

Дерево —

ISSN 0011-9008

4/2022 обрабатывающая
промышленность



Дерево —

4/2022 обрабатывающая промышленность

ISSN 0011-9008

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

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по группе научных специальностей 05.21.00 – Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева.

Редакционная коллегия:



Главный редактор
Сафин Руслан Рушанович
д.т.н., профессор

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»



Зам. главного редактора
Разумов Евгений Юрьевич
д.т.н., доцент

Сафин Рушан Гареевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Баширов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Хасанин Руслан Ромелевич, д.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

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

Рыкунин Станислав Николаевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

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

Черных Михаил Михайлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. Калашникова»

Тимербаев Наиль Фаритович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Лукаш Александр Андреевич, д.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»

Рыбин Борис Матвеевич, д.т.н., профессор
Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

Сержанов Игорь Михайлович, д.с.-х.н., доцент
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Давлетбаев Руслан Сагитович, д.х.н., профессор
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ»

Титунин Андрей Александрович, д.т.н., доцент
ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Тамби Александр Алексеевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнический университет»

Варанкина Галина Степановна, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Угрюмов Сергей Алексеевич, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Адрес типографии:
420012, г. Казань, ул. Бутлерова 36

Адрес редакции:
117452, г. Москва, ул. Черноморский
бульвар, д. 17, корп. 1.

© «Редакция журнала
«Деревообрабатывающая
промышленность», 2022

journal_woodworking@mail.ru
www.dop1952.ru

Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990
Формат бумаги 60x88/8
Тираж 720 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

Ченушкина С.В., Кручинин И. Н., Побединский В.В., Абрамов Я.И.

Разработка реестровой модели лесотранспортной инфраструктуры в рамках цифровой трансформации лесного хозяйства Российской Федерации 3

Колобова А.А., Клевеко В.И., Чижов А.А., Лабыкин А.А.

Разработка требований к применению нефтезагрязненных грунтов при строительстве на лесовозных дорогах парогидроизолирующих прослоек 11

Тихомиров П.В., Скрытников А.В., Зеликов В.А., Володина Ю.Ю.

Метод разбивочно-контрольных работ для строительства горизонтальных закруглений лесовозных автомобильных дорог 18

Физико-механические процессы в деревообработке

Леонова О.Н.

Проблемы деревянного домостроения в удаленных и труднодоступных территориях 28

Чемоданов А.Н., Сафин Р.Р., Кочетов А.Е., Никитин К.А.

Устройство для сушки шпона в СВЧ-поле 36

Кулаженко Ю.М., Шкуро А.Е., Биктимирова О.Е., Захаров П.С.

Исследование свойств композиционного материала на основе пластифицированного ПВХ, отходов потолочных панелей и древесной муки 41

Сафина А.В., Губернаторов В.В., Хасанишин Р.Р.

Обзор мирового опыта в области оптимизации процессов извлечения целевых компонентов из сырья растительного происхождения 47

Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р., Сабирова Г.А., Сафиуллина А.Х.

Влияние озонирования предварительно термомодифицированного наполнителя на свойства полимерных композитов 61

Химическая технология древесины

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

Синтез, свойства и применение модифицированных лигнином фенолформальдегидных смол (обзор) 69

Панова Т.М., Евдокимова Е.В., Мальцев Г.И.

Применение продуктов пиролиза древесины в биотехнологии 82

Губернаторов В.В., Назипова Л.Р., Ахметова Д.А., Попов А.А.

Обзор методов извлечения бетулина из коры березы 88

Бахтиярова А.В., Мамбетова С.Р., Михайлова А.Е.

Идентификация экологических рисков производства спиртового экстракта из почек берёзы 94

Сафина А.В., Погодина Я.Д.

Обзор исследований в области применения натуральных биополимеров растительного происхождения 101

Лесоинженерное дело

УДК 625.852

РАЗРАБОТКА РЕЕСТРОВОЙ МОДЕЛИ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАМКАХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин, В.В. Побединский, Я.И. Абрамов

Работа посвящена основным направлениям развития лесного хозяйства, где одним из ключевых направлений является цифровая трансформация – путем совершенствования процесса учета сделок по лесу по средством информационных систем. На сегодняшний день основной системой является Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней (ЛесЕГАИС), но идет интенсивное проектирование и проработка функционала Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса. Проектируемый функционал и возможности, охватывает помимо сделок, учет лесов и их расположение, геоданные и визуальные снимки. Планируется полная интеграция данных из существующих реестров, в первую очередь из ЛесЕГАИС: об участках, арендаторах и сделках. В работе предлагается совершенствование процесса учета за счет реализации дополнительного информационного реестра по направлению неучтенному в Федеральном государственном информационной системе лесного комплекса – объекты и показатели лесотранспортной сети: расположение и транспортно-эксплуатационные показатели лесных дорог. Рассмотрены основные требования к качеству лесных дорог на основе действующих нормативно-технических документов. Обоснована необходимость контроля транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной сети и ее элементов. Представлена разработанная модель реестра лесотранспортной инфраструктуры с возможностью интеграции данных из ЛесЕГАИС. Создание реестра обеспечило помощь в решении проблем, связанных с транспортировкой лесоматериалов в процессе лесозаготовки, за счет оперативного доступа к информации о наличии и состоянии лесотранспортной сети. Программное решение размещено в сети Интернет в качестве модуля Электронной Информационной Образовательной Среды ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». Результаты создания реестровой модели лесотранспортной инфраструктуры могут быть рекомендованы для использования их в практике цифровой трансформации лесного хозяйства Российской Федерации.

Ключевые слова: цифровая трансформация, лесотранспортная инфраструктура, информационный реестр, лесные дороги.

Введение

Цифровая зрелость экономики лесного хозяйства определяется степенью и уровнем развития цифровой трансформации. Цифровизация является уже не столько будущим Российской Федерации, сколько ставшим настоящим, когда укрепление и выстраивание цифровых потоков необходимо для обеспечения прозрачности экономических поставок, процессов оптимизации и совершенствования управленческих и технологических процессов. В зависимости от уровня технологического развития, различные отрасли и министерства по-разному формулируют стратегические задачи, при этом выделяя цифровизацию как ключевое направление.

Одной из приоритетных сфер экономики Российской Федерации, является лесное хозяйство, внедряющее цифровые технологии, в систему учета и мониторинга лесного комплекса, модернизацию и создание новых информационных систем, а также их взаимодействие между собой и государственными системами. Основная цель цифровой трансформацией лесной отрасли обозначенной Стратегией развития, является переход от бумажного документооборота к электронному, введение реестровых моделей, выявление дублирующих бизнес-процессов и противоречивой информации [4].

Проблема учета лесного комплекса решается за счет использования государственного лесного реестра, но устаревание и недостаточность имеющейся информации не позволяют вести эффективно лесозаготовки, лесовосстановление и пожаротушение.

Согласно стратегии развития и лесному кодексу РФ (статья 50.6) до 2025 года должна начать функционировать Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК), а до ее создания – Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней (ЛесЕГАИС). Система учитывает более 30 видов данных: о составе и границах земель лесного фонда, лесных карт, лесов, использования лесов охраны, защиты и воспроизводства лесов, а также проектах освоения лесов и сделках с древесиной [9, 11].

Разрабатываемая система будет основной по учету лесозаготовок, но в описываемом к проекту функционале отсутствуют данные о лесотранспортной инфраструктуре участков: местоположение и транспортно-эксплуатационное состояние лесных дорог, строительных объектов (лесничеств, лесосырьевых баз и др.), экологические показатели, возможности реализации пожаротушения и др., что сужает возможности использования системы для решения задач лесного хозяйства [4, 14, 17].

Таким образом, создание модели информационного реестра лесотранспортной инфраструктуры является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Целью исследований была разработка реестровой модели объектов лесотранспортной инфраструктуры с возможностью обмена данными с государственными системами лесного комплекса.

В работе рассматривались следующие задачи: 1) анализ существующих систем и возможностей проекта Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса; 2) разработка информационной модели реестра лесотранспортной инфраструктуры с возможностью взаимодействия с Федеральной государственной информационной системой лесного комплекса.

Методы и материалы

Предложенная модель информационного реестра транспортной инфраструктуры лесного хозяйства должна учитывать концептуальную модель Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК), предложенной в феврале 2022 года Федеральным агентствам лесного хозяйства (Рослесхоз) и Министерством природных ресурсов и экологии [9].

В работе [4] в качестве ключевых модулей ФГИС ЛК предусмотрены: модуль учета лесов; модуль использования лесов; модуль охраны, защиты и воспроизводства лесов; модуль лесных карт; модули приема, обработки документов учета документов; модуль внешнего и внутреннего взаимодействия и др.

Дальнейшее развитие системы построено на взаимодействии процесса авторизации с перечнем предоставляемых государственных услуг с порталом госуслуг, созданием модулей обеспечения контрольно-надзорной деятельности и дальнейшего развития функционала [7].

Наполнение реестра планируется за счет импорта данных из действующей единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней и «бумажных» документов, более 130 млн записей о лесных территориях и их участках – лесотаксационные выделы, лесничества, территории лесного фонда с описанием границ, площади, категории земель, информации о типе леса и запаса, а также о том, кто пользуется лесом и в каких целях, включая баланс древесины, хранящейся на лесосеке [5,7].

Анализ показал, что объемы информации и задачи по функционалу обширные, поэтому создание реестра данных лесотранспортной инфраструктуре могут быть дополнительным источником информации по развитию функционала и созданию единого информационного пространства [1,15,18].

На текущий момент внедрена и широко используется система ЛесЕГАИС, представленная на рисунке 1. Каждый участник процесса должен самостоятельно зарегистрироваться в системе и оформить сделку в виде электронного сопроводительного документа. Уже с 2018 года ведется расширение ее функционала, например, ввод реестра мест складирования заготовленной древесины. В работе [5] показано, что в первом полугодии 2022 года в системе оформили 3,97 млн электронных сопроводительных документов, перевезено почти 174 млн м³ древесины, поданы декларации о 390,4 тыс. сделок.

При этом, ЛесЕГАИС выполняет основную задачу по контролю сделок, на что направлены и информационные справочники системы – лесничества, лесхозы, организации, но не отражает лесотранспортную инфраструктуру.

Лесотранспортная инфраструктура тесно переплетена с транспортом и дорогами общего пользования, что подтверждается обследованиями ГКУ СО «Управление автомобильных дорог» [6]. По их данным, для Свердловской области более 60 % грузопотоков приходится на лесовозный автотранспорт. Актуальность проектирования и реализация данного модуля подтверждается «печальными» примерами, про невозможность вывоза заготовленного материала или процесса лесовосстановления из-за низкого состояния лесотранспортной сети.

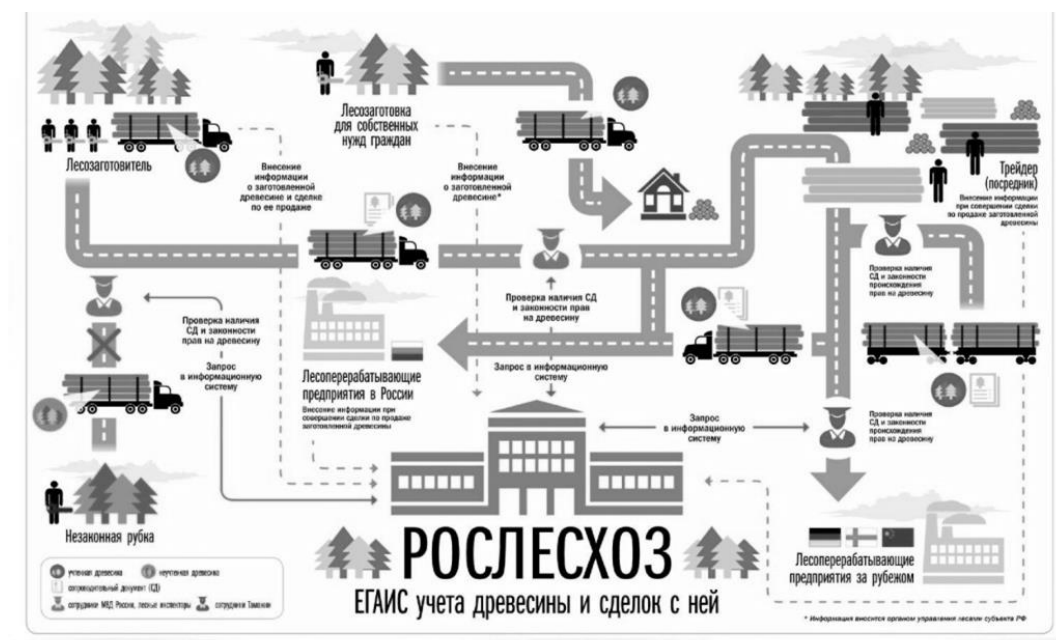


Рис. 1. Схема взаимодействия с Единой государственной автоматизированной информационной системой учета древесины и сделок с ней в процесс заготовки древесины

При анализе структуры лесотранспортной сети было выявлено, что в зависимости от интенсивности движения и грузооборота выделяют лесные дороги разной категории (таблица 1).

Таблица 1 – Категории лесных дорог по их функциональному назначению (по СП 288.1325800.2016)

Функциональное назначение	Грузооборот, млн т нетто/год	Категория
Лесная дорога, связывающая лесосырьевую базу с нижним лесным складом предприятия, пунктом потребления древесины или дорогой общего пользования, пересекает лесной массив и объединяет все лесные дороги в единую сеть	От 0,35 до 0,7	I _л
Лесная дорога, связывающая лесосырьевую базу с нижним лесным складом, пунктом потребления древесины или дорогой общего пользования, пересекает лесной массив и объединяет все лесовозные дороги	От 0,14 до 0,35	II _л
Лесная дорога, примыкающая к лесным дорогам категории	Менее 0,14	III _л
Лесные дороги, предназначенные: - для доставки сельскохозяйственной и специальной техники и грузов к местам производства работ и лесным пожарам; - осуществления рекреационной деятельности; - вывозки лесохимического сырья; - подъезда к лесопитомникам; - подъезда к кордонам и егерским участкам, а также для патрулирования лесных массивов, временных дорог (сезонного действия).	Без определенного грузооборота	IV _л

Лесные грузы перевозят и по дорогам с низкой интенсивностью движения, к которым относятся автомобильные дороги местного, регионального, межмуниципального и значения; частные, как общего, так и не общего пользования со среднегодовой суточной интенсивностью движения не более 400 авт. в

сутки проектирование которых также регулируется сводом правил № 243.1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения.

Таким образом, возникла необходимость в расширении информационной системы за счет дополнительного реестрового модуля «Лесотранспортная инфраструктура», создание и заполнение которого позволит повысить информативность участников лесного хозяйства о состоянии объектов и лесотранспортной сети по категориям с возможностью мониторинга и прогнозирования.

Реестровый модуль позволит хранить результаты визуальной и инструментальной диагностики лесотранспортной сети и дорожных сооружений по списку параметров, в соответствии с нормативной документацией. На реестровый модуль по учету лесотранспортной инфраструктуры возложены следующие задачи и требования:

1. Учет лесотранспортной сети и ее топология, включает в себя описание, фотографическое и схематическое расположение лесных дорог, их примыкания к федеральным трассам и дорогам общего пользования, протяженность и ключевые узлы. Наличие сводов правила, лишь определяет требования к их строительству, а не к дальнейшему контролю их эксплуатации и возможности расширения лесотранспортной сети за счет их перевода в категории федеральных и территориальных (программа развития дорожной сети Свердловской области) [1].

2. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной сети по общим и техническим характеристикам. Термин «транспортно-эксплуатационное состояние дороги» (ТЭС АД), определяет перечень параметров, эксплуатационного состояния, инженерного оборудования, обустройства, которые непосредственно зависят от транспортно-эксплуатационного состояния дороги и характеризуют лесовозную дорогу как транспортное сооружение [6].

3. Оценка с занесением результатов транспортно-эксплуатационных показателей лесотранспортной сети по которым можно будет определять соответствие инфраструктуры требованиям к транспортно-эксплуатационным состоянием дорог и дорожных сооружений в соответствии с «ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию», допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения.

4. Интеграция нормативно справочных данных с ЛесЕГАИС (в дальнейшем с ФГИС ЛК), включающий данные о регионах, лесных участках, арендодателях, с последующим формированием электронного сопроводительного документа лесотранспортной сети (паспорта) на определённый срок с указанием возможности использования.

Сервис интеграции предусмотренный разработчиками обеспечивает возможность взаимодействия с внешними информационными системами органов исполнительной власти и лесопользователей в следующие реестры: выделы, лесничества, лесосеки, лесные участки, лесохозяйственный регламент, договоры аренды лесных участков, права пользования лесными участками, государственные контракты и задания, договоры купли-продажи лесных насаждений, лесные декларации, сделки с древесиной. Для точности определения месторасположения и занесения данных в реестр необходимо воспользоваться интеграционными возможностями ЛесЕГАИС [2,3,16].

С учетом того, что на выделе может быть сквозная лесотранспортная сеть на несколько лесных участках, у которых разные арендаторы внесение данных в реестр предполагается по условным номерам лесных дорог и указанием координат. Модель заполнения реестра и интеграционные модули с ЛесЕГАИС представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Функциональная модель информационного реестра по учету транспортно-эксплуатационных показателей лесотранспортной сети

Заключение

Разработана модель информационного реестра лесотранспортной инфраструктуры, включающая возможности интеграционного взаимодействия с ЛесЕГАИС (далее ФГИС ЛК) и интерактивную карту «Леса России». В качестве исходных данных используется нормативно-справочная информация о действующих лесных участках и арендаторов [4], пример данных представлен на рисунке 3.

Наименовани...	ИНН компании	Дата подписан...	Субъект РФ	Лесничество	Участковое ле...	Урочище	Лесные кварта...	Объем по дого...
ОТКРЫТОЕ АК...	8602060555	25.06.2209	Республика Саха...	Ленское	Витимское		67	0
АК "АЛРОСА"	1433000147	22.08.2022	Республика Саха...	Мирнинское	Мирнинское		391	82
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Нефтеюганское	Юнг-Яхское		103; 104; 105; 10...	0
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Нефтеюганское	Нефтеюганское	Нефтеюганское	198; 203; 228; 22...	0
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Нефтеюганское	Куль-Яхское		20; 21	0
Открытое акцио...	7707017509	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Мегионское	Куль-Еганское	КУЛЬ-ЕГАНСКОЕ	812; 813	0
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Нефтеюганское	Юнг-Яхское		115	0
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Нефтеюганское	Салымское		436	0
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Нефтеюганское	Юнг-Яхское		124	0
АО "Транснефт...	7201000726	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Мегионское	Покачёвское		115; 40; 41; 42; 5...	613
АО "Транснефт...	7201000726	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Мегионское	Покачёвское		115; 40; 41; 42; 5...	798
ООО "ТехноМаг...	1400006961	22.08.2022	Республика Саха...	Томпонское	Томпонское		50	0
ООО "Норд Имл...	7017103818	22.08.2022	Томская область	Каргасокское	Чижалское	ЧИЖАЛСКОЕ У...	98; 99	1 072
Открытое акцио...	8602016394	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Юганское	Тайлаковское		2087	0
Публичное акци...	7706107510	22.08.2022	Ханты-Мансийск...	Юганское	Угутское		441	0
Бурдин Рустам ...	590411426830	19.08.2022	Пермский край	Чайковское	Степановское	(СТЕПАНОВСКОЕ)	1; 10; 11; 12; 13; ...	5 920

Рис. 3. Пример нормативно-справочной информации о действующих лесных участках и арендаторах в системе ЛесЕГАИС

На основе имеющихся данных о договорах и нормативно-справочной информации по лесозаготовкам созданы топологические карты. В реестре хранятся данные о транспортно-эксплуатационном состоянии лесотранспортной сети с дополнением информации по результатам инструментального обследования и при необходимости компьютерном моделировании, для проведения исследований и определения состояния и перспектив дальнейшей эксплуатации сети [8,12].

Программное решение размещено в сети Интернет в качестве модуля Электронной Информационной Образовательной Среды ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» и доступно по адресу <https://load.lms-usfeu.ru> Интерфейс (диалоговое окно) реестра транспортно-эксплуатационных показателей лесотранспортной сети представлен на рисунке 3.

Разработанный и внедренный веб-интерфейс, позволяет оперативно добавлять, получать и обрабатывать информацию в реальном времени, вносить результаты испытаний о транспортно-эксплуатационных и физико-механических показателях лесных дорог с возможностью прогнозирования данных и формирования электронного паспорта участка дороги и создание мобильного интерфейса, в котором водители или арендаторы могут заполнить информацию о участке еще на лесозаготовке с возможностью прикрепления фото места съемки участка дороги [10].

Разработанный реестр лесотранспортной инфраструктуры учитывает все требования проекта Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса с целью объединения всей информации по управлению лесного хозяйства в условиях цифровой трансформации отрасли.

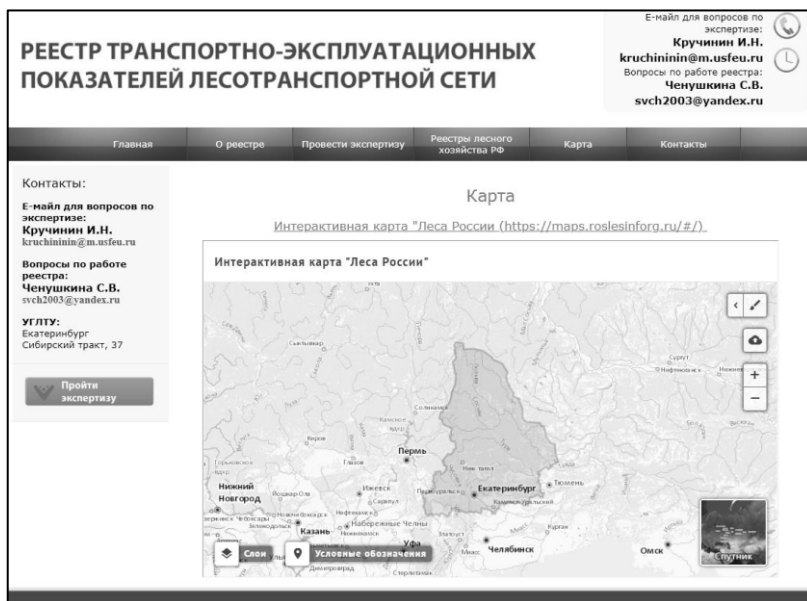


Рис. 4. Веб-интерфейс реестра по учету транспортно-эксплуатационных показателей лесотранспортной сети

Литература

1. Абрамов Я.И. Методы проектирования лесных лесовозных дорог на основе ГИС-систем / Я.И. Абрамов, И.Н. Кручинин /Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика : матери-алы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 17 июня 2021 г.: М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛУ». – Воронеж, 2021. – С. 9 – 13.
2. Ахтямов Э.Р. Информационная система контроля качества строительства лесных дорог [Текст] / Э.Р. Ахтямов, И. Н. Кручинин, В.В. Побединский, Е.И. Кручинина, А.А. Чижов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2021. - № 4. – С. 3-10.
3. Горелик В.А. Исследование операций и методы оптимизации: Учебник / В.А. Горелик. – М.: Academia, 2018. – 384 с.
4. Единая государственная автоматизированная информационная система учёта древесины и сделок с ней// Официальный сайт системы – URL: <https://lesegais.ru/> – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. За полгода в ЛесЕГАИС оформили порядка 4 млн электронных документов // «Журнал «ЛесПромИнформ»». – URL: <https://lesprominform.ru/news.html?id=18229/> – Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Кручинин, И.Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог при освоении лесосырьевых баз многолесных регионов: Дис...докт. техн. наук. / ВГЛУ, науч. консультант С.И. Сушков – Воронеж, 2017. – 347 с.
7. От ЛесЕГАИС до ФГИС ЛК: выходим на новый уровень // «Лесозаготовка: Бизнес и профессия». – URL: <https://lesozagotovka.com/rybriki/les-i-zakon/ot-lesegais-do-fgis-lk-vykhodim-na-novyy-uroven/> – Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Побединский В.В. Нейронная сеть для оценки транспортно -эксплуатационного состояния лесных автомобильных дорог [Текст] / В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, М.В. Шавнина, Д.И. Шакирзянов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2020. - № 3. – С. 10-18
9. Приказ Рослесхоза от 22.04.2021 N 372 «О создании федеральной государственной информационной системы лесного комплекса» // Система КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_421432/ / — Режим доступа: для авториз. пользователей.
10. Система управления лабораторной информацией, ЛИМС (laboratory information management systems, LIMS). Техническое описание / Э.Р. Ахтямов. – Челябинск: ООО «УралНИИСтром», 2020.- 46 с.
11. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [Текст] / Минприрод, Минпромторг России, Россельхоз/Москва, 2018 – 40 с.

