значениями показателей «водопоглощение» и «объемное разбухание» в сравнении с образцом PSL № 1.

Данный факт позволяет рассматривать возможность использования образца PSL № 2 в более жестких условиях эксплуатации.

Список источников

1. Тесленко А. Ю., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Применение эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха в производстве клееного бруса из параллельных волокон древесины (PSL) // Деревообработка : технология, оборудование, менеджмент XXI : тр. XVI Междунар. Евраз. симп. 21–24 сентября 2021 г. – Екатеринбург, 2021. – С. 94–97.

2. Перспективные связующие для фанеры на основе эпоксидных систем с карданолсодержащим основаниями Манниха / А. Ю. Тесленко, О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих, О. С. Ельцов // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 1 (45). – С. 85–90.

References

1. Teslenko A. Yu., Shishlov O. F., Glukhikh V. V. The use of epoxide binder with Mannich cardanol-containing base in the production of glued wood from parallel wood fibers (PSL) // Woodworking : technology, equipment, management XXI : Proceedings of the XVI International Eurasian Symposium September 21–24, 2021. – Yekaterinburg, 2021. – P. 94–97.

2. Promising binders for plywood based on epoxy systems with cardanol-containing Mannich / A. Yu. Teslenko, O. F. Shishlov, V. V. Glukhikh, O. S. Yeltsov // Systems. Methods. Technologies. – 2020. – № 1 (45). – P. 85–90.

Научная статья
УДК 678

ВЛИЯНИЕ ПОЛИФОСФАТА АММОНИЯ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЛИГНИНСОДЕРЖАЩЕЙ ФЕНОЛЬНОЙ ПЕНЫ

**Илья Владимирович Тычинкин¹, Олег Федорович Шишлов²,
Виктор Владимирович Глухих³**

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

^{1, 2, 3} Ilya.ty4inkin@yandex.ru

Аннотация. Статья содержит сведения об исследовании влияния антипирена полифосфата аммония (APP – 201) на огнестойкость лигнинсодержащей фенольной пены.

Проведены испытания на огнестойкость фенольной пены с введением в нее 1% антипирена, а также без него. Отмечено, что фенольная пена карбонизируется в процессе горения, выделяет небольшое количество дыма, а введение 1 % антипирена повышает огнестойкость готового материала.

Ключевые слова: фенолформальдегидные смолы, полифосфат аммония, лигнин, фенольная пена, огнестойкость

Для цитирования: Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Влияние полифосфата аммония на огнестойкость лигнинсодержащей фенольной пены // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2022. С. 157–161.

Original article

EFFECT OF AMMONIUM POLYPHOSPHATE ON THE FIRE RESISTANCE OF LIGNIN-CONTAINING PHENOLIC FOAM

Ilya V. Tychinkin¹, Oleg F. Shishlov², Viktor V Glukhikh³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{1, 2, 3} Ilya.ty4inkin@yandex.ru

Abstract. The article contains information about the study of the effect of ammonium polyphosphate flame retardant (APP – 201) on the fire resistance of lignin-containing phenolic foam. Fire resistance tests of phenolic foam were

carried out with the introduction of 1 % flame retardant into it, as well as without it. It is noted that phenolic foam carbonizes during combustion, emits a small amount of smoke, and the introduction of 1 % flame retardant increases the fire resistance of the finished material.

Keywords: phenol-formaldehyde resins, ammonium polyphosphate, lignin, phenolic foam, fire resistance

For citation: Tychinkin I. V., Shishlov O. F., Glukhikh V. V. Effect of ammonium polyphosphate on the fire resistance of lignin-containing phenolic foam // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2022. P. 157–161.

В настоящее время растет спрос на производство полимерных вспененных материалов из-за их обширного спектра применения в таких областях, как тепло- и звукоизоляция, упаковка, фильтрующие системы, конструктивные и бытовые элементы [1]. Имея ряд преимуществ, таких как легкий вес, низкая плотность, теплопроводность и горючесть по сравнению с плотными твердыми материалами, вспененные материалы обеспечивают экономию энергии при транспортировке и монтаже, а также простоту обращения с ними [2].

Фенольные пены – теплоизоляционный материал, который образуется при отверждении и одновременном вспенивании резольной смолы под действием отвердителя в присутствии пенообразователя [3]. Фенольные пены трудногорючие, самозатухающие, стойкие к проникновению пламени, дымо- и каплеупорные во время пожаров, легкие, химически стойкие и термостойкие вспененные материалы. Фенольные пены получили широкое распространение в области изоляции зданий, транспорта трубопроводов и промышленных трубопроводов, поэтому огнестойкость и связанные с ней свойства, такие как выделение дыма или капание воспламененных частиц, стали очень важными параметрами, которые необходимо учитывать в таких областях применения. Следовательно, улучшение огнезащитных свойств данных материалов является важной задачей для расширения области их применения [4].

Полифосфат аммония является высокомолекулярным антипиреном и представляет собой неорганическую соль фосфорной кислоты. Его структура образуется в результате слияния мономерных ортофосфатов в одну полимерную цепь. Исходным сырьем для получения вещества являются фосфорная кислота и аммиак.

В работе использовали антипирен полифосфат аммония APP – 201. Антипирен представлен в виде тонкодисперсного белого порошка, негорючего и нетоксичного для человека.

Основные характеристики антипирена полифосфата аммония APP – 201 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели антипирена полифосфата аммония APP – 201

Наименование	Показатель
Содержание P, %, не менее	31,0–32,0
Содержание N, %, не более	14,0
pH	5,5–7,5
Степень полимеризации, не менее	1000,0
Плотность, г/см ³	0,19
Температура плавления, °С	275,0
Растворимость в воде (г/100 см ³)	0,5

Для того чтобы оценить влияние антипирена на огнестойкость фенольной пены, была выбрана резольная фенолформальдегидная смола, содержащая в своем составе 5 % лигнина, которая используется в производстве вспененных композиционных материалов.