12. Сухопутный транспорт леса / В.И. Алябьев, Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин, Г.Ф. Грехов. - М.: Лесн.пром-сть, 1990. – 416 с.
13. Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2005) Towards Automated Total Process in Road Construction. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 71 – 82.
14. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.
15. Manije Talebia, Baris Majnouniana, Ehsan Abdia & Fateme Berenji Tehrani. Developing a GIS database for forest road management in Arasbaran forest, Forest Science and Technology, 2015.
16. Oleg Igorevich Maksimichev/ Automation and Control in Technical Systems (ACTS) 2015, No 1, pp. 80-91.
17. Ostroukh A.V., Tian Yu. Development of the information and analytical monitoring system of technological processes of the automobile industry enterprise // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. No 1. pp. 92-102.
18. Patricia Girardin. Forest road characterization, Carrefour Forêt 2019, 2020, Québec, Canada, pp. 71 – 82.

©**Ченушкина С.В.** – ст. препод. кафедры интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: svch2003@yandex.ru; **Кручинин И.Н.** – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: kinaa.k@yandex.ru; **Побединский В.В.** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: pobed@el.ru; **Абрамов Я.И.** – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: yarlif@yandex.ru.

UDC 625.852

DEVELOPMENT OF A REGISTER MODEL OF FOREST TRANSPORT INFRASTRUCTURE AS PART OF THE DIGITAL TRANSFORMATION OF THE FORESTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION

S.V. Chenushkina, I.N. Kruchinin, V.V. Pobedinsky, Ya.I. Abramov

The work is devoted to the main directions of forestry development, where one of the key directions is digital transformation – by improving the process of accounting for forest transactions by means of information systems. To date, the main system is the Unified State Automated Information System for Accounting for Wood and Transactions with it (LesEGAIS), but intensive design and development of the functions of the Federal State Information System of the Forest Complex is underway. The designed functionality and capabilities cover, in addition to transactions, forest accounting and their location, geodata and visual images. It is planned to fully integrate data from existing registers, primarily from LesEGAIS: about plots, tenants and transactions. The paper proposes to improve the accounting process by implementing an additional information register in the direction unaccounted for in the Federal State Information System of the forest Complex - objects and indicators of the forest transport network: location and transport and operational indicators of forest roads. The main requirements for the quality of forest roads are considered on the basis of existing regulatory and technical documents. The necessity of monitoring the transport and operational condition of the forest transport network and its elements is justified. The developed model of the register of the forest transport infrastructure with the possibility of integrating data from LesEGAIS is presented. The creation of the register provided assistance in solving problems related to the transportation of timber in the process of logging, due to prompt access to information on the availability and condition of the forest transportation network. The software solution is posted on the Internet as a module of the Electronic Information Educational Environment of the Ural State Forestry University. The results of the creation of a register model of the forest transport infrastructure can be recommended for use in the practice of digital transformation of forestry in the Russian Federation.

Key words: digital transformation, forest transport infrastructure, information registry, forest roads

References

1. Abramov YA.I. [Methods of designing forest logging roads based on GIS systems] / YA.I. Abramov, I.N. Kruchinin // «Modern machines, equipment and IT solutions of the timber industry complex: theory and practice. Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii», [FGBOU VO «VGLTU»]. - 2021.-S.9-13. (InRuss.).
2. Akhtyamov EH.R. [Information system for quality control of construction of forest roads] / EH.R. Akhtyamov, I. N. Kruchinin, V.V. Pobedinskii, E.I. Kruchinina, A.A. Chizhov // Derevoobrabatyva-yushchaya promyshlennost'[Woodworking industry]. - 2021. - No. 4. - P. 3-10. (InRuss.).
3. Gorelik V.A. Operations research and optimization methods. - M.: Academia, 2018. - 384 pages. (InRuss.)
4. Unified State Automated Information System for Accounting for Wood and Transactions with It// Federal forest agency– URL: <https://lesegais.ru/> - Access mode: for authors. users. (InRuss.).
5. In six months, about 4 million electronic documents were issued in LesEGAIS // "Les-PromInform journal". – URL: <https://lesprominform.ru/news.html?id=18229> // - Access mode: for authors. users. (InRuss.).
6. Kruchinin, I.N. [Improving the transport and operational qualities of logging roads in the development of forest resource bases of multi-forest regions] / Kruchinin, I.N. Dissertation doct. technical sciences. – Voronezh: VGLTU, 2017. – 347 p. (InRuss.).
7. From LesEGAIS to FGIS LC: we are going to a new level // "Logging: Business and profession". – URL: <https://lesozagotovka.com/rybriki/les-i-zakon/ot-lesegais-do-fgis-lk-vykhodim-na-novyy-uroven> //- Access mode: for authors. users. (InRuss.).
8. Pobedinsky V.V. [Neural network for assessing the transport and operational condition of forest highways] / V.V. Pobedinsky, I.N. Kruchinin, M.V. Shavnina, D.I. Shakirzyanov // // Derevoobrabatyva-yushchaya promyshlennost'[Woodworking industry]. - 2020. - No. 3. - P. 10-18. (InRuss.).
9. The order of the Federal Forestry Agency of 22.04.2021 N 372 "On the creation of the federal state information system of the forest complex" // System ConsultantPlus. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_421432 //- Access mode: for authors. users. (InRuss.).
10. Laboratory information management systems (LIMS). Technical Description/E.R. Akhtyamov. - Chelyabinsk: LLC UralNI-Istrom, 2020. - 46 p. (InRuss.).
11. Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 [Text]/Ministry of Natural Resources, Ministry of Industry and Trade of Russia, Rosselkhoz/Moscow, 2018 - 40 p. (InRuss.).
12. Land transport of forests / V.I.Alyabyev, B.A.Ilyin, B.I.Kuvaldin, G.F.Grekhov. - M.: Lesn.prom-st, 1990. – 416 p.13. Heikkilä, R. & Jaakkola, M. (2005) Towards Automated Total Process in Road Construction. ISARC'2005, The 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 11-14 September 2005, Ferrara, Italy, pp. 71 – 82.
14. Joao, S. et al. 2015 A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. –2015. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.
15. Manije Talebia, Baris Majnouniana, Ehsan Abdia & Fateme Berenji Tehrani. Developing a GIS database for forest road management in Arasbaran forest, Forest Science and Technology, 2015.
16. Oleg Igorevich Maksimichev/ Automation and Control in Technical Systems (ACTS) 2015, No 1, pp. 80-91.
17. Ostroukh A.V., Tian Yu. Development of the information and analytical monitoring system of technological processes of the automobile industry enterprise // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. No 1. pp. 92-102.
18. Patricia Girardin. Forest road characterization, Carrefour Forêt 2019, 2020, Québec, Canada, pp. 71 – 82.

©Chenushkina S.V. – Senior lecturer of the Department of Intelligent Systems, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: svch2003@yandex.ru; Kruchinin I.N. – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor of the Department of Transport and Road Construction, USFEU, e-mail: kinaa.k@yandex.ru; Pobedinsky V.V. – Grand PhD in Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Intelligent Systems, USFEU, e-mail: pobed@el.ru; Abramov Ya.I. – PhD student of the Department of Transport and Road Construction, USFEU, e-mail: yarlif@yandex.ru.

УДК 625.852

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРИМЕНЕНИЮ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ ПАРОГИДРОИЗОЛИРУЮЩИХ ПРОСЛОЕК

А.А. Колобова, В.И. Клевеко, А.А. Чижов, А.А. Лабыкин

Рассмотрены основные проблемы по совершенствованию лесовозных автомобильных дорог путем использования дорожно-строительных материалов и отходов нефтяной промышленности. Лесовозные дороги располагаются в сложных природно-климатических условиях, что накладывает определенные ограничения на использование материалов, способных обеспечивать требуемое их транспортно-эксплуатационное состояние. Традиционные дорожно-строительные материалы отличаются не только стабильностью своих физико-механических характеристик, но и существенной стоимостью и сложностью доставки. Это вызывает значительные осложнения и удорожания строительства лесовозных дорог. В тоже время имеется значительное количество отходов промышленности, практически не используемых в строительной практике. Речь идет о загрязненных нефтью грунтах. Несмотря на ряд проведенных экспериментальных исследований, задача применения этих грунтов для условий лесосырьевых баз в Пермском крае остается нерешенной. Таким образом, решить проблему позволит использование нефтезагрязненных грунтов на лесовозных дорогах, с заданными транспортно-эксплуатационными характеристиками, с учетом природно-климатических условий эксплуатации, а также создание парогидроизолирующих прослоек, что и определило цель настоящей работы. Целью исследований было обоснование возможности использования нефтезагрязненных грунтов и разработка требований к ним при строительстве парогидроизолирующих прослоек на лесовозных автомобильных дорогах. В работе была решена следующая задача: разработать требования к нефтезагрязненным грунтам для строительства парогидроизолирующих прослоек на лесовозных автомобильных дорогах. Результатами работы стало создание рецептуры нефтезагрязненных грунтов со скелетными добавками и минеральными вяжущими. Было определено, что скелетной добавки должно быть от 30 до 50%, а вяжущей добавки из портландцемента марки М400-ДО в количестве от 8 до 10%. Учитывая достаточную адекватность опытно-экспериментальных исследований, результаты подборов добавок могут быть рекомендованы для использования в практике строительства парогидроизоляционных прослоек на лесовозных дорогах.

Ключевые слова: лесовозные дороги, нефтезагрязненные грунты, парогидроизолирующие прослойки.

Введение

Развитие лесопромышленного комплекса Российской Федерации предусматривает реализацию стратегии по его устойчивому развитию на всех лесных территориях РФ. При таком подходе основная роль отводится системе устойчивого развития транспортной инфраструктуры лесов. Примеры освоения инвестиционных проектов на территории Пермского края показали тесную зависимость уровня освоения лесосырьевых баз от уровня развития лесотранспортных сетей. Известно, что транспортная доступность лесов напрямую зависит от природно-климатических условий. Чаще всего лесосырьевые базы Пермского края располагаются во II и даже в I дорожно-климатических зонах. Именно эти сложные природно-климатические условия накладывают существенные ограничения на конструкции и технологии строительства лесовозных дорог [3, 5].

Мировой опыт освоения лесосырьевых баз со сложными природно-климатическими условиями показал, что основными критериями развития их транспортной доступности стали дорожные конструкции способные противостоять зимнему морозному пучению. Анализ применения дорожно-строительных материалов, с улучшенными морозозащитными свойствами показал, что для лесных дорог наибольшее предпочтение следует отдавать устройству капилляропрерывающих и парогидроизолирующих прослоек [2, 6, 14].

В основе борьбы с морозным пучением лежит строительство парогидроизолирующих прослоек в земляном полотне автомобильных дорог, позволяющих ограничить приток влаги к рабочему слою земляного полотна из нижележащих слоев в период устойчивых отрицательных температур. Для

устройства тонкослойных парогидроизолирующих прослоек используют различные рулонные материалы, обладающие гидрофобизирующими свойствами (толь, рубероид, полиэтилен), либо материалы (грунты), обработанные органическими вяжущими [3, 8].

Анализ литературных источников показал, что использование покрытий из тонкослойных прослоек не эффективно из-за малого срока службы материала и возможной деформации их во время укладки [6, 12]. А использование обработанных органическими вяжущими материалов требует значительных затрат. Поэтому применение отходов промышленности (в том числе нефтяной), обладающих гидрофобизирующими свойствами, является наиболее эффективным и экономически оправданным при строительстве лесовозных дорог [1, 7, 10].

Территория Пермского края крайне зависима от внешних природно-климатических воздействий, поэтому лесовозные дороги должны не только обеспечивать их транспортную доступность, но и оказывать минимальное отрицательное воздействие на экологическую функцию лесов. Это существенно ограничивает выбор используемых дорожно-строительных материалов и технологий по их применению на лесовозных дорогах [3]. Наиболее распространенными на территории Пермского края являются отходы нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности: нефтезагрязненные жидкости и нефтезагрязненные грунты. География их распространения: от южной границы края – Куединского района до северной границы – Красновишерского района; от Октябрьского района на востоке – до г. Чайковского на западе.

За многие десятилетия эксплуатации районов добычи нефти, на территории края скопилось значительное количество нефтеотходов. Ежегодно их накопление, в соответствии с технологическими нормами, может достигать до 0,1% объема от всей перерабатываемой нефти. Это в свою очередь приводит к загрязнениям и уменьшению количества лесных земель, обостряет экологическую обстановку.

В тоже время, ряд авторов считает, что нефтеотходы можно использовать при транспортном освоении лесов. Грунты, обработанные нефтеотходами значительно улучшают их физико-механические свойства, существенно уменьшаются водпроницаемость и паропроницаемость [8, 9, 11, 13].

В этой связи, создание новых парогидроизолирующих прослоек из нефтеотходов, в конструктивных слоях лесовозных автомобильных дорог или в земляном полотне с использованием местных материалов является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Целью исследований было обоснование возможности использования нефтезагрязненных грунтов и разработка требований к ним при строительстве парогидроизолирующих прослоек на лесовозных автомобильных дорогах.

В работе рассматривалась следующая задача: разработать требования к нефтезагрязненным грунтам для строительства парогидроизолирующих прослоек на лесовозных автомобильных дорогах.

Методы и материалы

При устройстве парогидроизолирующих прослоек на лесовозных дорогах следует учитывать основные требования: полученный материал должен обладать гидрофобизирующими свойствами; материал должен быть долговечен и обладать стабильными свойствами, не изменяющимися во времени; прочность материала должна обеспечить его сохранность как в процессе производства работ, так и при эксплуатации; желательно иметь минимальную стоимость; должна соблюдаться экологическая и пожарная безопасность; иметь минимальные трудозатраты при производстве работ.

В наших исследованиях рассматривались следующие материалы: нефтезагрязненный грунт, образовавшийся в результате аварийного разлива нефти; грунт с полигона хранения отходов нефтяной промышленности «Кокуй» в Кунгурском районе Пермского края; отсеvy дробления каменных материалов с Вижайского каменного карьера (песок из отсеvов дробления 0-5 мм), Горнозаводский район Пермского края; песок – порт «Пермь»; горелые породы – с терриконов бывшего «Кизеловского угольного бассейна», город Кизел, Пермский край; портландцемент М400-Д0 – ОАО «Горнозаводскцемент», город Горнозаводск Пермского края [9].

Исследуемый нефтезагрязненный грунт представлял собой супесь пылеватую, загрязненную нефтью, находящуюся в переувлажненном состоянии и имел следующий состав: естественная влажность от 45 до 51%; число пластичности от 9,6 до 10,6%; содержание нефтяных компонентов от 11,1 до 12,3 %;

песчаных частиц от 26,4 до 37,9%; глинистых частиц от 62,1 до 73,6%. Его гранулометрический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Составы образцов нефтезагрязненного грунта

№ состава	Состав, %			Тип нефтезагрязненного грунта
	Песчаные частицы	Глинистые частицы	Пылеватые частицы	
1	38	54	8	Супесь пылеватая
2	36	48	16	Суглинок легкий пылеватый
3	42	39	19	Суглинок тяжелый

Стабилизация физико-механических свойств нефтезагрязненных грунтов проводилась путем введения в них скелетных добавок из каменных материалов, их составы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Составы образцов скелетных добавок в нефтезагрязненный грунт

№ состава	Состав, %			Тип скелетной добавки
	Песчаные частицы	Глинистые частицы	Пылеватые частицы	
1	82	10	8	Песок
2	92	6	2	Высевки дробления
3	77	14	7	Горелые породы

Для стабилизации нефтезагрязненных грунтов путем введения минеральных вяжущих использовался портландцемент ПЦ 400-ДО. Составы и дозировки портландцемента приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Составы образцов материалов с добавкой портландцемента

№ состава	Состав, %		Влажность, %
	нефтезагрязненный грунт	портландцемент ПЦ 400-ДО	
Ц.1.	92	8	22
Ц.2.	90	10	22
Ц.3.	88	12	22
Ц.4.	86	14	22
Ц.5.	84	16	22

Проведенный комплекс испытаний по определению гранулометрического состава нефтезагрязненных грунтов и добавок позволил определить соотношения в комплексной добавке, состоящей из скелетных добавок и минеральных вяжущих. Составы и дозировки комплексной добавки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Составы образцов материалов с комплексной добавкой

Вяжущее	Портландцемент ПЦ 400-ДО					
Тип нефтезагрязненного грунта	Песчаный					Глинистый
Скелетная добавка	Песок			Горелая порода		Песок
№ состава	ПЦ.1	ПЦ.2	ПЦ.3	ГЦ.1	ГЦ.2	ГЦ.3
портландцемент ПЦ 400+ДО, %	5	10	15	5	10	15
Грунт нефтезагрязненный, %	50					
Скелетная добавка, %	50					

Результаты

В наших исследованиях было обосновано, что основные требования к нефтезагрязненным грунтам, используемым при строительстве лесовозных дорог зависят от технологии их строительства и вида используемого материала [9].

На рисунке 1 представлена разработанная конструкция лесовозной дороги с прослойкой из нефтезагрязненного грунта.

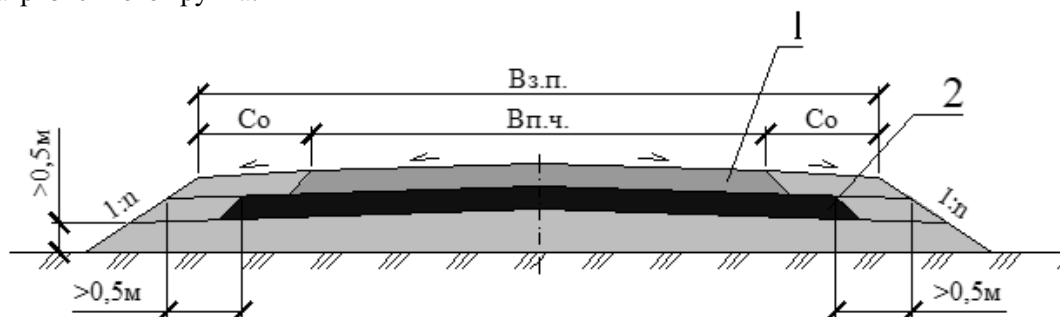


Рис. 1. Конструкция лесовозной дороги с прослойкой из нефтезагрязненного грунта: 1 – покрытие переходного типа (щебеночное, гравийное); 2 – прослойка из укрепленного нефтезагрязненного грунта; Со – ширина обочины; Вп.ч. – ширина проезжей части; Вз.п. – ширина верхнего земляного полотна

Для разработки требований к нефтезагрязненным грунтам и оценки эффективности введения скелетных добавок и минеральных вяжущих были приготовлены различные составы образцов. В таблице 5 представлены результаты введения портландцемента ПЦ 400-ДО в нефтезагрязненный грунт при различной дозировке, в таблице 6 результаты использования скелетной добавки, а в таблице 7 комплексной добавки.

Таблица 5 –Физико-механические показатели нефтезагрязненного грунта с добавкой портландцемента ПЦ 400-ДО

№ состава	Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте		Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте		Коэффициент морозостойкости
	7 суток	28 суток	7 суток	28 суток	
Ц.1.	1,38	1,60	1,16	1,24	0,32
Ц.2.	1,41	1,84	1,28	1,46	0,47
Ц.3.	1,78	2,07	1,42	1,76	0,61
Ц.4.	2,29	2,95	1,56	1,92	0,76

Таблица 6 –Физико-механические показатели нефтезагрязненного грунта со скелетной добавкой

№ состава	Ц.1	Ц.2	Ц.3
75 % нефтезагрязненного грунта, 25 % скелетной добавки			
Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов при t=20°C, МПа	0,15	0,16	0,13
Коэффициент морозостойкости	0,28	0,27	0,43
50 % нефтезагрязненного грунта, 50 % скелетной добавки			
Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов при t=20°C, МПа	0,18	0,19	0,17
Коэффициент морозостойкости	0,30	0,28	0,45

Введение скелетных добавок позволило провести коррекцию гранулометрического состава нефтезагрязненных грунтов и перераспределить свободную пленку нефти на поверхности минеральных частиц грунта. В тоже время введение минеральных вяжущих позволило улучшить их физико-

механические свойства. Анализ показал, что введение добавок позволяет использовать полученный материал не только в земляном полотне, но даже и в конструктивных слоях дорожных одежд лесовозных дорог.

Таблица 7 –Физико-механические показатели нефтезагрязненного грунта с комплексной добавкой

<i>Номер образца</i>	<i>Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, 7суток, МПа</i>	<i>Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, 28суток, МПа</i>
ПЦ.1.	0,93	1,91
ПЦ.2.	2,85	3,14
ПЦ.3.	3,04	-
ГЦ.1.	0,44	1,42
ГЦ.2.	0,59	1,82
ГЦ.3.	1,28	2,16
ГлЦ.1.	0,15	0,29

При обоснование экологической безопасности нефтезагрязненных грунтов с добавками изучались возможные пути вымывания нефтепродуктов. Основным путем служит фильтрация капельной жидкости через конструктивный слой дорожной одежды или земляного полотна, а так же водная вытяжка нефтепродуктов из конструктивных слоев дорожной одежды или земляного полотна в процессе длительного их обводнения.

Для определения наличия вымывания по первому виду вымывания нефтепродуктов проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента фильтрации воды через полученные образцы. Результаты испытаний показали, что благодаря плотной структуре, а также за счет гидрофобизирующего действия нефтяной пленки образцы из уплотненного укрепленного нефтезагрязненного грунта не подвержены фильтрации.

Для определения наличия вымывания нефтепродуктов по второму пути была произведена водная вытяжка измельченной массы нефтезагрязненного грунта в дистиллированной воде по методике [4].

Заключение

Изучены закономерности влияния скелетных и минеральных добавок на нефтезагрязненные грунты и на физико-механические свойства парогидроизолирующих конструктивных слоев дорожных одежд лесовозных дорог.

Было выяснено, что парогидроизолирующие прослойки из нефтегрунтов необходимо располагать в земляном полотне на расстоянии в 0,8 от максимальной глубины промерзания грунтов, но не менее 0,5 м от низа дорожной одежды. Возвышение низа прослойки над уровнем грунтовых вод или длительно стоящих поверхностных вод должно быть не менее 0,5 м. В выемке рекомендуется устраивать парогидроизолирующие прослойки непосредственно под слоем основания дорожной одежды.

Наименьшие значения высоты поднятия капиллярно-поровой влаги были получены при применении песчаного нефтезагрязненного грунта с 30% скелетной добавкой, в независимости от типа применяемого минерального вяжущего, а также при применении глинистого нефтезагрязненного грунта, стабилизированного 50% скелетной добавкой.

Отделение нефти и вымывание не наблюдалось при укреплении нефтезагрязненных грунтов введением портландцемента марки М400-ДО в количестве свыше 10%.

Как видно из результатов испытаний (см. табл. 7), нефтезагрязненные грунты, при введении комплексной добавки, состоящей из скелетной добавки в количестве от 30 до 50% и портландцемента марки М400-ДО в количестве от 8 до 10% могут быть рекомендованы к использованию как материал для парогидроизолирующих прослоек в покрытиях переходного типа для лесовозных автомобильных дорог.

Литература

1. Брехман А.И. Новый дорожно-строительный материал с применением нефтяного шлама / А.И. Брехман, О.Н. Ильина // Известия КГАСУ. - 2005.- №1(3). -С. 78-80.
2. Ильин Б.А. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог / Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин. – М.: Лесн.промсть, 1982. – 384 с.