Основные характеристики резольной фенолформальдегидной смолы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели резольной фенолформальдегидной смолы

Наименование	Показатель
Условная вязкость при 25 °С, сПз	2300,0
Массовая доля щелочи, %	0,56
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	81,3
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,83
Массовая доля свободного фенола, %	1,78
Кислотность, pH	6,7–7,0

Для получения фенольной пены использовали резольную фенолформальдегидную смолу, вспенивающий агент и отвердитель. Антипирен в количестве 1 % от общей массы смолы вводили последним на стадии перемешивания. Все компоненты перемешивали в смесителе, а затем загружали в термостатированный ящик и выдерживали при температуре 84 °С в течение 30 минут. Готовый блок фенольной пены оставляли на сутки под вытяжной вентиляцией для устранения запаха и окончательного отверждения.

Для изучения влияния антипирена на огнестойкость фенольной пены из готового блока вырезали образцы размером 250 × 250 × 40 мм в количестве трех штук.

Огнестойкость образца оценивали по ГОСТ 30244-94 «Методы испытаний на горючесть». В соответствии с этим стандартом было разработано испытательное устройство для нанесения пламени на поверхность образцов, которые были установлены и надежно закреплены в вертикальном положении с помощью опорной конструкции. Источником воспламенения была стандартная бутановая горелка с регулируемым пламенем, которая подавалась от газового баллона. Горелку помещали на подвижную опору, наклоненную под углом 45 градусов и выровненную по центру испытуемого образца. Опора была придвинута ближе к образцу до тех пор, пока горелка не окажется на высоте 4 см от нижнего края образца и на расстоянии 5 мм от его поверхности. Горелку придвигали к образцу и включали секундомер для фиксирования времени прогорания материала насквозь. Во время испытания визуально отслеживали воспламеняемость и выделение дыма при горении. Данный опыт повторяли для каждого образца.

В результате было отмечено, что фенольная пена с антипиреном имеет хорошую огнестойкость, а в процессе горения выделяется небольшое количество дыма. При удалении очага воспламенения фенольная пена затухает и не горит. Во время горения на месте, куда направлен очаг пламени, образуется каверна, а сама пена в результате горения карбонизируется.

В ходе испытания трех одинаковых образцов было рассчитано среднее арифметическое время прогорания фенольной пены насквозь. Время прогорания фенольной пены с антипиреном насквозь в сравнении с образцом стандартной фенольной пены представлены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели времени до полного прогорания фенольной пены

Наименование	Время, с
Стандартная фенольная пена	85
Фенольная пена с 1% антипирена	90

Полученные данные свидетельствуют о том, что введение 1 % антипирена увеличивает огнестойкость лигнинсодержащей фенольной пены.

Выводы. 1. Проведены испытания по изучению влияния антипирена полифосфата аммония на огнестойкость лигнинсодержащей фенольной пены.

2. Установлено, что введение 1 % антипирена полифосфата аммония на стадии перемешивания повышает огнестойкость лигнинсодержащей фенольной пены.

Список источников

1. Delgado C., Sarazin J., Santiago F. J. Fierro. Impact of the formulation of biosourced phenolic foams on their fire properties // *Polymer Degradation and Stability*. – 2018. – P. 1–14. – URL : <https://doi:10.1016/j.polymdegradstab.2018.11.143>.

2. Kim B. G., Lee D. G. Development of microwave foaming method for phenolic insulation foams // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2008. – 201 (1–3). – P. 716–719. – URL : <https://doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.11.143>.

3. Kaihong T., Xiao H., Guiqiu X. Effect of formaldehyde to phenol molar ratio on combustion behavior of phenolic foam // *Polymer Testing*. – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107626>.

4. Mougel C., Garnier T., Cassagnau P. Phenolic foams: A review of mechanical properties, fire resistance and new trends in phenol substitution // *Polymer*. – 2018. – URL : <https://doi:10.1016/j.polymer.2018.12.050>.

References

1. Delgado C., Sarazin J., Santiago F. J. Fierro. Impact of the formulation of biosourced phenolic foams on their fire properties // *Polymer Degradation and Stability*. – 2018. – P. 1–14. – URL : <https://doi:10.1016/j.polymdegradstab.2018.11.143>.

2. Kim B. G., Lee D. G. Development of microwave foaming method for phenolic insulation foams // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2008. – 201 (1–3). – P. 716–719. – URL : <https://doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.11.143>.

3. Kaihong T., Xiao H., Guiqiu X. Effect of formaldehyde to phenol molar ratio on combustion behavior of phenolic foam // *Polymer Testing*. – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107626>.

4. Mougel C., Garnier T., Cassagnau P. Phenolic foams: A review of mechanical properties, fire resistance and new trends in phenol substitution // *Polymer*. – 2018. – URL : <https://doi:10.1016/j.polymer.2018.12.050>.

Научное издание

ДЕРЕВООБРАБОТКА:

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ,
МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА

ТРУДЫ
XVII МЕЖДУНАРОДНОГО
ЕВРАЗИЙСКОГО СИМПОЗИУМА
13–16 сентября 2022 г.

ISBN 978-5-94984-839-5



Редактор Н. В. Рощина
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

Дата подписания к использованию 16.09.2022

Уч.-изд. л. 10,28 Объем 10,5 Мб

Тираж 500 экз. (1-й завод 25 экз.)

Заказ № 7481

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Редакционно-издательский отдел. Тел. 8 (343) 221-21-44

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2
Тел. 8 (343) 362-91-16