3. Кручинин И.Н. Возможности повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог в различных сезонных условиях Свердловской области [Текст] / И.Н. Кручинин, С.И. Сушков, В.В. Данилов // Лесотехнический журнал. - 2018- № 4 (32). – С. 157-163.
 4. МУК 4.1.1013-01 Определение массовой концентрации нефтепродуктов в воде. МИНЗДРАВ России: М.- 2001.
 5. Савельев В.В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог: Дис... докт. техн. наук. / МарГТУ, науч. консультант Ю.А. Ширнин. – Йошкар-Ола, 2006.- 516 с.: ил. – библиограф С.296 -319.
 6. Сиденко В.М. Дорожные одежды с парогидроизолирующими слоями / В.М. Сиденко, О.Т. Батраков., Ю.А. Покутнев. - М.: Транспорт, 1984. – 144 с.
 7. Трифонов А. А. Органоминеральные дорожно-строительные материалы с использованием нефтешламов: Дис... канд. техн. наук. / КГАСУ. - Казань, 2005. – 187 с.
 8. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств [Текст] /А.Я. Тулаев. -М.: Транспорт, 1980. - 191с.
 9. Юшков Б.С. О применении отходов нефтяной отрасли в дорожном строительстве [Текст] / Б.С. Юшков, А.А. Минзуренко // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. -2010. -№ 6. - С. 41-44.
 10. Bindu C. S. et. al. Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic/ International Journal of Engineering and Technology Vol.2 (6), 2010, 379-387.
 11. Hossain, Zahid. Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications,; CEES Ph.D. Dissertation Defense / Hossain Zahid. – Wednesday, April 20, 2011 .
 12. Joao, S. et al. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. – 2015. – Volume 16. Issue 3. –P. 268–286.
 13. Redelius, P. G. (2006). The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design, 7 (sup1), pp 143-162.
 14. Thompson, M. P. Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives / M.P. Thompson // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing. – 2009. – 284 p.
-
- ©**Колобова А.А.** – ст. препод. кафедры автомобильные дороги и мосты, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ПНИПУ»), e-mail: minzurenko.a@yandex.ru; **Клевеко В.И.** – канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильные дороги и мосты, ФГБОУ ВО «ПНИПУ», e-mail: vlivkl@mail.ru; **Чижов А.А.** – канд. техн. наук., доцент кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: chizhovaa@m.usfeu.ru; **Лабыкин А.А.** – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: gabasas@yandex.ru.

UDC 625.852

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR THE APPLICATION OF OIL CONTAMINATED SOILS IN THE CONSTRUCTION OF VAPOR HYDRO-INSULATING LAYERS ON FOREST ROADS

A.A. Kolobova, V.I. Kleveko, A.A. Chizhov, A.A. Labykin

The main problems of improving logging roads through the use of road construction materials and oil industry waste are considered. Timber roads are located in difficult natural and climatic conditions, which imposes certain restrictions on the use of materials that can ensure their required transport and operational condition. Traditional road construction materials are distinguished not only by the stability of their physical and mechanical characteristics, but also by the significant cost and complexity of delivery. This causes significant complications and increases the cost of building logging roads. At the same time, there is a significant amount of industrial waste that is practically not used in construction practice. We are talking about oil-contaminated soils. Despite a number of experimental studies, the problem of using these soils for the conditions of timber

bases in the Perm region remains unresolved. Thus, the use of oil-contaminated soils on logging roads, with given transport and operational characteristics, taking into account the natural and climatic conditions of operation, as well as the creation of vapor barrier layers, which determined the purpose of this work, will solve the problem. The purpose of the research was to substantiate the possibility of using oil-contaminated soils and develop requirements for them in the construction of steam-hydro-insulating layers on logging roads. The following task was solved in the work: to develop requirements for oil-contaminated soils for the construction of vapor-water barrier layers on logging roads. The result of the work was the creation of a formulation of oil-contaminated soils with skeletal additives and mineral binders. It was determined that the skeletal additive should be from 30 to 50%, and the binder additive from Portland cement grade M400-DO in an amount of 8 to 10%. Given the sufficient adequacy of experimental studies, the results of the selection of additives can be recommended for use in the practice of building vapor barrier layers on logging roads.

Key words: logging roads, oil-contaminated soils, vapor barrier layers.

References

1. Brekhman A.I. [New road construction material using oil sludge] / A.I. Brekhman, O.N. Ilyin // «Izvestiya KGASU» [Proceedings of KGASU]. - 2005. - No. 1 (3). - FROM. 78-80. (InRuss.)
2. Ilyin B.A. [Design, construction and operation of logging roads]// «Lesn.promst'» B.A. Ilyin, B. I. Kuvaldin. - M.: [Lesn.promst], 1982. - 384 p.. (InRuss.)
3. Kruchinin I.N. [Possibilities of improving the transport and operational qualities of logging roads in different seasonal conditions of the Sverdlovsk region] // I.N. Kruchinin, S.I. Sushkov, V.V. Danilov // «Lesotekhnicheskiiy zhurnal» [Forestry journal]. - 2018 - No. 4 (32). - S. 157-163. (InRuss.)
4. MUK 4.1.1013-01 [Determination of the mass concentration of oil products in water]. Ministry of Health of Russia: M. - 2001. (InRuss.)
5. Saveliev V.V. [Substantiation of the type and designs of clothing for timber-carrying highways]: Dis... dokt. tekhn. nauk. [Dis ... doc. tech. sciences]. / MarSTU, scientific. consultant Yu.A. Shirnin. - Yoshkar-Ola, 2006. - 516 p. : ill. - bibliographer P.296 -319. (InRuss.)
6. Sidenko V.M. [Road clothes with vapor barrier layers] // V.M. Sidenko, O.T. Batrakov., Yu.A. Pokutnev. - M.: Transport [M.: Transport], 1984. - 144 p. (InRuss.)
7. Trifonov A. A. [Organo-mineral road construction materials using oil sludge]: «Dis... cand. tech. Sciences.» [Dis... cand. tech. Sciences] // KGASU.- Kazan, 2005. - 187 p. (InRuss.)
8. Tulaev A.Ya. [Design and calculation of drainage devices] /A.Ya. Tulaev. - M.: Transport [M.: Transport],1980. – 191 p. (InRuss.)
9. Yushkov B.S. [On the use of oil industry waste in road construction] / B.S. Yushkov, A.A. Minzurenko // « Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse» [Protection of the environment in the oil and gas complex]. -2010. - No. 6. - S. 41-44. (InRuss.)
10. Bindu C. S. et. al. Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic/ International Journal of Engineering and Technology Vol.2 (6), 2010, 379-387.
11. Hossain, Zahid. Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications,,: CEES Ph.D. Dissertation Defense / Hossain Zahid. – Wednesday, April 20, 2011.
12. Joao, S. et al. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. – 2015. – Volume 16. Issue 3. –P. 268–286.
13. Redelius, P. G. (2006). The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design, 7 (sup1), pp 143-162.
14. Thompson, M. P. Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives / M.P. Thompson // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing. – 2009. – 284 p.

©Kolobova A.A. – Senior Lecturer of the Department of Roads and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (PTRPU), e-mail: minzurenko.a@yandex.ru; Kleveko V.I. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Roads and Bridges, PTRPU, e-mail: vlivkl@mail.ru; Chizhov A.A. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Road Construction, Ural State Forestry Engineering University (USFU), e-mail: chizhovaa@m.usfeu.ru; Labykin A. A. – post-graduate student of the Department of Transport and Road Construction, USFU e-mail: gabasas@yandex.ru.

УДК 721.05

МЕТОД РАЗБИВОЧНО-КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЗАКРУГЛЕНИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

П.В. Тихомиров, А.В. Скрыпников, В.А. Зеликов, Ю.Ю. Володина

В данной статье представлены результаты исследований по определению детальности разбивки и контроля возведения сложных дорожных закруглений различными методами. В частности, методом прямоугольных координат от тангенсов, методом углов и хорд, методом полярных координат, методом вписанного многоугольника и др. Система уравнений для определенного промежутка изоляции приближенных корней решена итерационным методом с использованием компьютерных технологий. Для этого составлен алгоритм, определяющий все необходимые элементы детальной разбивки клотоид через оптимальные интервалы. Алгоритм реализован в компьютерную программу. В результате проведенных исследований и вычислений оптимальных разбивочных интервалов для самых различных параметров клотоид выяснилось, что часть искомого разбивочного интервала от начала до его текущей точки, где определяется стрела прогиба, для первого интервала от начала клотоиды для всех параметров постоянна и равна 0,577, и для всех переходных кривых нормативных параметров при должны быть приняты оптимальные разбивочные интервалы, последовательно, начиная с НПК. При условии соблюдения указанных интервалов сохраняется постоянство расчетных углов и величин для разбивки нормативных клотоид методом вписанного многоугольника и методом полярных координат. Разбивка клотоид методом вписанного многоугольника сопровождается систематическими погрешностями, обусловленными разностью длин дуг и стягивающих их хорд. С помощью формул преобразования координат было установлено, что систематическая погрешность для предложенных оптимальных интервалов ничтожно мала, и ею вполне можно пренебречь. При определении координат для выноса пикета на кривую, а также при определении координат любой промежуточной точки кривой можно пользоваться простой линией интерполяции.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, дорожные закругления, разбивочные интервалы, клотоиды.

Введение

Обоснование детальности разбивки и контроля строительства дорожных закруглений определяет качество строительных работ и эксплуатационных показателей дороги. Недостаточная детальность разбивки и контроля приводит к неточностям, отклонениям от проектных геометрических параметров закруглений, что ведет к перерасходу строительных материалов, снижению динамических характеристик, зрительной ясности и плавности закруглений, а, следовательно, ухудшает эксплуатационные качества лесовозной автомобильной дороги, технико-экономические показатели и безопасности движения. Излишняя детальность разбивки производит к снижению производительности разбивочно-контрольных работ, задержке поточно-строительного процесса, неоправданно большому количеству разбивочных знаков, неизбежно уничтожаемых, подлежащих восстановлению и мешающих работе дорожно-строительных машин и механизмов.

Для наиболее полной и в то же время целесообразной и эффективной фиксации осей криволинейных участков лесовозных автомобильных дорог, для определения, соответственно, оптимального количества закрепления разбивочных и контрольных знаков, были проведены исследования по определению детальности разбивки и контроля возведения дорожных закруглений различными методами.

Методы и материалы

При детальной разбивке криволинейных элементов линейных сооружений степень детальности разбивки, характеризующая положение на местности проектной оси, зависит от длины разбивочного интервала. К сожалению, величины разбивочных интервалов, предлагаемые справочной, учебной и нормативной литературой, в особенности для переходных кривых, иногда более интуитивны, чем обоснованы и кроме того не унифицированы [2 - 5].

Например, рекомендуется разбивать кривые через интервал 5, 10м в зависимости от радиуса, рекомендуются интервалы 1, 2, 5м, в других рекомендациях интервал разбивки переходных кривых составляет 5-10м в зависимости от их длины также задаются интервалы 10, 20, 30м в зависимости от

условий местности, предлагаются интервалы 5, 10, 20 м в зависимости от задания, указывается интервал для переходных кривых 2м, рассматриваются также интервал разбивки клотоид, определяемый по критерию разницы длин дуги и стягивающей ее хорды [6].

Как видно, разбивочные интервалы предлагаются, исходя из различных критериев, не согласуются друг с другом и даны без теоретического обоснования. В связи с этим применяемые на практике интервалы обеспечивают иногда либо недостаточную, либо излишнюю детальность разбивки [8, 14, 15].

В данном разделе приводятся результаты исследований по определению оптимальных интервалов детальной разбивки и контроля строительства сложных дорожных закруглений переменной и постоянной кривизны [10,11].

В общем случае детальная разбивка дорожных закруглений любым из многочисленных методов так или иначе связана с аппроксимацией криволинейной оси трассы ломаной линией хорд. Само собой разумеется, что степень приближения этой ломаной линии к проектной оси должна определяться заданной точностью разбивки. В связи с этим, критерием, определяющим длину разбивочного интервала, является величина отклонения элементарной хорды от проектной оси кривой, равная средней квадратической погрешности, регламентирующей точность геодезических разбивочных работ на закруглениях дорожных трасс. Известно, что указанная нормативная погрешность m_r при сооружении земляного полотна не должна превышать величины [1, 7, 9, 13].

$$m_r = \pm 0,04m \quad (1)$$

Итак, разбивка криволинейных осей дорожных трасс должна представлять собой аппроксимацию кривой на местности ломаной линией хорд, не отступающих от кривой более чем на 0,04м. Иными словами, стрела прогиба должна соответствовать условию

$$f \leq 0,04m \quad (2)$$

В общем случае интервалы детальной разбивки кривых должны определяться по любой наперед заданной величине f стрелки прогиба [12]. Исходя из этого условия, легко определить максимальную длину разбивочной хорды l для круговой кривой в зависимости от радиуса R и стрелы прогиба f по известной формуле:

$$l = \sqrt{8Rf} \quad (3)$$

Подставляя значение f из (2) в (3), получим:

$$l = \sqrt{0,32R} \approx \sqrt{R/3} \quad (4)$$

Значительно сложнее обстоит дело с кривыми переменной кривизны. Если принять разбивочный интервал для клотоиды, равным расчетному по формуле (4) интервалу круговой кривой с радиусом, равным конечному радиусу клотоиды, то разбивка последней будет излишне детальной.

Необходимо найти такие оптимальные разбивочные интервалы, которые, с одной стороны, повысили бы производительность труда, с другой, обеспечили бы достаточную точность и детальность разбивки кривых переменной кривизны. Задача сводится к максимизации функции длины разбивочного интервала, определяемого последовательно в различных частях клотоиды, при ограничении экстремальной стрелы прогиба, не превышающей средней квадратической погрешности разбивки:

$$f_{max} \leq 0,04m \quad (5)$$

При этом количество разбивочных интервалов для данной переходной кривой должно быть минимальным. Чтобы выполнить эти условия, найдем выражение для отклонения f хорды от кривой (рис. 1) в любом месте любого интервала клотоиды в системе декартовых координат, используя формулы аналитической и дифференциальной геометрии:

$$f = +(x_1 - x_0) \sin \alpha_n - (y_1 - y_0) \cos \alpha_n, \quad (6)$$

где

$$\alpha_n = \arctg \frac{y_2 - y_0}{x_2 - x_0} \quad (7)$$

$$x_i = D_i \left(1 - \frac{\beta_i^2}{10} + \frac{\beta_i^4}{216} + \frac{\beta_i^6}{9360} \right) \quad (8)$$

$$y_i = D_i \left(\frac{\beta_i}{3} - \frac{\beta_i^3}{42} + \frac{\beta_i^5}{1320} - \frac{\beta_i^7}{75600} \right) \quad (9)$$

$$\beta_i = \frac{D_i^2}{2C} \quad (10)$$

$$D_1 = D_0 + LDQ \quad (11)$$

$$D_2 = D_0 + LD, \quad (12)$$

где i – индекс, принимающий значения 0,1,2 и т.д.;

D_0 – предшествующая длина клотоиды до начала данного интервала;

x_0, y_0, x_2, y_2 – координаты начала и конца интервала клотоиды;

x, y – координаты текущей точки клотоиды, в которой определяется отклонение хорды от кривой в заданном интервале;

α_n – угол между хордой, заданного интервала клотоиды и осью абсцисс;

β_i – угол клотоиды в заданной точке 0, 1 или 2;

$L, R, C=LR$ – длина, конечный радиус и параметр клотоиды;

D, Q – неизвестные коэффициенты, соответственно определяющие $l_i = LD$ – длину искомого разбивочного интервала и LDQ – часть этого интервала от начала его до текущей точки, где определяется стрела прогиба.

Таким образом, составляем одно уравнение с двумя неизвестными D, Q :

$$(x_i - x_0) \sin \alpha_n - (y_i - y_0) \cos \alpha_n - 0,04 = 0, \quad (13)$$

где координаты x_i, y_i определяются с учетом подстановок (10) - (12) в формулы (8) и (9).

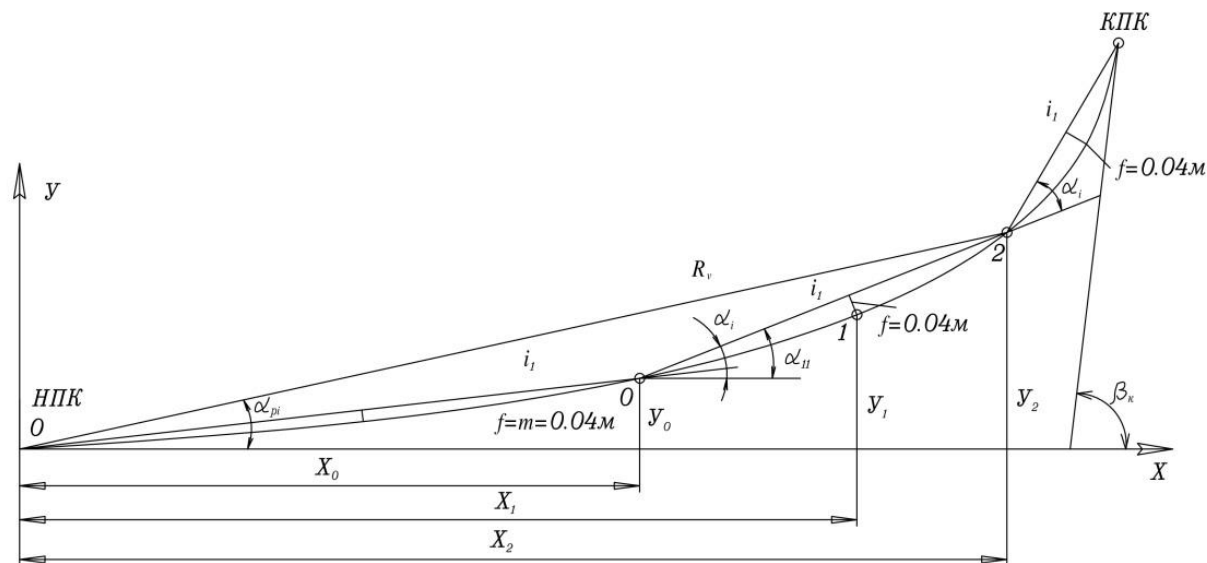


Рис. 1. Разбивочные интервалы клотоиды

Составим второе уравнение с теми же неизвестными D, Q .

Установлено, что функция (6) $f = F(Q)$ дифференцируема в промежутке 0-1 и имеет одну экстремальную точку. В связи с тем что нам необходимо максимальное значение стрелки прогиба f_{max} в заданном интервале клотоиды, найдем экстремальное значение функции $f = F(Q)$. Для этого продифференцируем выражение (6) в заданном промежутке и составим уравнение: $F'(Q) = \frac{df}{dQ} = 0$

Величины $y_0, x_0, \sin \alpha_n, \cos \alpha_n$ для данной функции постоянны (не содержат Q), следовательно

$$\frac{dy_1}{dQ} \operatorname{tg} \alpha'' - \frac{dy_1}{dQ} = 0 \quad (14)$$

Дифференцируем:

$$F'(Q) = \operatorname{tg} \alpha'' \left\{ LD - \frac{5(D_0 + LDQ)}{40C^2} LD + \frac{9(D_0 + LDQ)^8}{3456C^4} LD - \frac{13(D_0 + LDQ)^{12}}{599040C^6} LD \right\} - \\ - \frac{3(D_0 + LDQ)^2}{6C} LD + \frac{7(D_0 + LDQ)^6}{336C^6} LD - \frac{11(D_0 + LDQ)^{10}}{42240C^5} LD + \frac{15(D_0 + LDQ)^{14}}{9676800C^7} LD = 0$$

Действительно в процессе исследования этого уравнения обнаружено, что производная $F'(Q)$ меняет знак положительный на отрицательный при переходе от $Q=0$ до $Q=1$, следовательно функция $F(Q)$ имеет в промежутке 0-1 максимум. Произведя некоторые преобразования и учитывая для сокращения записи обозначения (10), (11), запишем второе уравнение с двумя неизвестными D и Q . Затем перепишем первое уравнение (13) и получим:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \alpha'' \left(1 - \frac{\beta_1^2}{2} + \frac{\beta_1^4}{24} - \frac{\beta_1^6}{720} \right) - \beta_1 + \frac{\beta_1^3}{6} - \frac{\beta_1^5}{120} + \frac{\beta_1^7}{5040} = 0 \\ (x - x_0) \sin \alpha'' - (y - y_0) \cos \alpha'' - 0,04 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Имеем систему двух нелинейных уравнений высших степеней с двумя неизвестными D и Q , которая решается только численными методами. Неизвестные D и Q содержатся в каждом буквенном обозначении системы в соответствии с (7)-(12). Для решения этой системы найдем промежутки изоляции для каждого неизвестного между недостаточными (минимальными) и избыточными (максимальными) приближенными значениями корней системы.

Определим минимальное значение D .

$$D_{\min} = \frac{l_{\min}}{l_{\max}} \quad (16)$$

По мере приближения к концу клотоиды при постоянстве стрел прогиба разбивочные интервалы должны уменьшаться. $l_{\min}$ – минимальное значение разбивочного интервала, определяемое по формуле (4), так как оно соответствует минимальному, т.е. конечному радиусу u клотоиды. Далее, поскольку угол клотоиды в конце кривой:

$$\beta_k = \frac{L}{2R} \quad (17)$$

$$\text{и } \alpha \geq 2\beta_k \text{ (} \alpha \text{ - угол поворота трассы)} \quad (18)$$

или

$$\alpha^0 \geq \frac{L}{R} 57^0 29' 57'' , \quad (19)$$

то при практически максимальном $\alpha = 120^0$ имеем

$$L_{\max} \approx 2R \quad (20)$$

Подставляя значение $L_{\max}$ из (20) и $l_{\min}$ из (4) в формулу (16), получим (при нормативном $R_{\max} = 2000$):

$$D_{\min} = \frac{l_{\min}}{l_{\max}} = \sqrt{\frac{0,32R_{\max}}{2R_{\max}}} = 0,006 \quad (21)$$

Для нормативных параметров клотоид автором установлена зависимость:

$$L \approx 5\sqrt{R} \text{ (для } R < 700 \text{ м)} \quad (22)$$

Подставляя это выражение в (21), получим для нормативных клотоид:

$$D''_{\min} = \frac{\sqrt{0,32R}}{5\sqrt{R}} = 0,11 \quad (23)$$

Определим максимальное значение D . При постоянном конечном радиусе коэффициент D обратно пропорционален длине клотоиды.

Это можно установить по аналогии с круговой кривой:

$$l' = D'L' = \sqrt{0,32R} \quad (24)$$

или

$$D' = \frac{\sqrt{0,32R}}{L'} \quad (25)$$

Следовательно, D_{max} будем иметь при нормативных $R_{max} = 2000\text{м}$ и $L_{min} = 100\text{м}$. Поскольку $S = \frac{c}{r'}$, где S - расстояние по клотоиде до текущей точки, а r - переменный радиус в текущей точке клотоиды, имеем:

$$S = LD_{max} = \frac{LR_{max}}{r} \quad (26)$$

или условно приняв $r = 2R_{max}$, получим:

$$D_{max} = \frac{R_{max}}{r} = 0,5 \quad (27)$$

Определим минимальное значение Q . Поскольку кривизна клотоиды увеличивается прямо пропорционально ее длине, то вполне реальна гипотеза, что максимальная стрела прогиба любого интервала клотоиды сдвинута от центра интервала по направлению увеличения кривизны, следовательно, Q не может быть меньше 0,5:

$$Q_{min} = 0,5 \quad (28)$$

Поскольку кривизна клотоиды находится в линейной зависимости от длины то достаточно точным будет предположение, что максимальная стрелка прогиба интервала клотоиды находится все же недалеко от центра интервала. Поэтому примем

$$Q_{max} = 0,6 \quad (29)$$

Результаты

В результате исследований и вычислений на компьютере указанные предположения подтвердились, выяснилось также, что по мере удаления разбивки от начала клотоиды величина Q уменьшается, приближаясь к величине 0,5.

Следовательно, искомое значение корней системы уравнений (15) будет находиться в области, заштрихованной на графике (рис. 2). Дважды заштрихована более узкая область определения корней для нормативных параметров клотоид.

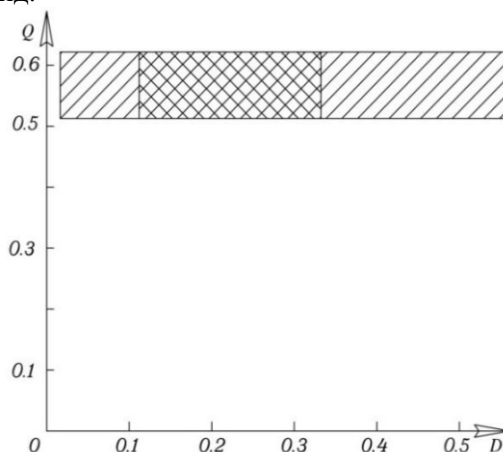


Рис. 2. Область определения коэффициентов D и Q

Система уравнений (15) для определенного нами промежутка изоляции приближенных корней решена итерационным методом с использованием компьютерных технологий. Для этого составлен алгоритм, определяющий все необходимые элементы детальной разбивки клотоид через оптимальные интервалы (обеспечивающие отклонения хорд от кривой не более 0,04 м) самыми различными методами: метод

прямоугольных координат от тангенсов, метод углов и хорд, метод полярных координат, метод вписанного многоугольника и др. Алгоритм реализован в компьютерную программу.

Заклучение

В результате исследований и вычислений оптимальных разбивочных интервалов для самых различных параметров клотоид выяснилось:

- величина Q для первого интервала l_1 (от начала клотоиды) для всех параметров постоянна и равна 0,577;

- для всех переходных кривых нормативных параметров при $R < 1000\text{м}$ должны быть приняты оптимальные разбивочные интервалы l_i , последовательно, начиная с НПК (рис. 1):

$$\begin{aligned} l_1 &= 0,29L; l_2 = 0,18L; l_3 = 0,15L; \\ l_4 &= 0,14L; l_5 = 0,12L; l_6 = 0,12L \end{aligned} \quad (30)$$

при $R \geq 1000\text{м}$:

$$l_1 = 0,4L; l_2 = 0,2L; l_3 = 0,2L; l_4 = 0,2L \quad (31)$$

При условии соблюдения указанных интервалов сохраняется постоянство расчетных углов α_i и α_{pi} и величин $(D_i - P_v)$ для разбивки нормативных клотоид методом вписанного многоугольника и методом полярных координат α_{pi} – полярный угол; P_v – полярный радиус;

$$\alpha_i = \alpha_{li} - (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{i-1}) \quad (32)$$

$$\alpha_{li} = \alpha_{li} \quad (33)$$

α_{li} определяется для каждого интервала по формуле (7) (рис. 1, 3), D_i – расстояние по клотоиде до данной точки.

Разбивка клотоид методом вписанного многоугольника сопровождается систематическими погрешностями m_c , обусловленными разностью длин дуг и стягивающих их хорд. Поскольку на точность положения точек кривой относительно оси кривой влияет только составляющая погрешности, направленная по нормали к кривой, т.е. в данном случае перпендикулярно касательной в конце клотоиды, то повернув систему координат на угол β_k , с помощью формул преобразования координат получим (рис. 3):

$$m_c = (x_k - \sum \Delta x) \sin \beta_k + (\sum \Delta y - y_k) \cos \beta_k, \quad (34)$$

где β_k – угол клотоиды в конце кривой (10);

x_k, y_k – координаты конца кривой, определенные по известным формулам (8) и (9);

$\Delta x, \Delta y$ – проекции оптимальных интервалов l_i на соответствующие оси координат (рис. 3):

$$\Delta x = l_i \cos \alpha_{li} \quad (35)$$

$$\Delta y = l_i \sin \alpha_{li} \quad (36)$$

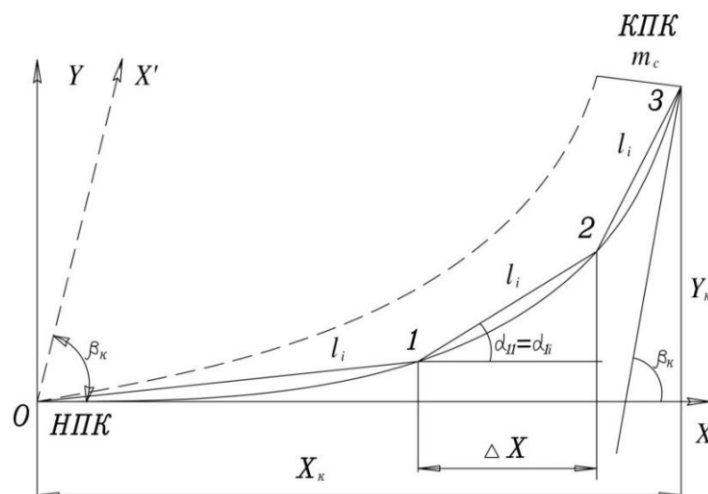


Рис. 3. Влияние систематических погрешностей, обусловленных разностью длин дуг и стягивающих их хорд

Для клотоид с нормативными параметрами от $R=30$ и $L=30$ до $R=900$ и $L=120$ величина m_c уменьшается соответственно от 1 до 0,03 мм. Эта обратно пропорциональная зависимость изображена на графике (рис. 4). Как видно, систематическая погрешность m_c для предложенных автором оптимальных интервалов ничтожно мала, и ею вполне можно пренебречь.

При определении координат для выноса пикета на кривую, а также при определении координат любой промежуточной точки кривой можно пользоваться простой линией интерполяции.

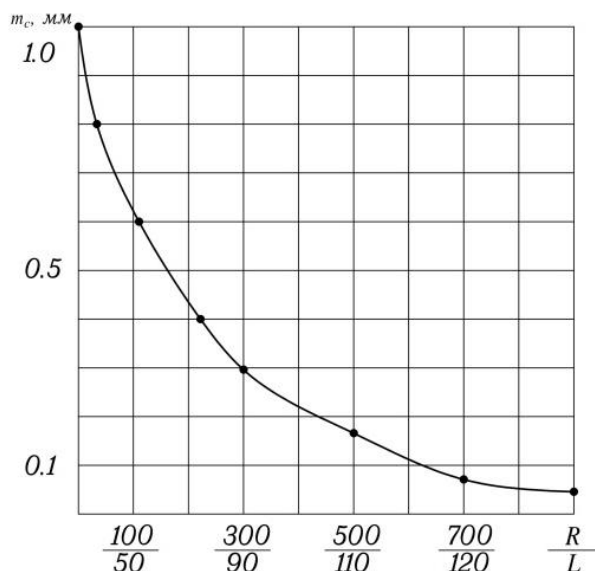


Рис. 4. Зависимость погрешности m_c от параметра клотоиды

Литература

1. Козлов В.Г. Анализ существующих методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. 2017. №3. С. 35-39.
2. Бурмистров Д.В. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2018. Вып. 22, №. 5. С. 69-76.
3. Умаров М.М. [и др.] Расчет плановых элементов клотоидной трассы, подобранной на стереомодели местности // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 4 (364). С. 97-106.
4. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М. Высшая Школа, -1991. -366 с.
5. Саблин С.Ю. [и др.] Система технико-экономического обоснования геометрических элементов автомобильных дорог // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 1 (68). С. 41-45.
6. Тихомиров П.В. [и др.] Определение геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог по средствам современных ИТ-технологий // В сборнике: Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 134-157.
7. Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36-41.
8. Боровлев А.О. [и др.] Математическое моделирование трассы лесовозных автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 4 (382). С. 150- 161.
9. Высоцкая И.А. [и др.] Автоматизированное проектирование продольного профиля лесовозных автомобильных дорог с учётом влияния зрительно плавных и изломанных линий // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 10. С. 450-453.

10.Тихомиров П.В., Скрыпников А.А. [и др.] Информационно-интеллектуальные системы определения геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог // Моделирование систем и процессов. 2022. Т. 15. № 2. С. 83-93.

11.Скрыпников А.В., Денисенко В.В., Щербаков Е.Д. Выработка критериев качества автоматизированного проектирования автомобильных дорог // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса / Материалы V Международной научно-практической конференции в рамках реализации Ассоциации "Технологическая платформа "Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания". Воронеж, 2021. С. 282-293.

12.Никитин В.В. [и др.] Проектирование схем транспортного освоения лесных массивов с применением информационно-интеллектуальных систем // Автоматизация. Современные технологии. 2022. Т. 76. № 3. С. 130-134.

13.Чирков Е.В. [и др.] Информационная модель критерия оптимальности трассы лесовозной автомобильной дороги // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 361-370.

14.Prokopets V.S., Skrypnikov A.V., Volodina Yu.Yu., Boykov P.A., Bondarev A.B., Borovlev Yu.A. Influence of the strength of the road structure on the resistance to movement // В сборнике: Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 168-186.

15.Никитин В.В. [и др.] Математическая модель сети лесовозных автомобильных дорог на основе оптимальных параметров // Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 120-134.

©Тихомиров П.В. – канд.техн.наук., доцент, зав. кафедрой транспортно-технологических машин и сервиса, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (ФГБОУ ВО «БГИТУ»), e-mail: vtichomirov@mail.ru; Скрыпников А.В. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»), e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru; Зеликов В.А. – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» (ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова»), e-mail: zelikov-vrn@mail.ru; Володина Ю.Ю. – преподаватель кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «ВГУИТ», e-mail: juliya_volodina@mail.ru.

UDC 721.05

METHOD OF LAYING-OUT AND CONTROL WORKS FOR CONSTRUCTION OF HORIZONTAL CURVES OF FOREST ROADS

P.V. Tikhomirov, A.V Skrypnikov, V.A. Zelikov, Yu.Yu. Volodina

This article presents the results of studies to determine the detail of the breakdown and control of the construction of complex road curves by various methods. In particular, the method of rectangular coordinates from tangents, the method of angles and chords, the method of polar coordinates, the inscribed polygon method, etc. The system of equations for a certain interval of isolation of approximate roots is solved by an iterative method using computer technology. To do this, an algorithm was developed that determines all the necessary elements of a detailed breakdown of clothoids at optimal intervals. The algorithm is implemented in a computer program. As a result of the studies and calculations of the optimal stakeout intervals for a wide variety of clothoid parameters, it turned out that the part of the required stakeout interval from the beginning to its current point, where the deflection arrow is determined, for the first interval from the beginning of the clothoid for all parameters is constant and equal to 0.577, and for all transition curves of standard parameters at should be taken as the optimal staking intervals, sequentially, starting with the NPK. Provided that the indicated intervals are observed, the constancy of the calculated angles and values for the breakdown of normative clothoids by the inscribed polygon method and the polar coordinate method is maintained. The breakdown of the clothoid by the inscribed polygon method is accompanied by systematic errors due to the

difference in the lengths of the arcs and the chords that subtend them. Using coordinate transformation formulas, it was found that the systematic error for the proposed optimal intervals is negligible, and it can be completely neglected. When determining the coordinates for placing a picket on a curve, as well as when determining the coordinates of any intermediate point on the curve, you can use a simple line interpolation.

Keywords: logging roads, road roundings, center intervals, clothoids

References

1. Kozlov V.G. [Analysis of Existing Methods for Designing a Forest Road Route] Fundamental'nyye issledovaniya [Fundamental Research] 2017. №3. pp. 35-39. (In Russ.).
2. Burmistrov D.V. [Working hypothesis of the rhythmic construction of logging roads and its economic and mathematical development] Lesnoy vestnik. [Forestry Bulletin] 2018. Issue. 22, no. 5. S. 69-76. (In Russ.).
3. Umarov M.M. [et al.] [Calculation of planar elements of a clothoid route selected on a stereo model of the area] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [News of higher educational institutions. Forest journal] 2018. No. 4 (364). pp. 97-106. (In Russ.).
4. Isachenko A.G. [Landscape science and physical-geographical zoning] M. Higher School, -1991. -366 p. (In Russ.).
5. Sablin S.Yu. [et al.] [System of feasibility study of geometrical elements of highways] Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University] 2021. V. 14. No. 1 (68). pp. 41-45. (In Russ.).
6. Tikhomirov P.V. [et al.]. [Determination of the geometric elements of logging roads using modern IT-technologies] V sbornike: Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK [In the collection: Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex] Materials of the national scientific-practical conference Voronezh, 2022, pp. 134-157. (In Russ.).
7. Morozov P.I. [Design and planning of the arrangement of logging roads] Lesotekhnicheskii zhurnal [Lesotechnical journal] 2011. No. 2. S. 36-41. (In Russ.).
8. Borovlev A.O. [et al.] [Mathematical modeling of the route of logging roads] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [Izvestia of higher educational institutions. Forest journal] 2021. No. 4 (382). pp. 150-161. (In Russ.).
9. Vysotskaya I.A. [Automated design of the longitudinal profile of logging roads, taking into account the influence of visually smooth and broken lines] Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii [Automation. Modern technologies] 2021. V. 75. No. 10. S. 450-453. (In Russ.).
10. Tikhomirov P.V., Skrypnikov A.A. [et al.] [Information-intelligent systems for determining the geometric elements of logging roads] Modelirovaniye sistem i protsessov [Modeling systems and processes] 2022. V. 15. No. 2. S. 83-93. (In Russ.).
11. Skrypnikov A.V., Denisenko V.V., Shcherbakov E.D. [Development of quality criteria for computer-aided design of roads] Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa [System analysis and modeling of quality management processes in the innovative development of the agro-industrial complex] / Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference as part of the implementation of the Association "Technological Platform" Food and Processing Industry Technologies of the AIC - Healthy Food Products ". Voronezh, 2021. S. 282-293. (In Russ.).
12. Nikitin V.V. [et al.] [Designing schemes for the transport development of forests using information-intelligent systems] Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii [Automation. Modern technologies] 2022. V. 76. No. 3. S. 130-134. (In Russ.).
13. Chirkov E.V. [et al.] [Information model of the optimality criterion for the route of a logging road] Sistemnyy analiz i modelirovaniye protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa [System analysis and modeling of quality management processes in the innovative development of the agro-industrial complex]: materials of the V Intern. scientific-practical conf. (May 21, 2021). Voronezh, 2021. S. 361-370. (In Russ.).
14. Prokopets V.S., Skrypnikov A.V., Volodina Yu.Yu., Boykov P.A., Bondarev A.B., Borovlev Yu.A. [Influence of the strength of the road structure on the resistance to movement] Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK [In the collection: Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex] Materials of the national scientific-practical conference. Voronezh, 2022, pp. 168-186.

15. Nikitin V.V. [Mathematical model of a network of logging roads based on optimal parameters] Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK [Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex]. Materials of the national scientific-practical conference. Voronezh, 2022. S. 120-134 (In Russ.).

©**Tikhomirov P.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Service, Bryansk State Engineering and Technology University (BSETU), e-mail: vtichomirov@mail.ru; **Skrypnikov A.V.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUET), e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru; **Zelikov V.A.** – Grand PhD in Engineering sciences, Associate Professor, Head of the Department of Organization of Transportation and Traffic Safety, G.F. Morozov, Voronezh State Forest Engineering University (VSFEU), e-mail: zelikov-vrn@mail.ru; **Volodina Yu.Yu.** – Teacher of the highest category of the Department of information technology, VSUET, e-mail: juliya_volodina@mail.ru.

Уважаемые авторы журнала!!!

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

Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «**Введение**», «**Методы и материалы**», «**Результаты**», «**Заключение**», «**Литература**».

Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «**Введение**», «**Обзор исследований в области...**», «**Заключение**», «**Литература**».

Рабочие языки журнала — русский и английский.

Одноколоночный макет журнала.

Параметры страницы:

- верх — 3 см;
- низ — 2,5 см;
- левое поле — 1,8 см;
- правое поле — 1,8 см;

Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал (ключевые слова аннотации оформляются кеглем 10). Абзац — 0,75 см.

Размер рисунков:

- ширина — не более 17,5 см;
- высота — не более 12 см;

Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Рис. 1. Название рисунка**). Цвет рисунка - черно-белый. Рисунки должны быть качественными, сканированные картинки не принимаются!

Размер таблицы не должен превышать 17,5 x 12 см.

Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Таблица 1 - Название таблицы**)

Формулы, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну колонку, то есть иметь размер не более чем 8,5 x 5 см (шрифт «Times New Roman»).

Физико-механические процессы в деревообработке

УДК 694.14

ПРОБЛЕМЫ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ В УДАЛЕННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

О.Н. Леонова

Проблем развития деревянного домостроения в Российской Федерации обсуждаются на разных уровнях достаточно давно. Достаточно часто к причинам, тормозящим развитие деревянного домостроения в нашей стране, относят несовершенство законодательной и нормативной базы, проблемы работы с банковским сектором. Однако проблематика развития деревянного домостроения в удаленных и труднодоступных территориях Российской Федерации имеет свою существенную специфику, связанную с плохо развитой транспортной сетью, частным отсутствием местных строительных материалов и дороговизной их доставки, острой нехваткой квалифицированных кадров, региональными особенностями эксплуатации деревянных домов. В статье рассмотрена данная специфика, часто не свойственная многонаселенным субъектам Российской Федерации, а также предложены направления решения указанных проблем. Автор выражает глубокую признательность участникам научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» за консультации и ценные замечания, высказанные при подготовке данной работы.

Ключевые слова: деревянное домостроение, удаленные территории, вечная мерзлота, объемно-модульные конструкции.

Введение

Общеизвестно, что проживание в удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации связано со значительным количеством трудностей и ограничений. Крайне слабо развитая транспортная инфраструктура, очень большая дороговизна грузоперевозок, во многом субсидируемых из средств бюджетов различных уровней, неразвитая социальная инфраструктура, суровые климатические условия, приводят к сокращению и без того небольшого населения рассматриваемых территорий, к которым, в основном, относятся территории арктической зоны Российской Федерации.

К традиционным проблемам рассматриваемых территорий добавляются новые, во многом связанные с глобальным потеплением климата. Это приводит к деградации вечной мерзлоты, постоянному обрушению берегов рек, протекающих в районах вечной мерзлоты (а это около 60% территории Российской Федерации). За счет постоянного размыва берегов рек приходится «перемещаться» населенным пунктам, с давних времен, построенных поближе к этим транспортным артериям, часто единственным в данной местности [1].

В таких условиях традиционное каменное строительство становится все менее эффективным. Общеизвестны виды опустевших арктических поселков, застроенных каменными многоэтажными домами, как памятник принятию неэффективных решений, огромных бюджетных средств, потраченных, во многом, впустую.

Очень распространенной современной практикой многих компаний, работающих в удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации, например, нефтегазового сектора, является оборудование современных, быстровозводимых вахтовых поселков, со всей необходимой жилой, социальной, и производственной инфраструктурой [2]. Однако в качестве варианта для постоянного проживания такое решение не подходит [3]. В связи с этим наиболее оптимальным вариантом решения проблемы жилья социальной, и производственной инфраструктуры в условиях удаленных и труднодоступных местностей является современное деревянное домостроение.

Также общеизвестно, что современные технологии и технические решения деревянного домостроения могут обеспечить сравнительно быстрое и дешевое возведение необходимых жилых,

производственных, и общественных зданий, не уступающих, а часто превосходящих по энергоэффективности здания из каменных материалов.

В качестве основных проблем развития деревянного домостроения в многонаселенных районах Российской Федерации обычно называют несовершенство законодательной и нормативной базы, проблемы работы с банковским сектором, например, в области ипотечного кредитования.

На рассматриваемых удаленных и труднодоступных территориях обычно добавляются отсутствие, или острая нехватка, местных строительных материалов, отсутствие, или острая нехватка, местных квалифицированных кадров, а также некоторые региональные особенности, в виде ментальности коренного населения, крупной фауны, климата.

Материалы и методы

Исторически северные территории Российской Федерации застраивались, в основном, деревянными зданиями и сооружениями. Отсюда следует, что исторически уже наработан огромный опыт в данном направлении. Если жители многих удаленных и труднодоступных районов России недоверчиво относятся к известному варианту каркасного домостроения, что связано с возможной нагрузкой от крупной фауны, или асоциального поведения соседей, то применение вариантов строительства из цельного бруса (массива), или клееного бруса является достаточно популярным в настоящее время.

Панельно-каркасное домостроение, при котором деревянные панели изготавливаются поточным методом в заводских условиях также достаточно популярно. Например, крупнейшее в настоящее время комплексное лесопромышленное предприятие Республики Саха (Якутия) - ООО ЛПК «Алмас», точнее его структурное подразделение, находящееся в г. Якутске, выпускает деревянные домокомплекты не только из оцилиндрованного бревна, цельного и клееного бруса хвойных древесных пород, но и из панелей МНМ (Massiv-Holz-Mauer). Они пользуются большой популярностью у населения республики. О большой важности такого производства для Якутии говорит тот факт, что три новые проекты деревянных домокомплектов разработаны и предоставлены предприятием по поручению Правительства Республики Саха (Якутия) Государственного Собрания (Ил Тумэн) Республики Саха (Якутия). Однако необходимо учитывать, что панели МНМ, хотя и известны достаточно давно, имеют большую конструктивную проблему в области биостойкости, поэтому нуждаются в очень качественной гидроизоляции, что далеко не всегда получается сделать в условиях удаленных и труднодоступных районов.

О важности развития деревянного домостроения для Республики Саха (Якутия) говорит и тот факт, что Министерство строительства РС(Я) планирует, что в 2022 г. доля деревянного домостроения составит не менее 50% от всего вводимого объема жилья в республике.

Однако успешному развитию деревянного домостроения в Республике Саха (Якутия), и на других удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации, как уже говорилось выше, мешает ряд застарелых проблем. Пути их решения в июне 2022 г. обсуждали на круглом столе в Северо-восточном Федеральном университете (СВФУ, г. Якутск). Данное мероприятие привлекло внимание и было поддержано Министерством строительства РС(Я), Министерством промышленности и геологии РС(Я), Министерством образования и науки РС(Я).

Результаты исследования

Одной из первых проблем развития деревянного домостроения в удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации является дефицит подходящего древесного сырья [4, 5]. Казалось бы, в большинстве своем такие территории относятся к землям лесного фонда, с большим процентом лесистости. Однако суровые климатические, и, соответственно, неблагоприятные лесорастительные условия, приводят к тому, что таксационные характеристики местных лесонасаждений не позволяют заготавливать в непосредственной близости от мест строительства древесины с необходимыми размерно-качественными признаками [6-8].

Упомянутое в начале статьи глобальное потепление увеличило продолжительность вегетационного периода, и, соответственно, годичный прирост деревьев. Однако полное отсутствие на рассматриваемых территориях необходимых лесохозяйственных мероприятий, в первую очередь рубок ухода за лесом, которые могли бы обеспечить целевое выращивание деревьев нужных пород, размеров и качества, сводит этот эффект на нет [9, 10]. При этом, как уже говорилось, завоз необходимых материалов из других регионов является, зачастую, сезонным, сложным, и достаточно дорогим [4, 11, 12].

Даже в районах с относительно мягким климатом, и, соответственно, лучшими лесорастительными условиями, заготовке древесины с необходимыми размерно-качественными признаками, в нужных объемах, препятствует слабая транспортная доступность, сложность рельефных и почвенно-грунтовых условий лесосечного фонда.

И даже если есть возможность заготовить древесину с необходимыми для деревянного домостроения размерно-качественными признаками, то в удаленных и труднодоступных районах нет возможности произвести из нее необходимые деревянные домокомплекты. В лучшем случае, там найдется мобильный лесопильный станок. О искусственной сушке лесоматериалов речь даже не идет.

Перспективным направлением решения данной проблемы является успешно развиваемая в настоящее время в Сибири и на Дальнем Востоке Российской Федерации технология обработки круглых лесоматериалов на лесных терминалах (непостоянных лесопромышленных складах, типа 4 НС), производящих различную пилопродукцию и полуфабрикаты. Из недавних, достаточно прорывных, разработок в данной области можно отметить разработанную участниками научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства», действующей при Арктическом государственном агротехнологическом университете (г. Якутск) технологию энергоснабжения лесных терминалов при помощи современных газогенераторных установок, работающих на отходах деревообрабатывающих операций и порубочных остатках [13-15]. При таком варианте экономическая эффективность производства деревянных домокомплектов недалеко от мест их потребления может значительно увеличиваться, особенно с учетом организации искусственной сушки лесоматериалов, организуемой при помощи мобильных сушильных камер. Хотя, конечно, необходимые для деревянного домостроения плитные материалы (фанеру, ДСП, OSB, и др.), утеплитель, тем более элементы коммуникаций на лесном терминале производить невозможно. Следовательно, их все равно придется завозить. Но за счет производимой на лесном терминале продукции объем необходимых для деревянного домостроения в удаленных и труднодоступных районах, а значит и сумму транспортных расходов можно будет достаточно значительно снизить.

Не лишним будет также отметить, что после решения насущной проблемы производства домокомплектов для жилья, зданий и сооружений социальной и производственной инфраструктуры, лесной терминал может давать постоянные рабочие места, производя не только изделия для деревянного домостроения, но и биотопливо, продукты малой лесохимии [16-18].

Необходимую дорожную сеть для эффективного функционирования лесного терминала возможно оперативно создавать из современных временных пластиковых конструкций (щитов), которые после необходимого в данном месте срока эксплуатации легко демонтируются из дорожного покрытия и перевозятся на новое место эксплуатации [19].

Успешному развитию лесного комплекса в целом, не только деревянного домостроения, в удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации препятствует острый кадровый дефицит [20, 21]. Эта проблема не может быть решена в ближайшее время без изменения политик в области подготовки кадров со стороны Правительства Российской Федерации.

Как было отмечено в докладе руководителя научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» д.т.н., проф. И.В. Григорьева на круглом столе «Подготовка кадров для строительной отрасли в сфере деревянного домостроения» 06.06.2022 г., общая потребность в кадрах для лесного комплекса Дальневосточного федерального округа Российской Федерации, с учетом запланированных мегапроектов в области освоения лесов данного округа, составляет около 6000 человек. При этом в вузах Дальнего Востока России, осуществляющих подготовку кадров лесного профиля контрольные цифры приема на бюджетной основе не дотягивают и до 100 человек. Это в 600 раз меньше потребности, особенно с учетом выбывания действующих кадров.

Данная проблема, по цепочке, препятствует выращиванию качественных лесов, уходу за ними, охране и защите, эффективной борьбе с вредителями, болезнями, лесными пожарами. Это существенно сокращает объемы доступного качественного древесного сырья. Там, где это сырье еще есть кадровая проблема существенно осложняет и удорожает заготовку древесины, ввиду острого дефицита квалифицированных операторов лесных машин, механиков, мастеров леса, и т.д. [22-24] На многих деревообрабатывающих предприятиях Дальневосточного федерального округа Российской Федерации наблюдается острый дефицит квалифицированных технологов, знающих современные технологии и станочный парк. В целом, на многих лесопромышленных предприятиях Дальневосточного федерального округа, да и не только Дальневосточного, очень не хватает руководителей различных уровней, имеющих

профильное образование, а главное соответствующие компетенции для того, чтобы эффективно управлять процессами заготовки и транспортировки древесины, производства из нее востребованной продукции, в современных условиях.

Более 2000 человек ежегодно поступают на специальности лесного профиля в вузы Европейской части Российской Федерации, на бюджетные места. В эти же высшие учебные заведения поступает львиная доля бюджетных средств на техническое оснащение учебного процесса, общежития, и т.д. При этом общеизвестно, что очень значительная часть из этих поступающих заранее не планирует работать по получаемой специальности. Лесные направления подготовки специалистов и так не пользуются большим спросом у современной молодежи, стремящейся к более комфортной жизни. В связи с этим подготовка специалистов в области лесного хозяйства, лесозаготовительного производства, в центральных городах (Москва, Санкт-Петербург) представляется заранее неэффективным направлением расходования бюджетных средств.

Не лишним будет также отметить, что среди молодежи из удаленных и труднодоступных районов Российской Федерации есть немало желающих получить необходимое образование и принимать активное участие в развитии своей малой родины. Но проучившись 4-6 лет в центральных городах они, в подавляющем своем большинстве, предпочитают там остаться, вне зависимости от возможности в будущем работать по полученной специальности. И их за это достаточно сложно осуждать.

Намного рациональнее, с точки зрения решения кадровой проблемы, было бы вкладывать бюджетные средства в подготовку специалистов в районах, которые в них остро нуждаются. Под вложениями средств имеются ввиду контрольные цифры приема на обучение за счет бюджета, общежития, техническое оснащение учебного процесса. В данном случае можно взять хороший пример у лесопромышленного бизнеса, создающего корпоративные учебные центры, оснащающего местные учебные заведения, готовящие специалистов лесного профиля.

Можно привести еще такой пример: на базе Инженерно-технического института СВФУ в 2022 г. открывается новый профиль «Деревянное домостроение» по направлению подготовки бакалавров 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» с набором 20 человек, в рамках целевого приема с финансированием из бюджета Республики Саха (Якутия). Отсюда очевидно, что Правительство республики хорошо понимает необходимость подготовки кадров в области деревянного домостроения, важность развития этой отрасли, и не надеется на приток сторонних кадров, подготовленных в вузах других субъектов Российской Федерации за счет федерального бюджета.

Помимо решения проблем доступного (местного) древесного сырья, острой нехватки соответствующих кадров, остается проблема рационального выбора наиболее оптимальных конструкций деревянных домов, подходящих для удаленных и труднодоступных районов Российской Федерации.

Предварительно выполненный анализ, учитывающий перечисленные выше проблемы развития деревянного домостроения в удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации, позволяет утверждать, что значительные перспективы имеет объемно-модульное деревянное домостроение. Такой вариант решения жилищной проблемы, возведения объектов социальной и производственной инфраструктуры, очень популярен в США, где на него приходится до 40% от различных вариантов индустриального строительства, а также в Европе, где на него приходится до 25% новых домокомплектов.

В Российской Федерации в области объемно-модульного деревянного домостроения значительный объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выполняется учеными Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (САФУ, г. Архангельск), в частности д.т.н., проф. Б.В. Лабудиным и его учениками.

Объемные модули деревянного домостроения представляют собой готовые (в полной комплектации) планировочные решения жилых домов, помещений социальной или производственной инфраструктуры, произведенные на специальных заводах индустриальным методом [25]. Как и при промышленном производстве вахтовых домов, например, российской компанией СВС, планировочных решений может быть создано очень большое количество, в зависимости от назначения, и природно-производственных условий эксплуатации зданий.

При производстве объемных модулей деревянного домостроения используются современные материалы. Изделия на одну комнату (помещение) изготавливаются в заводских условиях. С применением в обшивке современных плитных материалов (фанеры, OSB, и др.), эффективных утеплителей. Там же на заводе комната (помещение) наполняется необходимой инфраструктурой –

электрическими каналами, розетками, водопроводом и канализацией, и т.п. То есть на заводе выполняется вся необходимая разводка инженерных сетей в данном помещении. При сборке на месте эксплуатации объемные модули деревянного домостроения несложно стыкуются на готовом фундаменте, что позволяет быстро получить качественное, относительно недорогое, одноэтажное здание. Впрочем, согласно данным исследователей САФУ, по такой технологии можно возводить здания до пяти этажей.

Монтаж стандартного здания занимает 2-3 дня, требует элементарной грузоподъемной техники, и не требует высококвалифицированного персонала, поскольку собирается заранее подготовленные крепёжные пазы.

Холодная кровля, также произведенная в заводских условиях, не на стропильных конструкциях, а в виде фермы, также перевозится вместе с модулями.

Весьма ценным в технологии объемно-модульного деревянного домостроения при использовании в условиях вечной мерзлоты является отсутствие необходимости предварительной забивки свай фундамента. Здания такой конструкции имеют очень хорошую теплоизоляцию, и не размораживают мерзлоту, что позволяет обойтись простой насыпной подушкой из песка, гравия, и т.п.

Безусловно, для проектирования и производства объемных модулей деревянного домостроения потребуются высококвалифицированные специалисты. Но поскольку предполагается заводское изготовление в условиях крупных населенных пунктов, кадровая проблема будет стоять гораздо менее остро.

С учетом все чаще возникающих в удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации чрезвычайных ситуаций, в виде наводнений, пожаров, благодаря объемно-модульному деревянному домостроению можно заранее создавать запас необходимых модулей, исходя из прогнозов природной опасности, что максимально оперативно восстанавливать утраченные здания и сооружения.

При нарастающих процессах деградации вечной мерзлоты, при необходимости переместить здания и сооружения, находящиеся под угрозой, в случае их объемно-модульного исполнения не сложно их разобрать и переместить на новое место, с минимальными затратами времени, сил и средств.

Выводы

Развитие современного деревянного домостроения удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации является наиболее перспективным направлением решения жилищной проблемы и развития инфраструктуры рассматриваемых территорий. Решение данной проблемы позволит существенно повысить качество жизни местного населения, снизить его отток в более населенные регионы, повысить лояльность к органам власти.

Развитию современного деревянного домостроения удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации зачастую препятствуют острый дефицит местного сырья и кадров. Для решения проблемы необходимого древесного сырья необходимо повысить качество лесохозяйственных мероприятий, развивать технологии обработки заготовленной древесины на лесных терминалах. Для решения проблемы дефицита кадров необходимо ввести бюджетное правило первоочередного распределения затрат на подготовку кадров для лесного комплекса и развитие соответствующей инфраструктуры в регионы с наибольшими лесными запасами, и наибольшими объемами заготовки и переработки древесины.

В настоящее время, наиболее перспективным вариантом развития современного деревянного домостроения удаленных и труднодоступных районах Российской Федерации является объемно-модульное деревянное домостроение.

Литература

1. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Куницкая О.А. Использование энергии малых рек для развития лесопромышленного комплекса // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 11. С. 3-9.
2. Швецова В.В. Конструктивные решения мобильных вахтовых домов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 150-152.
3. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Цыгарова М.В. Вахтовые лесозаготовки. Теория и практика // Леспроектинформ. 2016. № 1. С. 60-65.
4. Григорьев И.В. Перевозка лесоматериалов по железной дороге // Потенциал науки и образования: современные исследования в области агрономии, землеустройства, лесного хозяйства. 2019. С. 5-9.

5. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Григорьев И.В., Каляшов В.А., Рудов С.Е., Иванов В.А. Проблемы и перспективы лесозаготовительного производства в условиях районов распространения вечной мерзлоты // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 3 (51). С. 59-67.
6. Абузов А.В., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Анализ потенциала лиственных лесов, произрастающих на территории Дальневосточного федерального округа // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 2 (54). С. 64-71.
7. Рудов С.Е., Григорьева О.И., Григорьев И.В. Эффективное восстановление лесов на вечной мерзлоте // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2022. С. 38-41.
8. Григорьева О.И., Григорьев М.Ф., Григорьев И.В. Анализ естественного лесовозобновления в Алексеевском участковом лесничестве Республики Саха (Якутия) // Forest Engineering. материалы научно-практической конференции с международным участием. 2018. С. 72-75.
9. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н. С. Захаров. 2018. С. 79-83.
10. Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.
11. Григорьев И.В., Зорин М.В. Современный программный комплекс для повышения без опасности, надёжности и энергоэффективности автолесовозов // Вестник АГАТУ. 2021. № 4 (4). С. 65-72.
12. Григорьев И.В., Куницкая О.А. Оптимальный выбор лесовозного автопоезда // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н.С. Захаров. 2019. С. 74-78.
13. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Анализ систем газификации древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 291-296.
14. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Эффективная система преобразования тепловой энергии в электрическую для энергоснабжения лесных терминалов // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 104-105.
15. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 102-103.
16. Куницкая О.А. Повышение эффективности лесной промышленности Республики Саха (Якутия) путем развития лесохимических технологий // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 88-89.
17. Куницкая О.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б., Григорьев В.И., Нгуен Т.Н. Техничко -экономический анализ производства биотоплива из древесины // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 12. С. 29-35.
18. Куницкая О.А. Оценка экономики производства древесных пеллет в России // Потенциал науки и образования: современные исследования в области агрономии, землеустройства, лесного хозяйства. 2019. С. 27-32.
19. Зорин М.В., Куницкая О.А. Современные сборно-разборные покрытия для строительства временных лесных дорог и технологических коридоров // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2022. С. 54-57.
20. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Пути повышения мотивации молодежи к работе в лесном комплексе // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2022. С. 31-35.

21. Григорьева О.И., Григорьев И.В. Повышение эффективности кадрового обеспечения лесного комплекса Российской Федерации // Архитектура университетского образования: построение единого пространства знаний. сборник трудов IV Национальной научно-методической конференции с международным участием. 2020. С. 123-130.

22. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Григорьева О.И., Войнаш С.А. Лучшие практики подготовки операторов лесных машин // Строительные и дорожные машины. 2020. № 10. С. 42-48.

23. Куницкая О.А., Григорьев И.В., Нгуен Т.Н. Современные методы и формы обучения операторов лесных машин // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Ответственные редакторы Ю.А. Безруких, Е.В. Мельникова. 2020. С. 277-280.

24. Григорьев И.В., Войнаш С.А. Повышение эффективности подготовки операторов лесных машин // Лесозаготовка и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2020. С. 62-66.

25. Ализаде С.А. Объемно-блочное домостроение: опыт и перспективы развития // Архитектура и дизайн. 2017. № 1. С. 38 - 52.

©Леонова О.Н. – канд. техн. наук, доцент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»), e-mail: onl60@mail.ru.

UDC 694.14

PROBLEMS OF WOODEN HOUSING IN REMOTE AND HARD-TO-REACH AREAS

O.N. Leonova

Problems of development of wooden housing construction in the Russian Federation are discussed at different levels for a long time. Quite often the reasons that hinder the development of wooden housing construction in our country include imperfect legislative and regulatory framework, the problems of working with the banking sector. However, the problem of wooden house-building in remote and remote areas of the Russian Federation has its own significant specifics associated with the poor transport network, a private absence of local building materials and the high cost of their delivery, an acute shortage of skilled personnel, regional characteristics of wooden houses. The article considers this specificity, often inherent in multi-populated subjects of the Russian Federation, and proposes directions for solving these problems. The author expresses his deep gratitude to the participants of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" for consultations and valuable comments made during the preparation of this work.

Key words: wooden housing, remote areas, permafrost, volumetric-modular structures.

References

1. Grigorev G.V., Dmitrieva I.N., Kunitskaya O.A. [Using the energy of small rivers for the development of timber industry] // Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. [Repair. Restoration. Modernization]. 2021. № 11. pp. 3-9. (InRuss.).
2. Shvetsova V.V. [Constructive solutions of mobile shift houses] // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy Shestoj Vserossijskoj nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk [Increasing the efficiency of the forestry complex. Proceedings of the Sixth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk], 2020. pp. 150-152. (InRuss.).
3. Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Tsygarova M.V. [Shift logging. Theory and practice] // Lesprom inform [Lesprominform]. 2016. № 1. pp. 60-65. (InRuss.).
4. Grigorev I.V. [Transport of timber by rail] // Potencial nauki i obrazovaniya: sovremennye issledovaniya v oblasti agronomii, zemleustrojstva, lesnogo hozyajstva [Potential of science and education: modern research in agronomy, land management, forestry]. 2019. pp. 5-9. (InRuss.).

5. Grigorev G.V., Dmitrieva I.N., Grigorev I.V., Kalyashov V.A., Rudov S.E., Ivanov V.A. [Problems and prospects of logging production in areas of permafrost distribution] // Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]. 2021. № 3 (51). pp. 59-67. (InRuss.).
6. Abuzov A.V., Grigoreva O.I., Grigorev I.V. [Analysis of potential of larch forests growing in the Far Eastern Federal District] // Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]. 2022. № 2 (54). pp. 64-71. (InRuss.).
7. Rudov S.E., Grigoreva O.I., Grigorev I.V. [Effective restoration of forests on permafrost] // Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn. materialy 86-j nauchno-tekhnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem). Minsk [Forest Engineering, Materials Science and Design. materials of the 86th scientific and technical conference of teaching staff, researchers and graduate students (with international participation). Minsk], 2022. pp. 38-41. (InRuss.).
8. Grigoreva O.I., Grigorev M.F., Grigorev I.V. [Analysis of natural forest regeneration in the Alekseevskiy district forestry of the Republic of Sakha (Yakutia)] // Forest Engineering. materialy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem [Forest Engineering. materials of scientific and practical conference with international participation]. 2018. pp. 72-75. (InRuss.).
9. Grigoreva O.I. [Efficiency of transport-technological systems for forestry] // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Otv. red. N. S. Zaharov [Transport and transport-technological systems. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Ed. by N. S. Zakharov]. 2018. pp. 79-83. (InRuss.).
10. Grigoreva O.I. [New machine for forest thinning] // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice]. 2015. T. 3. № 2-2 (13-2). pp. 116-119. (InRuss.).
11. Grigorev I.V., Zorin M.V. [Modern software system to improve safety, reliability and energy efficiency of timber trucks] // Vestnik AGATU [Bulletin of AGATU]. 2021. № 4 (4). pp. 65-72. (InRuss.).
12. Grigorev I.V., Kunitskaya O.A. [Optimal choice of timber tracks] // Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Otv. red. N. S. Zaharov [Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Ed. by N.S. Zakharov]. 2019. pp. 74-78. (InRuss.).
13. Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. [Analysis of wood gasification systems] // Kompleksnye voprosy agrarnoy nauki i obrazovaniya. Sbornik nauchnyh statej po materialam Vnutrivuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu Vysshogo agrarnogo obrazovaniya Respubliki Saha (Yakutiya) i Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah «Severnogo foruma – 2021» [Complex issues of agrarian science and education. Collection of scientific articles on the materials of the intravuniversity scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of Higher Agrarian Education of the Republic of Sakha (Yakutia) and the All-Russian student scientific and practical conference with international participation in the framework of the "Northern Forum - 2021"]. 2021. pp. 291-296. (InRuss.).
14. Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. [Efficient system of conversion of heat energy into electrical energy for power supply of forest terminals] // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy Sed'moj Vserossiyskoy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk [Efficiency Increase of Forestry Complex. Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation. Petrozavodsk]. 2021. pp. 104-105. (InRuss.).
15. Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V. [Functional capabilities and operational characteristics of power supply means of forest terminals] // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy Sed'moj Vserossiyskoy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk [Efficiency enhancement of forestry complex. Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation. Petrozavodsk]. 2021. pp. 102-103. (InRuss.).
16. Kunitskaya O.A. [Improving the efficiency of the forest industry of the Republic of Sakha (Yakutia) through the development of lesokhimicheskikh technologies] // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy SHestoj Vserossiyskoy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Petrozavodsk [Improving the efficiency of the forest complex. Proceedings of the Sixth All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation. Petrozavodsk], 2020. pp. 88-89. (InRuss.).

17.Kunitskaya O.A., Grigorev I.V., Davtyan A.B., Grigorev V.I., Nguyen T.N. [Technical and economic analysis of biofuel production from wood] // Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. [Repair. Restoration. Modernization]. 2020. № 12. pp. 29-35. (InRuss.).

18.Kunitskaya O.A. [Estimation of the Economics of Wood Pellet Production in Russia] // Potencial nauki i obrazovaniya: sovremennye issledovaniya v oblasti agronomii, zemleustrojstva, lesnogo hozyajstva [Potential of Science and Education: Modern Research in Agronomy, Land Management, Forestry]. 2019. pp. 27-32. (InRuss.).

19.Zorin M.V., Kunitskaya O.A. [Modern prefabricated pavements for the construction of temporary forest roads and technological corridors] // Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn. materialy 86-j nauchno-tekhnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem). Minsk [Forest Engineering, Material Science and Design. materials of the 86th scientific and technical conference of professors, researchers and graduate students (with international participation). Minsk], 2022. pp. 54-57. (InRuss.).

20.Grigorev I.V., Grigoreva O.I. [Ways to increase motivation of young people to work in the forestry complex] // Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny. Sbornik statej IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Krasnoyarsk [Forest exploitation and integrated use of wood. Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk], 2022. pp. 31-35. (InRuss.).

21.Grigoreva O.I., Grigorev I.V. [Increasing the effectiveness of staffing of the forestry complex of the Russian Federation] // Arhitektura universitetskogo obrazovaniya: postroenie edinogo prostranstva znanij. sbornik trudov IV Nacional'noj nauchno-metodicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem [Architecture of university education: building a common space of knowledge. Proceedings of IV National Scientific and Methodological Conference with international participation]. 2020. pp. 123-130. (InRuss.).

22.Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Rudov S.E., Grigoreva O.I., Voynash S.A. [Best practices of forest machine operators training] // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny [Building and Road Machines]. 2020. № 10. pp. 42-48. (InRuss.).

23.Kunitskaya O.A., Grigorev I.V., Nguyen T.N. [Modern methods and forms of training forest machine operators] // Innovacii v himiko-lesnom komplekse: tendencii i perspektivy razvitiya. Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Otvetstvennye redaktory YU.A. Bezrukih, E.V. Mel'nikova [Innovations in the chemical and forestry complex: trends and prospects for development. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. A. Bezrukih, E.V. Melnikova]. 2020. pp. 277-280. (InRuss.).

24.Grigorev I.V., Voinash S.A. [Increasing the effectiveness of forest machine operators training] // Lesoekspluatatsiya i kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny. Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Krasnoyarsk [Forest exploitation and integrated wood use. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Krasnoyarsk], 2020. pp. 62-66. (InRuss.).

25.Alizadeh S.A. [Volumetric-block house-building: experience and prospects for development] // Arhitektura i dizajn [Architecture and Design]. 2017. № 1. pp. 38-52. (InRuss.).

©Leonova O.N. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics Department, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, e-mail: onl60@mail.ru.

УДК 674.04

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СУШКИ ШПОНА В СВЧ-ПОЛЕ

А.Н. Чемоданов, Р.Р. Сафин, А.Е. Кочетов, К.А. Никитин

В данной статье рассматривается проблема сушки шпона на производствах фанеры. Строганный и луценый шпон – одни из самых распространенных производных в лесопромышленном комплексе. Для получения качественного материала для дальнейшего его использования требуется низкая влажность. Сушка шпона по сравнению с пиломатериалами имеет некоторую специфику, определяемую особенностями конструкций сушильных устройств, режимов сушки. Технология массовой сушки шпона при производстве фанеры достаточно хорошо отработана. Однако имеются большие объемы шпона и их отходов, которые могут быть использованы для выпуска некоторых

видов продукции и для которых требуются специальные сушильные устройства. Авторы предлагают устройство для сушки шпона в СВЧ-полях, которое представлено в разных проекциях, где детально описаны компоненты установки. При данном способе сушки шпон подвергается воздействию магнетронов, вследствие чего материал нагревается и в дальнейшем сушится в течение заданного времени без использования жестких высокотемпературных режимов. Были получены оптимальное время сушки, а также необходимая потребляемая мощность на единицу площади шпона.

Ключевые слова: сушка отходов шпона, фанерное производство, шпон нестандартных размеров, СВЧ-сушка.

Введение

Сушка шпона по сравнению с сушкой древесины имеет свои особенности. Малая толщина шпона и его большая площадь создают идеальные условия для его интенсивной сушки. Использование жестких температурных режимов, не причиняя ущерба шпону.

Отсутствие жесткой фиксации шпона между металлическими лентами позволяют избежать разрывов шпона, но влияют на качество высушенного шпона. Качество высушенного шпона невысокое, он характеризуется волнистостью и гофром. Поэтому ленточные сушилки не получили широкого распространения и требуют дальнейшей разработки.

Сегодня на фанерных заводах при лущении бревен, подготовке шпона для сушки накапливается большое количество отходов шпона. Обрывки шпона, заломы имеют неправильную форму, нестандартные размеры и не могут быть высушены на роликовых или ленточных сушильных установках, применяемых для размеров стандартного шпона. Объемы отходов шпона велики и могут быть с успехом использованы при производстве малогабаритной мебели, кухонных наборов, дачных гарнитуров. Наряду с механической обработкой очень широко применяется склеивание шпона. Влажность такого шпона достигает около 20%, что ухудшает качество склеивания, требуется сушка шпона до влажности 6÷12% [1].

Строганный шпон используется как облицовочный материал, а лущеный при производстве фанеры и древесностроганных материалов. При производстве шпона получается большое количество отходов, которые могут быть использованы для изготовления каких-либо видов продукции. Эти отходы имеют влажность около 20%, что затрудняет его дальнейшую переработку и особенно склеивание, где требуется 6÷8% влажности [2].

В фанерном производстве основными сушильными устройствами являются роликовые или ленточные сушилки, сушильным агентом в них служит воздух или газоздушная смесь. Сушильные печи имеют несколько этажей, расположенных один под другим, по которым движутся листы шпона. Скорость движения сушильного агента по поверхности шпона достигает 15 м/с.

Методы и материалы

По заявке производства в ПГТУ на кафедре деревообрабатывающих производств было разработано несколько вариантов устройств для сушки древесины [3]. Было получено несколько патентов на разработанные конструкции сушильных установок, из них одна была разработана для сушки шпона [4], однако предпочтение было отдано устройству, изображенному на рис. 1.

Техническим результатом является непрерывность процесса сушки шпона любой влажности из древесины различных пород, простота устройства, отсутствие потерь энергии, возможность автоматизации работы устройств [5]. Изобретение поясняется чертежами, где на рис. 1 под литерой «а» показан вид секции сбоку, под литерой «б» вид секции сверху, на рис. 2 разрез по А-А.

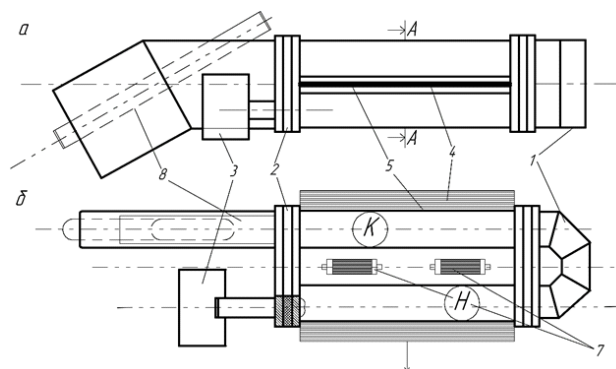


Рис. 1. Устройство для сушки шпона в СВЧ-поле: а – вид секции сбоку, б – вид секции сверху

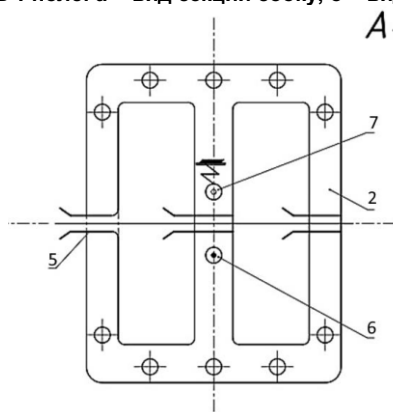


Рис. 2. Разрез по А–А устройства для сушки шпона в СВЧ-поле

Устройство для сушки шпона в СВЧ-поле, состоящее из одной или нескольких секций, имеет одинаковое функциональное назначение.

Корпус каждой секции является волноводом 1, который имеет U-образную форму, включающий два участка: первый – начальный «Н» и второй – конечный «К», расположенных в горизонтальной плоскости, параллельных друг другу и соединенных между собой при помощи фланцев 2. В начале первого участка «Н» волновода 1 присоединен магнетрон 3. Магнетрон 3 создает СВЧ-поле, поступающее в волновод 1, и, при движении по нему, нагревает ленту шпона 4, проходящую через горизонтальную щель 5, образованную в корпусе волновода. Для улучшения перемещения шпона каждая секция имеет необходимое количество пар роликов приводных 6 и прижимных 7. При вводе приводных роликов 6 имеет возможность менять число их оборотов для изменения скорости перемещения ленты шпона 4, обеспечивая тем самым необходимое натяжение ленты шпона для избегания волнистости и регулирования температуры нагрева.

Неиспользованная энергия СВЧ-поля гасится водяным буфером 8, расположенном в конце второго участка «К» волновода, для исключения выхода СВЧ-поля за пределы процесса устройства.

Высушиваемый шпон непрерывно перемещается в поперечном к корпусу волновода направлении при помощи подающих и прижимных роликов [6].

В качестве получения предварительных результатов использовалась экспериментальная установка с мощностью магнетрона до 900 Вт. Применялись 2 режима сушки шпона – 600 и 900 Вт, испытывались заготовки шпона из березы, длиной (l) 25,3–27,4 см, шириной (b) 5,8–6,8 см и толщиной 0,15 см. Проводились замеры температуры (T) в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) и влажность (W) материала заготовки перед сушкой и после него в %. Совершалась фиксация времени прогрева в секундах. Рассчитывалась площадь заготовок (S), температура ΔT , на которую нагревался материал заготовки по сравнению с начальной температурой, а также потребные затраты энергии (Q_p) в $\text{Вт} \times \text{ч}/\text{м}^2$.

Результаты

В ходе экспериментальных исследований были выявлены значительные изменения влажности и температуры под влиянием мощности магнетрона за определенный промежуток времени. Результаты представлены в таблице 1. Исходя из полученных данных было решено получить расход энергии на сушку шпона, результаты представлены на таблице 2.

Таблица 1 – Результаты сушки шпона в СВЧ-поле

Номер образца	$T_{нач.}, ^\circ C$	$T_{конеч.}, ^\circ C$	$\Delta T, ^\circ C$	$W_{нач.}, \%$	$W_{конеч.}, \%$	Мощность магнетрона, Вт	Время прогрева, мин.
1-1	18	29,7	11,7	52,8	42,5	600	1
1-2	17,7	26,6	8,9	42,4	38,6	600	1
1-3	17,6	26,3	8,7	42,6	33,5	600	1
2-1	18,7	32,7	14	38,2	31,6	900	2
2-2	18,3	32,4	14,1	43	33,6	900	2
2-3	17,4	32,4	15	37,9	33,6	900	2
3-1	20,7	31,8	11,1	35,6	20,4	900	3
3-2	18,4	33,5	15,1	36,3	21,5	900	3
3-3	17,7	33,3	15,6	35,3	23	900	3
4-1	17,6	41,4	23,8	40,9	20,3	900	4
4-2	17,9	46,2	28,3	42,3	9,5	900	4
4-3	18,6	47,6	29	39,3	12,9	900	4
5-1	18	47	29	39,9	4,5	900	5
5-2	17,8	47,1	29,3	36,4	4,3	900	5
5-3	17,6	44,5	26,9	35,1	5,6	900	5

Таблица 2 – Расходы энергии при сушке шпона в СВЧ-поле

Номер образца	$l, м$	$b, м$	$S, м^2$	Мощность магнетрона, Вт	Время прогрева, сек.	$Q_p, Вт \times сек/м^2$	$Q_p, Вт \times время прогрева/м^2$
1-1	0,253	0,061	0,015433	600	60	10,7561718	645,3703104
1-2	0,272	0,063	0,017136	600	60	9,68720822	581,232493
1-3	0,271	0,068	0,018428	600	60	9,00803126	540,4818754
2-1	0,258	0,061	0,015738	900	120	15,8851188	1906,214258
2-2	0,259	0,065	0,016835	900	120	14,8500149	1782,001782
2-3	0,259	0,064	0,016576	900	120	15,0820463	1809,84556
3-1	0,271	0,063	0,017073	900	180	14,6430036	2635,740643
3-2	0,274	0,058	0,015892	900	180	15,7311855	2831,61339
3-3	0,27	0,063	0,01701	900	180	14,6972369	2645,502646
-1	0,253	0,062	0,015686	900	240	15,9377789	3825,066939
4-2	0,273	0,063	0,017199	900	240	14,5357288	3488,574917
4-3	0,271	0,064	0,017344	900	240	14,4142066	3459,409594
5-1	0,272	0,063	0,017136	900	300	14,589169	4376,7507
5-2	0,257	0,064	0,016448	900	300	15,1994163	4559,824903
5-3	0,257	0,066	0,016962	900	300	14,738828	4421,648391

Анализ таблицы 1 приводит к выводу, что получить довольно сухой шпон без ущерба качеству можно за 5 минут при мощности магнетрона 900 Вт. Показатель влажности получился ниже требованиям ГОСТ 2977-82 ($8 \pm 2\%$) [7]. Полученная температура заготовок считается допустимой в силу того, что при данных значениях невозможно самовозгорание. Полученные результаты, показанные на табл. 2, демонстрируют невысокую энергоемкость процесса.

Заключение

Проведенные опыты по экспериментальному исследованию зависимости энергоемкости сушки шпона показали, что энергоемкость сушки шпона значительно меньше энергоемкости сушки пиленых лесоматериалов [8, 9]. В данном методе нет необходимости воздействовать на шпон жесткими высокотемпературными режимами. Предлагаемая конструкция сушильной установки позволяет получать шпон ровным без гофров и волнистости вне зависимости от его размеров за короткий промежуток времени [10, 11]. Сейчас имеются запросы на изготовление предлагаемой конструкции сушильного устройства от ряда производственных организаций.

Литература

1. Скуратов Н.В. Тепловая обработка древесины / Н.В. Скуратов // Лесная индустрия. – 2017. – №6 (110). – С. 44-50.
2. Технология и оборудование для изготовления лущеного шпона // Современные Технологии Производства. URL: <https://extxe.com/7483/drevesina-materialy-i-izdelija-na-ee-osnove/> (дата обращения 17.08.2022)
3. Чемоданов А.Н. Сушка древесины: учебное пособие / А.Н. Чемоданов, Е.М. Царев, С.Е. Анисимов. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 2005. – 240 с.
4. СВЧ-камера для сушки шпона: пат. № 2531709 РФ. заявл. 2013130475/06, 02.07.2013; опубл. 24.10.2014.
5. Чемоданов А.Н., Инородцева Н.А., Корякин В.А., Гайнуллин Р.Х. Сушка строганого шпона с использованием СВЧ-энергии // Наука и мир. 2013. № 2 (2). С. 73-75.
6. Устройство для сушки шпона в СВЧ-поле: заявка на патент РФ. заявл. 2022 120855, 29.07.2022.
7. ГОСТ 2977-82. Шпон строганый. Технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 11 с.
8. Дьяконов К.Ф. Сушка древесины токами высокой частоты / К.Ф. Дьяконов, А.А. Горяев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 169 с.
9. Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учебное пособие / А.И. Расев, А.А. Косарин. – М. Форум, 2010. – 416 с.
10. Тетерин Л.А. Применение установок с СВЧ нагревом древесины для сушки лесоматериалов / Л.А. Тетерин, Г.П. Паничев. – М, ЗАО «НПП МАГРАТЕП». 2003. – 56 с.
11. Чемоданов А.Н., Минина Е.А., Казанцев С.А. Возможность использования СВЧ-установок в современном деревообрабатывающем производстве // Сборник научных трудов III Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» – Кострома: Костромской государственный технологический университет, 2015. С. 90-91.

© **Чемоданов А.Н.** – канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «ПГТУ»), e-mail: ChemodanovAN@volgatech.net; **Сафин Р.Р.** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: cfaby@mail.ru; **Кочетов А.Е.** – аспирант кафедры деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «ПГТУ», e-mail: KochetovAE@volgatech.net; **Никитин К.А.** – аспирант кафедры деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «ПГТУ», e-mail: nikitin-konstantin-wood@yandex.ru.

UDC 674.04

A DEVICE FOR DRYING VENEER IN A MICROWAVE FIELD

A.N. Chemodanov, R.R. Safin, A.E. Kochetov, K.A. Nikitin

This article discusses the problem of drying veneer in plywood production. Planed and peeled veneer are one of the most common derivatives in the timber industry. To obtain high-quality material for its further use, low humidity is required. Drying of veneer in comparison with lumber has some specifics determined by the design features of drying devices, drying modes. The technology of mass drying of veneer in the production of plywood is quite well developed. However, there are large volumes of veneer and their waste, which can be used for the release of some types of products and for which special drying devices are required. The authors propose a device for drying veneer in microwave fields, which is presented in different projections, where the components of the installation are described in detail. With this drying method, the veneer is exposed to magnetrons, as a result of which the material is heated and subsequently dried for a specified time without using harsh high-temperature regimes. The optimal drying time was obtained, as well as the required power per unit area of the veneer.

Keywords: drying veneer's waste, plywood production, veneer non-standard sizes, microwave drying.

References

1. Skuratov N.V. Teplovaya obrabotka drevesiny / N.V. Skuratov // Lesnaya industriya. – 2017. – №6 (110). – S. 44-50. (In Russ)
 2. Tekhnologiya i oborudovanie dlya izgotovleniya lushchenogo shpona // Sovremennye Tekhnologii Proizvodstva. URL: <https://extxe.com/7483/drevesina-materialy-i-izdelija-na-ee-osnove/> (data obra-shcheniya 17.08.2022) (In Russ)
 3. Chemodanov A.N. Sushka drevesiny: uchebnoe posobie / A.N. Chemodanov, E.M. Tsarev, S.E. Anisimov. – Joshkar-Ola, MarGTU, 2005. – 240 s. (In Russ)
 4. SVCH-kamera dlya sushki shpona: pat. № 2531709 RF. zayavl. 2013130475/06, 02.07.2013; opubl. 24.10.2014. (In Russ)
 5. Chemodanov A.N., Inorodtseva N.A., Koryakin V.A., Gajnullin R.H. Sushka stroganogo shpona s ispol'zovaniem SVCH-energii // Nauka i mir. 2013. № 2 (2). S. 73-75. (In Russ)
 6. Ustrojstvo dlya sushki shpona v SVCH-pole: zayavka na patent RF. zayavl. 2022 120855, 29.07.2022. (In Russ)
 7. GOST 2977-82. SHpon stroganyj. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 1983-01-01. – M.: IPK Iz-datel'stvo standartov, 2008. – 11 s. (In Russ)
 8. D'yakonov K.F. Sushka drevesiny tokami vysokoy chastoty / K.F. D'yakonov, A.A. Goryaev. – M.: Lesn. prom-st', 1981. – 169 s. (In Russ)
 9. Rasev A.I. Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny: uchebnoe posobie / A.I. Rasev, A.A. Kosarin. – M. Forum, 2010. – 416 s. (In Russ)
 10. Teterin L.A. Primenenie ustanovok s SVCH nagrevom drevesiny dlya sushki lesomateria-lov / L.A. Teterin, G.P. Panichev. – M, ZAO «NPP MAGRATEP». 2003. – 56 s. (In Russ)
 11. Chemodanov A.N., Minina E.A., Kazancev S.A. Vozmozhnost' ispol'zovaniya SVCH-ustanovok v sovremenom derevoobrabatyvayushchem proizvodstve // Sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa» – Kostroma: Kostromskoj gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2015. S. 90-91.
- ©**Chemodanov A.N.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology (VSUT), e-mail: ChemodanovAN@volgatech.net; **Safin R.R.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: cfaby@mail.ru; **Kochetov A.E.** – postgraduate student of the Department of Woodworking Industries, VSUT, e-mail: KochetovAE@volgatech.net; **Nikitin K.A.** – postgraduate student of the Department of Woodworking Industries, VSUT, e-mail: nikitin-konstantin-wood@yandex.ru.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ПВХ, ОТХОДОВ ПОТОЛОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

Ю.М. Кулаженко, А.Е. Шкуро, О.Е. Биктимирова, П.С. Захаров

Исследована возможность применения смесей поливинилхлорида марки СИ-67 и отходов эксплуатации потолочных ПВХ-панелей, в качестве полимерной фазы полимерных композиционных материалов с использованием древесной муки в качестве наполнителя. В качестве пластификатора применяли дибутиловый эфир фталевой кислоты (дибутилфталат). Смешение компонентов осуществлялось методом вальцевания. Стандартные образцы для испытаний были изготовлены методом прямого прессования. Для полученных образцов композиционных материалов были определены значения основных физико-механических свойств и установлены зависимости этих свойств от содержания в композитах поливинилхлорида марки СИ-67 и отходов эксплуатации потолочных ПВХ-панелей. Установлено, что увеличение содержания полимерной фазы в составе полимерного композиционного материала приводит к значительному росту большинства физико-механических свойств материала. Рост содержания отходов потолочных панелей в полимерной фазе

приводит к росту показателей ударной вязкости и водопоглощения за 24 часа. Найденные закономерности позволяют определять состав полимерной фазы композиционного материал исходя из необходимых для конкретного изделия свойств. Использование смесей поливинилхлорида марки СИ-67 и отходов эксплуатации потолочных ПВХ-панелей позволяет нивелировать низкие показатели твердости, жесткости и прочностных свойств образцов композитов, полученных с использованием в качестве полимерной фазы отходов потолочных панелей. По комплексу физико-механических свойств (за исключением водопоглощения) полимерные композиционные материалы с комбинированной матрицей, содержащей смеси первичного и вторичного поливинилхлорида, превосходят аналоги, полученные на основе первичных полиолефинов (полиэтилен, полипропилен) и незначительно уступают ПКМ с полимерной фазой первичного ПВХ, и могут быть рекомендованы к опытно-промышленной апробации.

Ключевые слова: композит, поливинилхлорид, ПВХ, отходы, потолочные панели, пластификатор, дибутилфталат, физико-механические свойства.

Введение

Мировой выпуск поливинилхлорида составляет 16,5 % от общего выпуска пластмасс. Ассортимент изделий, выпускаемых на основе поливинилхлорида изделий чрезвычайно высок. Они используются в электротехнической, легкой, пищевой промышленности, тяжёлом машиностроении, судостроении, сельском хозяйстве, медицине, в производстве стройматериалов. За счет варьирования состава и степени ориентации из поливинилхлорида может быть получен широкий спектр пленок с различными свойствами

Вследствие высокого содержания хлора в поливинилхлориде, накопление отходов этого полимера является серьезной экологической проблемой. При хранении на свалках или полигонах, и особенно при сжигании отходы поливинилхлорида превращаются высокотоксичные хлорорганические соединения: хлороводород и хлорированные диоксины. В связи с этим актуальность поиска новых методов утилизации поливинилхлорида непрерывно возрастает. Одной из стратегий утилизации отходов ПВХ является их использование в качестве полимерной основы для композиционных материалов.

Использование лигноцеллюлозных для армирования поливинилхлорида имеет несколько целей, в том числе: разработку материалов на основе возобновляемых ресурсов; снижение стоимости композиционного материала по сравнению с исходным полимером; уменьшение усадки; увеличение показателей некоторых эксплуатационных свойств материала, например, предела прочности при изгибе и ударной вязкости.

Известно, что вторичный поливинилхлорид может быть использован в качестве полимерной матрицы для получения полимерных композиционных материалов (ПКМ) с лигноцеллюлозными наполнителями растительного происхождения [1-5]. В работе [5] показана возможность использования отходов потолочных ПВХ-панелей в качестве полимерной фазы для получения композита с древесной мукой.

Низкая стоимость стимулирует использование отходов ПВХ в производстве композиционных материалов. Технологические свойства вторичного поливинилхлорида позволяют перерабатывать его широким спектром методов, в том числе экструзией, каландрованием и прессованием. ПКМ на основе отходов потолочных ПВХ-панелей демонстрируют значительно более низкую твердость и жесткость по сравнению с ПКМ на основе первичного ПВХ

Целью настоящей работы являлось получение и исследование свойств полимерных композиционных материалов с полимерной фазой, полученной смешением первичного и вторичного поливинилхлорида (полученного измельчением и последующей грануляцией вышедших из эксплуатации потолочных панелей). В задачи исследования входило установления влияния содержания компонентов полимерной фазы на показатели основных физико-механических свойств образцов полученных ПКМ на основе вторичного поливинилхлорида.

Методы и материалы

При получении полимерных композиционных материалов в качестве полимерных связующих настоящей работе использовались суспензионный поливинилхлорид марки СИ-67 (первичный) и вторичный поливинилхлорид, полученный измельчением с последующей грануляцией вышедших из эксплуатации потолочных панелей (предоставлен ООО ЭкоПласт-Урал). В качестве наполнителя была применена древесная мука марки 180, производства ООО «Юнайт». В качестве лубриканта применялся

полиэтиленовый воск марки ПВ-200 (ТУ 201610-001-26924977-2018), а в качестве пластификатора - дибутиловый эфир фталевой кислоты (ГОСТ-8728-77). Расход дибутилфталата при пластификации составлял 9 % от массы исходного поливинилхлорида и оставался постоянным для всех проведенных опытов.

В соответствии с представленными в таблице 1 рецептурами компоненты ПКМ, они были смешаны с помощью методом вальцевания при температуре 160 °С. После охлаждения из полученных композиций методом горячего прессования изготавливались ПКМ в форме пластин, из которых готовились стандартные образцы для испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ.

Для полученных композитов были определены показатели следующих свойств: твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии, прочность при изгибе, число упругости, пластичность, ударная вязкость, а также водопоглощение после 24 часов и 30 суток экспонирования в воде.

Таблица 1 – Рецептуры ПКМ

№	Содержание компонента, массовых частей			
	Пластифицированный поливинилхлорид марки СИ-67 (пПВХ)	Отходы эксплуатации потолочных панелей (вПВХ)	Древесная мука	Полиэтиленовый воск марки ПВ-200
1	100,0	0,0	100,0	3,0
2	75,0	25,0	100,0	3,0
3	50,0	50,0	100,0	3,0
4	25,0	75,0	100,0	3,0
5	0,0	100,0	100,0	3,0

Результаты

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ представлены в таблице 2.

По данным регрессионного анализа для доверительной вероятности 0,95 ($P=0,95$) были установлены следующие адекватные экспериментально-статистические зависимости влияния содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.) на 100 массовых частей древесной муки в полученных образцах полимерных композитов на их свойства с коэффициентом детерминации R^2 :

- плотность, кг/м³ (Y_1): $Y_1 = 11,91 \cdot Z_1 + 13,32 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- твердость по Бринеллю, МПа (Y_2): $Y_2 = 0,72 \cdot Z_1 + 0,44 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- модуль упругости при сжатии, МПа (Y_3): $Y_3 = 0,46 \cdot Z_1 + 0,57 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,999$);
- число упругости, % (Y_4): $Y_4 = 0,54 \cdot Z_1 + 0,43 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- пластичность, % (Y_5): $Y_5 = 0,54 \cdot Z_1 + 0,43 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- прочность при изгибе, МПа (Y_6): $Y_6 = 0,42 \cdot Z_1 + 0,17 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,985$);
- ударная вязкость кДж/м² (Y_7): $Y_7 = 0,035 \cdot Z_1 + 0,042 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,993$);
- водопоглощение за сутки, мас. % (Y_8): $Y_8 = 0,016 \cdot Z_1 + 0,047 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,976$);
- водопоглощение за 30 суток, мас. % (Y_9): $Y_9 = 0,096 \cdot Z_1 + 0,21 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,997$).

Таблица 2 – Физико-механические свойства ПКМ

№ Опыта в плане	Плотность, кг/м ³	Твердость, МПа	Число упругости, %	Пластичность, %	Модуль упругости при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Ударная вязкость кДж/м ²	Водопоглощение за 24 ч, %	Водопоглощение за 30 суток, %
1	1260	73,7	46,7	53,3	777	42,1	3,9	1,2	8,7
2	1180	71,1	49,8	50,2	741	36,6	3,7	2,6	13,8
3	1194	49,7	47,5	52,5	461	30,8	3,4	3,0	15,1
4	1298	44,1	54,5	45,5	390	19,5	3,8	4,8	19,1
5	1377	51,5	58,2	41,8	483	19,4	4,6	4,0	20,7

Графики зависимостей физико-механических свойств, полученных полимерных композиционных материалов, представлены на рисунках 1-3.

Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение содержания полимерной фазы в составе ПКМ приводит к значительному росту большинства физико-механических свойств материала. Однако влияние компонентов полимерной фазы на исследуемые свойства проявляется с разной интенсивностью. На показатели твердости по Бринеллю (рисунок 1а), модуля упругости при сжатии (рисунок 2а) и прочности при изгибе (рисунок 3а) более выражено влияние содержания первичного ПВХ. Композиты с высоким содержанием первичного поливинилхлорида более подвержены пластическим деформациям (рисунок 1б) по сравнению с образцами в полимерной фазе которого присутствует только вторичный ПВХ.

Увеличение содержания отходов потолочных панелей в полимерной фазе ПКМ приводит к росту показателя ударной вязкости (рисунок 2б) композита. Более высокая ударная прочность вторичного ПВХ по-видимому связана с высокими нормами расхода пластификатора при производстве потолочных панелей.

Образцы с высоким содержанием вторичного ПВХ демонстрируют значительно более высокие значения показателя водопоглощения за 30 суток по сравнению с образцами, полученными на основе первичного ПВХ. Повышение водопоглощения ПКМ может являться одним из главных факторов, сдерживающим рост широкого промышленного применения отходов потолочных панелей.

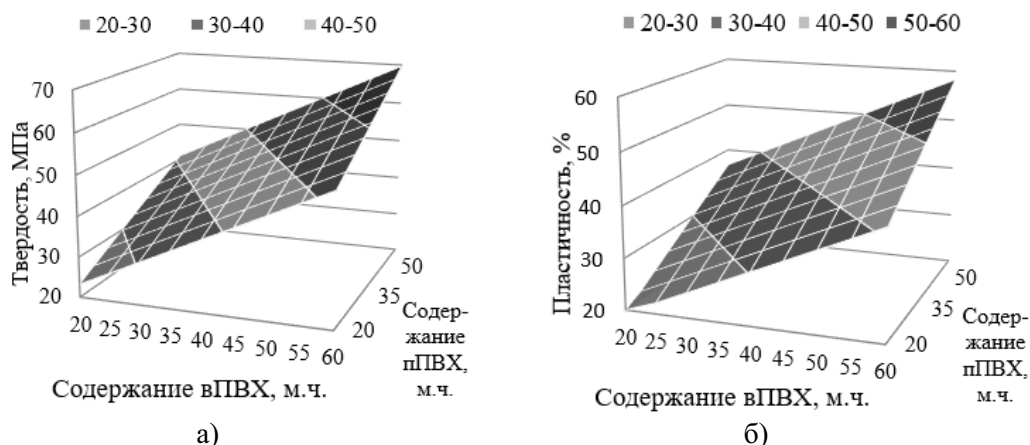


Рис 1. Зависимости твердости по Бринеллю (а) и пластичности (б) образцов ПКМ от содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.)

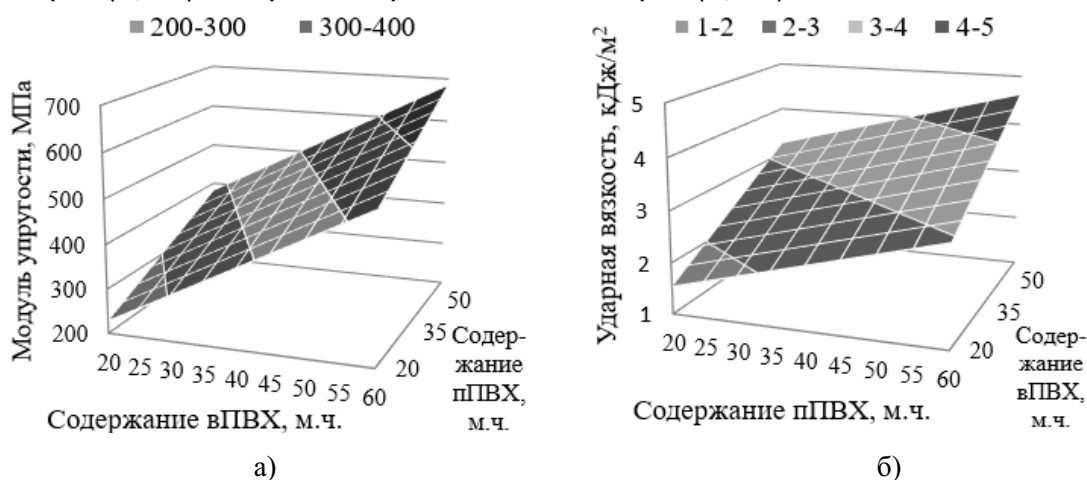


Рис 2. Зависимости модуля упругости при сжатии (а) и ударной вязкости (б) образцов ПКМ от содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.)

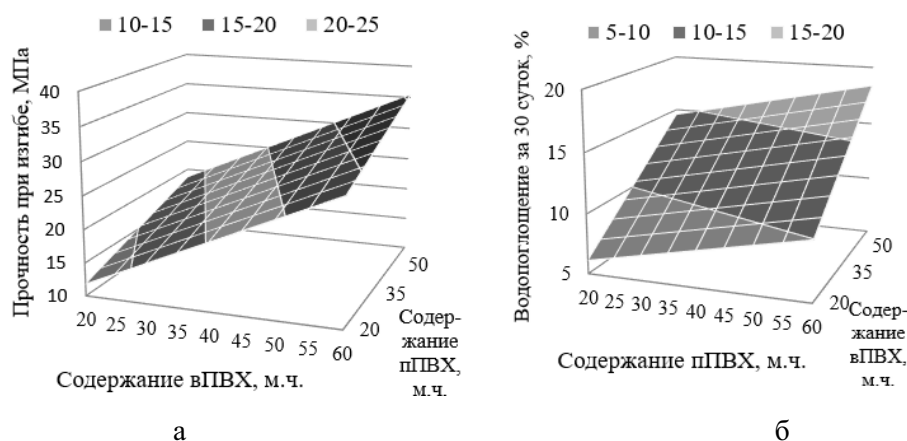


Рис 3. Зависимости прочности при изгибе (а) и водопоглощения за 30 суток (б) образцов ПКМ от содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.)

Заключение

Было проведено исследование возможности использования смеси первичного ПВХ СИ-67 и вторичного ПВХ, полученного измельчением вышедших из употребления потолочных панелей, в качестве полимерной фазы полимерных композиционных материалов.

Были определены значения основных физико-механических свойств образцов ПКМ и установлены зависимости этих свойств от содержания в композитах первичного и вторичного ПВХ. Найденные закономерности позволяют определять состав полимерной фазы ПКМ исходя из необходимых для конкретного изделия свойств, которые могут варьироваться в широких пределах.

Использование смесей первичного и вторичного ПВХ позволяет нивелировать недостатки применения отходов потолочных панелей в качестве полимерной матрицы ПКМ, а именно низкие показатели твердости, жесткости и прочностных свойств. По комплексу физико-механических свойств (за исключением водопоглощения) композиты с рассмотренной комбинированной матрицей превосходят аналоги на основе первичных полиолефинов и незначительно уступают ПКМ с полимерной фазой первичного ПВХ.

Литература

1. Manjunatha M. Role of engineered fibers on fresh and mechanical properties of concrete prepared with GGBS and PVC waste powder – An experimental study / M. Manjunatha, D. Seth, K.V.G.D. Balaji // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. V.47. P. 3683–3693.
2. Merloa A. Mechanical properties of mortar containing waste plastic (PVC) as aggregate partial replacement / A. Merloa, L. L., D. Suarez-Rierab, M. Pavese // *Case Studies in Construction Materials*. – 2020. V.13. e00467
3. Aji M.M. Utilization of waste polyvinyl chloride (PVC) for ultrafiltration membrane fabrication and its characterization / M.M. Aji, S. Narendren, M. K. Purkait, V. Katiyar // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. V.8. 103650.
4. Hilary L.N. Recycling of waste poly(vinyl chloride) fill materials to produce new polymer composites with propylene glycol plasticizer and waste sawdust of Albizia lebbeck wood / L. N. Hilary, S. Sultana, Z. Islam, Md. K. U. Sarker, Md. J.Abedin, M. M. Haque // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. – 2021. V.4. 100221.
5. Чирков Д.Д. Полимерные композиционные материалы на основе отходов потолочных панелей и древесной муки / Д.Д. Чирков, А.Е. Шкуро В.В. Глухих, Ю.М. Кулаженко, П.С. Кривоногов // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2022. №2. 90-96.

©Кулаженко Ю.М. – аспирант кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: kulazhenkoyuliya@mail.ru; Шкуро А.Е. – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru; Биктимирова О.Е. – студент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: olgabiktimirowa@yandex.ru; Захаров П.С. – аспирант кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: zaharovps@m.usfeu.ru.

UDC 678

STUDY OF A COMPOSITE MATERIAL BASED ON PLASTICIZED PVC, WASTE CEILING PANELS AND WOOD FLOUR

Y.M. Kulazhenko, A.E. Shkuro, O.E. Biktimirova, P.S. Zakharov

The possibility of using mixtures of polyvinyl chloride brand SI-67 and waste from the operation of PVC ceiling panels as a polymer phase of polymer composite materials using wood flour as a filler has been studied. Dibutyl ester of phthalic acid (dibutyl phthalate) was used as a plasticizer. The mixing of the components was carried out by rolling. Standard test specimens were made by direct pressing. For the obtained samples of composite materials, the values of the main physical and mechanical properties were determined and the dependences of these properties on the content of SI-67 grade polyvinyl chloride in the composites and waste from the operation of PVC ceiling panels were established. It has been established that an increase in the content of the polymer phase in the composition of the polymer composite material leads to a significant increase in most of the physical and mechanical properties of the material. An increase in the content of ceiling panel waste in the polymer phase leads to an increase in impact strength and water absorption in 24 hours. The regularities found make it possible to determine the composition of the polymer phase of a composite material based on the properties required for a particular product. The use of mixtures of polyvinyl chloride brand SI-67 and waste from the operation of PVC ceiling panels makes it possible to level out the low hardness, rigidity and strength properties of composite samples obtained using ceiling panel waste as a polymer phase. In terms of a set of physical and mechanical properties (with the exception of water absorption), polymer composite materials with a combined matrix containing mixtures of primary and secondary polyvinyl chloride are superior to analogues obtained on the basis of primary polyolefins (polyethylene, polypropylene) and slightly inferior to PCM with a polymer phase of primary PVC, and can be recommended for pilot testing.

Keywords: composite, polyvinyl chloride, PVC, waste, ceiling panels, plasticizer, dibutyl phthalate, physical and mechanical properties.

References

1. Manjunatha M. Role of engineered fibers on fresh and mechanical properties of concrete prepared with GGBS and PVC waste powder – An experimental study / M. Manjunatha, D. Seth, K.V.G.D. Balaji // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. V.47. P. 3683–3693.
2. Merloa A. Mechanical properties of mortar containing waste plastic (PVC) as aggregate partial replacement / A. Merloa, L. L., D. Suarez-Rierab, M. Pavese // *Case Studies in Construction Materials*. – 2020. V.13. e00467
3. Aji M.M. Utilization of waste polyvinyl chloride (PVC) for ultrafiltration membrane fabrication and its characterization / M.M. Aji, S. Narendren, M. K. Purkait, V. Katiyar // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. V.8. 103650.
4. Hilary L.N. Recycling of waste poly(vinyl chloride) fill materials to produce new polymer composites with propylene glycol plasticizer and waste sawdust of Albizia lebbbeck wood / L. N. Hilary, S. Sultana, Z. Islam, Md. K. U. Sarker, Md. J. Abedin, M. M. Haque // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. – 2021. V.4. 100221.
5. Chirkov D.D. Polymer composite materials based on waste ceiling panels and wood flour / D.D. Chirkov, A.E. Shkuro V.V. Glukhikh, Yu.M. Kulazhenko, P.S. Krivonogov // *Wood processing industry*. – 2022. No. 2. 90-96.

© **Kulazhenko Y.M.** – PhD student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: kulazhenkoyuliya@mail.ru; **Shkuro A.E.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru; **Biktimirova O.E.** – student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: olgabiktimirova@yandex.ru; **Zakharov P.S.** – PhD student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: zaharovps@m.usfeu.ru.

УДК 615.322

ОБЗОР МИРОВОГО ОПЫТА В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.В. Сафина, В.В. Губернаторов, Р.Р. Хасаншин

Значительное количество биологически активных соединений и ценных компонентов содержится в различных видах растительного сырья, для эффективного извлечения которых требуются особые способы экстракции. В статье представлен обзор мирового опыта и результаты исследований зарубежных ученых в области оптимизации режимных параметров таких способов экстрагирования, как ультразвуковая, сверхкритическая и микроволновая экстракция, извлечение целевых компонентов под высоким давлением и напряжением. Проведенный анализ позволил выявить факторы, оказывающее влияние на эффективность процесса извлечения ценных компонентов. Ключевыми элементами успешного протекания процесса ультразвуковой экстракции являются используемый экстрагент, размер экстрагируемого материала, мощность и время ультразвука, продолжительность и температура протекания процесса. Рассмотренные многочисленные исследования свидетельствуют о перспективности сверхкритической экстракции растительных материалов, которая позволяет существенно увеличить выход извлекаемых соединений. Подбор типа основного экстрагента наряду с подбором условий извлечения является инструментом решения вопросов оптимизации методики сверхкритической экстракции. Преимущество микроволновой экстракции обуславливает высокая скорость процесса при небольшом расходе растворителя. При этом необходимо контролировать температуру, мощность микроволн и время экстракции, чтобы избежать разложения термочувствительных соединений. Определение оптимальных параметров процесса экстракции под давлением осуществляется для конкретного растительного материала с учетом подбора экстрагента для возможности растворения желаемых активных соединений. Наименее изученным является способ экстрагирования под напряжением вследствие сложности аппаратного оформления. При этом в исследованиях отмечено, что необходимо оптимизировать такие параметры, как напряжение электрического поля и время экстракции, чтобы обеспечить высокую степень разрушения клеточной стенки, не вызывая деградации активных соединений. Проведенный обзор отражает современное состояние и перспективы развития экстракционных технологий в разрезе мировых научных исследований, которые направлены на повышение количества и качества выхода экстрактивных веществ с наименьшими сырьевыми и энергетическими затратами.

Ключевые слова: экстракция, растительное сырье, способы экстрагирования, зарубежные исследования.

Введение

Непростая эпидемиологическая обстановка в мире обуславливает возросший интерес потенциальных потребителей к продуктам и медицинским препаратам, созданных на основе натурального растительного сырья. Это непосредственно связано с тем, что растительные компоненты и более безопасны, полезны и экологичны по отношению к искусственно синтезированным. На сегодняшний день многие производители стараются привлечь большее количество потребителей именно за счет использования природных органически соединений в своих продуктах, а также ведут активный поиск новых, которые заменят химически синтезированные. Многочисленные виды растений являются источниками содержания биологически активных веществ, в которые входят фенольные соединения, кислоты, флавоноиды, алкалоиды, полисахариды и эфирные масла [1-3]. Данные вещества применяются в различных отраслях промышленности, связанных с жизнедеятельностью организма человека, однако условия произрастания и способы экстрагирования напрямую влияют на качество и количество извлекаемых веществ [4].

Все ценные биологически активные компоненты растений содержатся внутри их растительной структуры, исходя из этого в каждом случае необходимо подбирать определенные способы извлечения тех или иных веществ. Оптимизация параметров процесса должна быть проведена для повышения эффективности экстракции, снижения потребления растворителей и затрачиваемой энергии [5,6]. Успешная практическая реализация того или иного способа экстракции растительного сырья невозможна

без фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований, учета существующего опыта разработки методов интенсификации экстракционных процессов, а также оптимизации и управления процессами экстракции [7].

В настоящее время отечественными исследователями накоплен значительный опыт извлечения биологически активных веществ из растительного сырья и применяются различные способы экстрагирования [8-10]. Однако для разработки современных методов и инструментов интенсификации экстракционных технологий необходимо учитывать опыт зарубежных исследователей, добившихся хороших результатов в вопросах повышения селективности извлечения ценных компонентов, оптимизации режимных параметров и создания высокоэффективных технологических схем и аппаратов.

Целью настоящего исследования является обзор мирового опыта и современных тенденций развития зарубежной практики в области оптимизации технологий извлечения ценных компонентов из растительного сырья.

Обзор зарубежных исследований в области извлечения целевых компонентов из растительных материалов

Ультразвуковая экстракция.

Одним из перспективных направлений модернизации процессов экстракции растительного сырья, является экстракция с применением ультразвука. Данный вид экстракции основан на процессе кавитации экстрагента, благодаря чему осуществляется разряжение внутри растительного материала и высвобождение экстрактивных веществ через экстрагент. Достаточно большое количество исследований показали, что применение ультразвука в классических экстракционных процессах позволяет интенсифицировать извлечения биологически активных веществ из самого растительного материала. Так, например, в работе [11] было установлено, что при экстракции активных соединений из оливковой выжимки применение ультразвука может быть более эффективно с точки зрения массо- и теплопередачи по отношению микроволновой и экстракции в аппарате Сокслета. Было также отмечено, что ультразвуковое воздействие позволяет повысить антиоксидантную активность получаемых веществ, а также спровоцировать выход специфических природных соединений.

В работе [12] провели сравнительный анализ классических способов извлечения экстрактивных веществ из *Elsholtzia ciliata* по отношению к ультразвуковому. Исследования показали, что экстракция с ультразвуком позволила не только увеличить выход и активность получаемых веществ, но и получить 13 новых фенольных соединений. Также были определены рациональные параметры ультразвуковой экстракции: в качестве экстрагента использовался 70% раствор этанола, выдержка осуществляется при 25 °C в течение 30 минут.

В работе [13] было проведено исследование влияния ультразвуковой экстракции на выход камптотецина из *Nothapodytes nimmoniana*. Установлено, что при этом увеличивается выход камптотецина до 78 % относительно 46,5 %, полученных классической экстракцией путем перемешивания. Также было отмечено, что данный вид экстракции позволил сократить временные и энергетические затраты, а также сократить количество используемого экстрагента. А в работе [14] проводилось исследование влияния интенсивности ультразвука на выделение камптотецина из *Nothapodytes nimmoniana*. Исследователи установили, что с повышением интенсивности ультразвука с 76,4 до 191 Вт/см² происходило повышение выхода камптотецина в 1,7 раз.

В работе [15] изучалось влияние классической водной экстракции и водной ультразвуковой экстракции на выход олеаноловой и урсоловой кислоты из листьев *Scutellaria barbata*. Исследования показали, что экстракция ультразвуком сократила временные и энергетические затраты, а также увеличила выход необходимых кислот. Оптимальными условиями предлагаемого способа экстракции являлись: мелкий объем экстрагируемых частиц (0,2-0,5 мм), гидромодуль 12:1 и выдержка материала в экстрагенте (60 % раствор этанола) в течение 25 минут, при постоянной температуре 55 °C.

В работе [16] исследовалось влияние ультразвуковой экстракции на выход свободных и связанных фенолов, а также β -глюкана из обезжиренных отрубей овса. Исследования показали, что ультразвуковая экстракция способствует сокращению временных затрат и высокому выходу свободных фенолов с высокой антиоксидантной активностью, по сравнению с классическим способом экстракции. Однако значительно понижается содержание связанных фенолов по сравнению с той же классической водной экстракцией. Более того, кинетика экстракции свободных фенольных соединений в обезжиренных овсяных отрубях была в большей степени улучшена за счет повышения температуры экстракции в то

время, как связанные фракции были уменьшены. Ультразвуковая экстракция позволила интенсифицировать процесс на начальной стадии, но дальнейшее влияние оказывали температура процесса и продолжительность выдержки в экстрагенте. И, все-таки экстракция с применением ультразвука позволила увеличить выход β -глюкана на 37 % относительно классического процесса настаивания.

В работе [17] осуществлялась подборка рациональных параметров ультразвуковой экстракции стевиозида из листьев *Stevia rebaudiana Bertoni*. Ультразвуковую экстракцию оптимизировали путем изменения различных параметров процесса и использования модели Пелега в качестве математического инструмента. Удалось установить, что максимальный выход стевиозида осуществлялся при следующих режимных параметрах: размер частиц растительного порошка - 0,075 мм, гидромодуль 1:30, в качестве экстрагента применялся глицерин, температура экстракции 70 °С, мощность ультразвука 200 Вт при частоте 20 кГц. Было установлено, что экстракция стевиозида с помощью ультразвука помогает достичь наибольшего выхода вещества относительно экстракции в аппарате Сокслета и классической мацерации, а данные, полученные экспериментальным путем, практически сопоставимы с расчетными.

В работе [18] осуществлялась оптимизация процесса ультразвуковой экстракции артемизинина из *Artemisia ánnua*. Содержание артемизина в экстрактах определяли с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), а для оптимизации процесса использовали методологию поверхностного отклика (RSM). В качестве точек использовались 3 независимые переменные: гидромодуль, температура протекания процесса и мощность ультразвука, которые оценивали с использованием экспериментального проекта Бокса-Бенкена. Прогнозируемый выход артемизинина составлял 0,7848 %, тогда как фактический выход в экстрактах составлял $0,7826 \pm 0,0790$ %. Исходя из этого, удалось подобрать оптимальные параметры протекания процесса ультразвуковой экстракции: соотношение растворителя к материалу 42,71 мл/г, температура экстракции 41,86 °С, мощность ультразвука 120 Вт.

В работе [19] были подобраны рациональные параметры комбинированного способа экстракции биологически активных веществ из *Olea europaea*, который включал в себя настаивание экстракта при периодическом воздействии на него микроволн и ультразвука. Исследования показали, что предлагаемый способ экстракции позволил увеличить выход экстрактивных веществ, однако усложнилась технология протекания самого процесса. В результате эксперимента были получены следующие параметры: концентрация этанола 90 %, температура экстракции 50 °С, время экстракции 5 мин, соотношение жидкости и твердого вещества 30 мл/г, интенсивность ультразвука 135,6 Вт/см² и частота ультразвука 60 кГц.

Из всего вышеперечисленного можно заключить, что ультразвуковая экстракция обладает рядом преимуществ, таких как простота исполнения, сокращение временных затрат и затрат экстрагента, достаточно неплохой выход биологически активных веществ и экологичность процесса. Для успешного протекания ультразвуковой экстракции необходимо учитывать следующие факторы: используемый экстрагент, экстрагируемый материал, мощность и время ультразвука, а также температура протекания процесса. Однако для исключения полного разрушения структуры экстрагируемого материала и образования избыточных гидроксильных радикалов, которые могут вызвать деградацию активных соединений, необходимо контролировать силу ультразвука.

Сверхкритическая жидкостная экстракция.

Экстракция при особых условиях (выше критических параметров температуры и давления) получила название «сверхкритическая флюидная экстракция» и в настоящее время является перспективной альтернативой обычным методам жидкостной экстракции. Когда вещество нагревается до температуры, превышающей его критическую температуру, и сжимается при давлении, превышающем его критическое давление, оно находится в сверхкритическом состоянии. Сверхкритическую жидкость нельзя отличить от жидкости или газа, так как она обладает низкой вязкостью, как газ, и высокой плотностью, как жидкость. Сверхкритическая жидкость может легко проникать в капилляры и поры растительных материалов, сольubilизировать активные соединения и переносить их в объем растворителя. В качестве экстрагента в основном используют диоксид углерода CO₂, так как он инертен, не горюч, нетоксичен, доступен и легко отделяется от сырьевого материала. Полученные экстракты имеют не высокий выход по сравнению с экстрактами, полученными по классическим технологиям, однако они отличаются большей чистотой извлекаемых веществ и высокой антиоксидантной активностью.

В работе [20] исследовалось влияние различных типов экстракции на извлечение масел из семян пойменных деревьев, произрастающих в лесах Амазонки. Масло получали двумя способами: сверхкритической экстракцией и экстракцией в аппарате Сокслета. Сверхкритическую экстракцию проводили при температуре 40, 60 и 80 °С, давлении 350 бар в течение 3,5 часов. Экстракцию в аппарате Сокслета проводили при температуре 55 °С в течение 4 часов с использованием петролейного эфира в качестве экстрагента. Проведенные исследования установили, что сверхкритическая экстракция диоксидом углерода, проводимая при температуре 80 °С, позволила увеличить выход масла из семян и улучшить его ингибирующую активность.

Сверхкритическая экстракция антиоксидантов из *Agave salmiana* анализировалась в работе [21]. Исследования установили, что повышение давления жидкости способствует более быстрому растворению CO₂, а повышение температуры экстракции выше 50 °С увеличивает скорость массопереноса, но уменьшает способность сольватации частиц. Также в работе [22] было установлено, что высокая температура сверхкритической экстракции оказывает негативное влияние на выход экстрактивных веществ при более низком давлении и положительное влияние - при более высоком давлении. А в работе [23] наилучшие показатели процесса извлечения биоактивных соединений из корня эфиопского растения *Rumex abyssinicus* (*mekmeko*) наблюдались при более высоком давлении и более низкой температуре.

В работе [24] было проведено исследование субкритической водной экстракции транс-ресвератрола и его гликозилированной формы – транс-пикеида, полученного из коры *Shorea roxburghii*. Результаты исследования показали, что сверхкритическая экстракция способствовала большему выходу транс-ресвератрола и транс-пикеида относительно классической экстракции в аппарате Сокслета. Также было отмечено что, с увеличением скорости потока и температуры количественное содержание данных веществ увеличилось и составляло 23,18 и 350,28 мкм/г сухого веса, соответственно. Были установлены рациональные параметры для успешного протекания процесса экстракции: температура экстракции 190 °С при скорости потока воды 3 мл/мин.

В работе [25] рассматривалось влияние сверхкритической экстракции CO₂ на выход эфирных масел из семян японского перца, кардамона и фенхеля, а также их активность. Полученные результаты были сопоставлены с классическими способами извлечения - гидродистилляция и экстракция в аппарате Сокслета. Результаты проведенных исследований показали, что в процессе сверхкритической экстракции наблюдается увеличение выхода и антирадикальной активности перца и кардамона в отличие от гидродистилляции и экстракции в аппарате Сокслета. Показатели активности семян фенхеля были ниже, но все же превышали показатели, полученные с помощью классических способов экстракции.

В работе [26] исследовалось влияние сверхкритической экстракции плодов *Schinus terebinthifolius* на его антипролиферативную активность. Исследования показали, что экстракты, полученные в диапазоне температур 50-60 °С не зависимо от давления, имели высокую антипролиферативную активность, препятствующую развитию раковой клетки почки с общим ингибированием роста <3,9 мкг/мл. Экстракты, полученные при давлении 200 бар и температуре экстракции 50 °С, были эффективны против опухоли яичников и предстательной железы. Исследования также показали, что с увеличением давления с 10 МПа до 30 МПа выход экстрактивных веществ увеличился с 3,08 % до 13,7 %.

В работе [27] было исследовано влияние предварительного холодного прессования бутонов гвоздики перед сверхкритической экстракцией. Исследования показали, что процесс подготовки сырьевого материала путем предварительного холодного прессования позволил увеличить выход четырех основных соединений, идентифицированных в экстрактах до 22,2%.

В работе [28] были получены оптимальные параметры сверхкритической экстракции *Folia salviae*: температура процесса 280 °С, поддерживаемая в течение 110 минут и 11 % концентрация этанола. Полученное масло имело высокое содержание сложных эфиров, кислот и фенолов, которые активно применяются в различных отраслях промышленности.

Сверхкритическая экстракция является одним из наиболее изучаемых и применяемых процессов экстракции растительного сырья, которая позволяет увеличить выход извлекаемых соединений. Основным недостатком данного способа является его непригодность для извлечения полярных соединений. Также следует отметить, что выход экстрактивных веществ может увеличиваться с повышением давления экстракции. Однако, это может привести к снижению селективности экстракта и содержанию различных примесей. Управление растворяющей способностью за счет плотности флюида

позволяет осуществлять селективное извлечение ценных компонентов и увеличивать диапазон выхода экстрактивных веществ.

Сверхвысокочастотная или микроволновая экстракция.

Микроволны – это электромагнитное излучение, несущее в себе огромное количество энергии, которое протекает в диапазоне длин волн от 1 мм до 1 м и частотой от 300 ГГц до 300 МГц. Микроволновый нагрев в сверхвысокочастотном поле обуславливает непрерывное выравнивание полярных молекул, таких как вода в соответствии с колеблющимся электромагнитным полем. Это дипольное вращение заставляет вращающиеся молекулы сталкиваться с соседними молекулами и передавать им энергию. В связи с чем, экстракция с помощью микроволнового излучения способна разрушать клеточную стенку растения и высвобождать активные соединения. На сегодняшний день по данной тематике проведено достаточно большое количество исследований, которые показали, что применение микроволнового излучения в процессе экстракции растительного сырья позволяет интенсифицировать процесс и сокращать временные затраты. Также было отмечено, что данный тип экстракции позволяет использовать меньшее количество экстрагента по сравнению с классическими способами [29, 30].

В работе [31] был проведен сравнительный анализ микроволновой, ультразвуковой и классической экстракции листьев *Eucalyptus globulus*. Проведенные исследования показали, что все экстракты практически сопоставимы по концентрации и содержанию биологически активных веществ, однако микроволновое излучение позволило сократить в 2 раза время экстракции относительно ультразвукового способа и в 4 раза относительно классического.

В работе [32] также проводились исследования влияния различных способов экстракции на извлечение экстрактивных веществ из кожуры лесного ореха. Экстракцию проводили классической мацерацией, с помощью ультразвука, сверхкритическим способом и с применением микроволнового излучения. Исследования показали, что микроволновая экстракция позволила за 6 минут извлечь экстрактивные вещества в объеме, равном при экстрагировании ультразвуком за 45 минут, сверхкритической экстракции – за 60 минут и 24 часа при классической мацерации. При этом было отмечено, что для протекания процесса микроволновой экстракции потребовалось меньшее количество экстрагента.

В работе [33] исследовалось влияние микроволнового излучения на выход экстрактивных веществ из шести видов тайских съедобных растений. Самый высокий выход фенолов наблюдался в экстракте из листьев *Caesalpinia mimosoides* (377,47 мг ГАЕ/г), а самое высокое содержание танинов в экстракте *Polygonum odoratum*, наибольшую антиоксидантную активность проявили экстракты, полученные из листьев *Careya arborea* (73,54 мм FeSO₄/100 г).

В работе [34] также было исследовано влияние микроволновой экстракции на различные виды растений, однако авторами были рассмотрены еще и условия произрастания. Установлено, что экстракты, полученные из *Thymus fontanesii* и привезенные из Макаронезии, имели повышенное содержание свободных фенолов в отличие от экстрактов, привезенных из северо-западной Африки. А экстракты из *Thapsia garganica*, собранные в Северной Африке и на Балеарских островах, имели достаточно значительные различия антиоксидантной активности.

Исследования по подбору экстрагента и его оптимального соотношения, что позволяло изменить диэлектрическую проницаемость и интенсифицировать микроволновую экстракцию, проводились в работе [35]. Установлено, что в качестве экстрагента целесообразно использовать этанол и чистый метанол. В работе [36] протестировали водный метанол и этанол для экстракции активных соединений из кожуры граната и пришли к выводу, что 50 %-ный этанол является наиболее подходящим растворителем для данного типа экстракции. Также было установлено, что разбавленный спирт способен извлекать активные соединения с более широким диапазоном полярности, в отличие от чистого.

В работе [37] было установлено, что увеличение мощности микроволнового излучения, а также времени экстракции способствовало увеличению выхода биологически активных веществ из *Hibiscus sabdariffa*. Также было отмечено, что увеличение мощности сверхвысокочастотного нагрева способствовало более высокой степени разрушения структуры растения при более низкой вязкости экстрагента.

Основными преимуществами сверхвысокочастотной или микроволновой экстракции являются короткое время экстракции и низкое потребление растворителя. Однако необходимо контролировать

температуру, мощность микроволн и время экстракции, чтобы избежать разложения термочувствительных соединений.

Экстракция под давлением.

При жидкостной экстракции под давлением растворители нагревают выше их атмосферных температур кипения и поддерживают под высоким давлением, чтобы они сохранялись в жидком состоянии, следовательно, растворители, используемые в экстракции под давлением, являются подкритическими жидкостями. Эти подкритические жидкости имеют пониженную вязкость и поверхностное натяжение, что позволяет им легче проникать в растительные материалы и растворять больше активных соединений. Когда в качестве растворителя используется вода, это называется экстракция подкритической жидкости. Обычно вода является полярным растворителем, который может извлекать различные полярные вещества. Однако вода в докритическом состоянии имеет пониженную диэлектрическую проницаемость, так что ее полярность становится аналогичной этанолу и метанолу. Это позволяет воде заменять органические растворители в качестве альтернативы для извлечения веществ с низкой полярностью.

В работах [38, 39] рассматривалось влияние экстракции под высоким давлением при извлечения активных соединений из различных растительных материалов. Проведенные исследования установили, что данный вид экстракции позволяет сократить временные затраты и получать вещества с высокими антиоксидантными характеристиками, сопоставимыми при получении сверхкритической флюидной экстракцией. Так же было отмечено, что экстракция под высоким давлением позволила получить экстракты с повышенным содержанием фенолов и танинов, относительно экстракции с применением ультразвука, микроволнового излучения и сверхкритической экстракции.

В другой работе [40] проводилась оценка эффективности экстракции различных веществ из кожуры *Feijoa (Acca sellowiana (O. Berg) Burret)*. Экстракцию проводили под высоким и низким давлением, в качестве сравнения была проведена экстракция в аппарате Сокслета. Исследования показали, что в процессе экстракции в аппарате Сокслета и экстракции под высоким давлением получены сопоставимые значения по выходу экстрактивных веществ. Однако, экстракция под высоким давлением позволила сократить временные затраты на 5 часов и увеличить содержание фенолов практически в 3 раза относительно классической экстракции.

Сравнительный анализ экстрактов, полученных из различных частей *Lupinus albus* был проведен в работе [41]. Экстракты получали под высоким давлением с применением в качестве растворителя сверхкритического CO₂ (150, 200 и 250 бар и температуре 40, 50 и 60 °C, соответственно) и сжиженного нефтяного газа (15, 25 и 30 бар и температуре 25, 35 и 45 °C, соответственно). Проведенные исследования показали, что в зависимости от растворителя, температуры и давления экстракции изменялся и состав получаемых экстрактов. Однако наибольшее влияние оказывали части самого растения. Так, например, из корней был получен самый большой выход стигмастерола (50,8 %) и эргостерола (25,6 %) а из цветка всего 1,2 % обоих веществ. Проведенные исследования также позволили идентифицировать другие соединения, такие как тетракозанол, пентадекановая кислота и эйкозанол.

Анализ влияния различных экстрагентов на процесс экстракции *Cáthamus tinctorius* под высоким давлением был проведен в работе [42]. В качестве экстрагентов использовались метанол, этанол и гексан. Было установлено, что этанол является наиболее эффективным растворителем, так как оказывает наибольшее влияние на структуры пор клеток, позволяя извлекать больше активных соединений.

В работе [43] исследовалось влияние давления (1-9 МПа) на экстракцию активных соединений из *Matricaria chamomilla* при 100 °C. Было установлено, что наиболее подходящими параметрами давлениями являются 3 и 4,5 МПа, так как полученные экстракты имели повышенное содержание фенолов и хорошие показатели антиоксидантной активности.

Влияние концентрации растворителя на выход экстрактивных веществ *Sinopodophyllum hexandrum* при экстрагировании под высоким давлением жидкости проанализировано в работе [44]. Исследования показали, что наилучшая концентрация должна осуществляться относительно каждого растительного сырьевого материала, а растворитель не должен быть слишком разбавленным, чтобы не допускать деградацию биологически активных веществ.

Процесс экстракции под высоким давлением позволяет увеличивать выход активных веществ из определенного вида растительных материалов. Для успешного протекания процесса экстракции необходимо учитывать: растворитель и его концентрацию, время и температуру процесса, применяемое

давление. При этом оптимальные параметры процесса необходимо подбирать под конкретный растительный материал. Экстрагенты должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить возможность растворения большого количества желаемых активных соединений.

Экстракция с помощью высокого напряжения.

Экстракция с помощью высокого напряжения предполагает, что к клеткам прикладываются импульсы высокого напряжения с очень коротким временем. Вследствие этого разрушаются липидные бислои клеточной мембраны, образуя временные поры, которые значительно увеличивают массообмен между внутренней и внешней частями клеток. Это явление известно, как электропорация. Исследования показали, что импульсное электрическое поле может усиливать извлечение активных соединений из растительного сырья.

В работе [45] исследовали процесс экстракции под высоким напряжением для извлечения активных соединений из апельсиновой выжимки. Проведенные исследования показали, что для разрушения клеточной стенки сырьевого материала и повышения выхода экстрактивных веществ требовалось достаточно длительное время настаивания. Однако, длительная экстракция вызывала образование озона и свободных радикалов, которые окисляли активные соединения и снижали выход экстракции. Увеличение напряжения позволило более интенсивнее разрушить клеточную стенку материала и, тем самым, ускорить процесс извлечения. При этом чрезмерное повышение напряжения экстракции также вызывало образование озона и свободных радикалов в экстрактах, а также препятствовало извлечению активных веществ. Исходя из этого были подобраны следующие рациональные параметры процесса: в качестве растворителя использовалась дистиллированная вода с растворенной до 1,5 % пектизанной кислотой, экстракцию проводили в течение 10 минут при поддержании постоянной температуры 25 °C и напряжения 18 кВ. Данные параметры позволили получить экстракты с высоким содержанием фенолов и показателями биологической активности.

В работе [46] исследовали влияние экстракции под высоким напряжением на выход биологически активных веществ из коричневого риса. В качестве оптимального растворителя был выбран 40 % раствор ацетона. Экстракцию проводили при температуре 20-23 °C, длительности импульса 100 мс повторяющегося с частотой 5 Гц. Исследования показали, что полная проницаемость структуры сырьевого материала наблюдалась при увеличении интенсивности электрического поля с 1 кВ/см до 2 кВ/см. Далее эффект не наблюдался. Было установлено, что экстракция под высоким напряжением позволила получить экстракты с высокими показателями антиоксидантной активности.

Интенсивность процесса экстракции из *Agaricus bisporus* под высоким напряжением исследовалась в работе [47]. Было установлено, что увеличение интенсивности электрического тока с 12,4 кВ/см до 38,4 кВ/см и частоты с 400 до 800 Гц позволило значительно повысить выход биологически активных веществ. Экстракты, полученные данным способом, имели очень высокую концентрацию свободных фенолов в отличие от экстрактов, полученных классическим настаиванием.

Система непрерывного высоковольтного электрического разряда, позволяющая получать активные соединения из кожуры граната, протестирована в работе [48]. Напряженность электрического поля регулировалась путем изменения расстояния между электродами. Исследования показали, что выход экстракции увеличивался при повышении напряженности электрического поля с 18 кВ/см до 30 кВ/см. Дальнейшее увеличение интенсивности с 30 кВ/см до 45 кВ/см привело к снижению выхода экстрактивных веществ, вероятно, из-за разрушения структур активных соединений. Порошок кожуры граната, растворенный в воде, пропускали через экстракционную камеру. При увеличении скорости потока толщина пограничного слоя уменьшалась и получался более высокий выход биологически активных веществ. Дальнейшее увеличение скорости потока уменьшало выход, поскольку скорость раствора была слишком высокой для достижения равновесия экстракции. Для растворения активных соединений необходим достаточный объем растворителя, но избыточный растворитель поглощает энергию из системы и снижает выход. Исходя из этого, оптимальными параметрами процесса считались: скорость потока 12 мл/мин, гидромодуль 35 мл/г, интенсивность тока 29 кВ/см при зазоре между электродами 3,1 мм.

Высоковольтное электрическое поле может быть использовано для разрушения структур растений за очень короткое время, чтобы способствовать высвобождению активных соединений. Следовательно, этот метод обладает потенциалом для улучшения извлечения активных соединений из различных растительных материалов. Основными факторами, которые необходимо учитывать при проектировании

высоковольтной экстракции, являются напряженность или напряжение электрического поля и время экстракции. Эти факторы должны быть оптимизированы, чтобы обеспечить высокую степень разрушения клеточной стенки, не вызывая деградации активных соединений. Также следует учитывать объем растворителя, скорость потока, частоту электрического поля и температуру экстракции. Как показал проведенный обзор, данный метод экстракции широко не изучен, вероятно, из-за его сложности и соображений безопасности.

Заключение

В работе рассмотрен мировой опыт и результаты исследований зарубежных ученых по вопросам интенсификации процессов экстракции растительного сырья и оптимизации режимных параметров. Проведенный обзор научных исследований свидетельствует об эффективности таких способов экстракции, как ультразвук, микроволновая экстракция, экстракция под высоким напряжением и давлением, которые позволяют существенно увеличить выход экстрактивных веществ с высокими показателями активности. Рассмотренные многочисленные исследования каждого из способов свидетельствуют о перспективности данных направлений.

Представленные способы экстрагирования во многом нацелены на эффективное разрушение структуры растения, позволяющие высвободить больше активных соединений из растительных матриц материала. Как показал проведенный анализ, одним из основных факторов, влияющих на эффективность процесса извлечения, является используемый экстрагент, так как он может способствовать наилучшему выделению того или иного вещества или разрушать непрочные соединения молекул.

Важную роль для успешного протекания процесса экстракции играют время выдержки и температура, так как время должно быть достаточным, чтобы экстрагировать большинство активных соединений из сырьевого материала, а температура не должна разрушать структуру и другие вещества относительно извлекаемых. Во многих современных исследованиях рассматривается влияние размера частиц на выход экстрактивных веществ из сырьевого материала. Исследования показали, что наибольший выход экстрактивных веществ наблюдался при использовании частиц сырья меньшего размера, однако слишком маленький размер частиц может образовать порошкообразную форму в виде осадка и не раствориться.

На сегодняшний день, не существует единого универсального способа экстракции растительного сырья, позволяющего в полной мере извлечь все необходимые биологически активные вещества из материала. Как правило, каждый способ экстракции нацелен на решение конкретной задачи в зависимости от назначения экстрактов и их дальнейших продуктов.

Обобщая вышеизложенное, можно утверждать, что, несомненно, опыт зарубежных ученых является полезным в общем направлении интенсификации процессов извлечения целевых компонентов из сырья растительного происхождения и решения задач по оптимизации экстракционных технологий.

Литература

1. Hosseini S. Effects of Plant Extracts and Bioactive Compounds on Attenuation of Bleomycin-Induced Pulmonary Fibrosis / S. Hosseini, M. Imenshahidi, H. Hosseinzadeh, G. Karimi // *Biomed. Pharmacother.* 2018, 107, 1454–1465. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.08.111.
2. Сафин Р.Г. Обзор современных исследований в области извлечения биологически активных веществ из березового гриба чага для фармацевтических и пищевых отраслей промышленности / Р.Г. Сафин, В.В. Губернаторов, А.В. Сафина, М.В. Хузеев // *Деревообрабатывающая промышленность.* 2019. № 3. С. 93-103.
3. Губернаторов В.В. Применение чаги в медицине и биомедицинских технологиях / В.В. Губернаторов, Р.Р. Хасаншин, Р.Р. Сафин // В сборнике: Молодежь и XXI век - 2017. материалы VII Международной молодежной научной конференции: в 4 томах. 2017. С. 296-298.
4. Разумов Е.Ю. Влияние условий произрастания на качественные показатели чаги / Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин, К.В. Саерова, В.В. Губернаторов, А.Е. Губернаторова // *Деревообрабатывающая промышленность.* 2018. № 2. С. 51-57.
5. Chemat F. Green Extraction of Natural Products. Origins, Current Status, and Future Challenges / F. Chemat, M. Abert-Vian, A. S. Fabiano-Tixier, J. Strube, L. Uhlenbrock, V. Gunjevic, G. Cravotto // *Trends Anal. Chem.* 2019, 118, 248–263. DOI: 10.1016/j.trac.2019.05.037.

6. Perin S. Green Process Intensification Techniques for Bio-Refinery / S. Perino, F. Chemat // Curr. Opin. Food Sci. 2019, 25, 8–13. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.12.004.
7. Исмаилов Л.Ю. Обзор исследований в области интенсификации процессов экстракции растительного сырья / Л.Ю. Исмаилов, А.В. Сафина, // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 2. С. 85-101.
8. Гуськов А.А. Совершенствование технологии и технических средств экстрагирования растворимых веществ из растительного сырья / А.А. Гуськов // Мичуринск-наукоград РФ. – 2019. – С. 4-10.
9. Рудобашта С.П., Казуб В.Т., Кошкарова А.Г. Водное экстрагирование сырья под воздействием импульсного электрического поля высокой напряженности // Агроинженерия. 2016. - №4 (74). - С. 16-21.
10. Белокуров С.С., Флисюк Е.В., Наркевич И.А., Лужанин В.Г., Шилов С.В., Новикова К.О. Сравнительный анализ перспективных методов экстрагирования для получения извлечений из семян пажитника сенного // Фармацевтическая технология. 2019. - № 3 (8). - С. 49-55.
11. Rodsamran P. Extraction of Phenolic Compounds from Lime Peel Waste Using Ultrasonic -Assisted and Microwave-Assisted Extractions / P. Rodsamran, R. Sothornvit // Food Biosci. 2019, 28, 66–73. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.01.017.
12. Pudziulyte L. Extraction Methods for Phenolic and Volatile Compounds Recovery from *Elsholtzia ciliata* Fresh and Dried Herbal Materials / L. Pudziulyte, V. Jakstas, L. Ivanauskas, A. Laukeviciene, et al // Crops Prod. 2018, 120, 286–294. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.04.069.
13. Juarez J.A. New high intensity ultrasonic technology for food dehydration/ J.A. Juarez, G.R. Corral, J.C. Moraleda, T.S. Yang //Drying Technol. – 1999. – 17. – P. 587-608.
14. Dhiraj M. Patil. Ultrasound-assisted rapid extraction and kinetic modelling of influential factors: Extraction of camptothecin from *Nothapodytes nimmoniana* plant / M. Patil Dhiraj, G. Akamanchi Krishnacharya // Ultrasonics Sonochemistry Volume 37. – July 2017, – Pages 582-591.
15. Yu-Chiao Y. Simultaneous extraction and quantitation of oleanolic acid and ursolic acid from *Scutellaria Barbata* D. don by ultrasound-assisted extraction and high-performance liquid chromatography / Yu-Chiao, Y., Ming-Chi Wei, Fan-Yu Lian // Chemical Engineering Communications. – 2014. Vol. 201. – Issue 4. – P. 482 - 500.
16. Chao Chen. Ultrasound-assisted extraction from defatted oat (*Avena sativa* L.) bran to simultaneously enhance phenolic compounds and β -glucan contents: Compositional and kinetic studies / Chao Chen, Li Wang, Ren Wang, Xiaohu Luo, Yongfu Li, Juan Li, Yanan Li, Zhengxing Chen // Journal of Food Engineering Volume 222, - April 2018, Pages 1-10.
17. Morteza Rouhani Modeling and optimization of ultrasound-assisted green extraction and rapid HPTLC analysis of stevioside from *Stevia Rebaudiana* / Industrial Crops and Products Volume 132, June 2019, Pages 226 - 235.
18. Zhang H. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Artemisinin from *Artemisia annua* L. by Response Surface Methodology / H. Zhang, L. Zhang, X. Hu, Y. Zhou, C. Ding, R. Yang, X. Wang, D. Li // Separation Science and Technology. – 2014. – Vol. 49. – Issue 5. – P. 673-681.
19. Xie P. Cheng J. Enhanced Extraction of Hydroxytyrosol, Maslinic Acid and Oleanolic Acid from Olive Pomace / P. Xie, L. Huang, C. Zhang, Y. Deng, X. Wang, J. Cheng // Process Parameters, Kinetics and Thermodynamics, and Green-ness Assessment. Food Chem. – 2019. – Vol. 276. – P. 662–674.
20. Cordeiro R.M. Supercritical CO₂ extraction of ucuúba (*Virola surinamensis*) seed oil: global yield, kinetic data, fatty acid profile, and antimicrobial activities / R.M. Cordeiro, A.P. Silva, R.H. Pinto, W.A. Costa, S.H. Silva, W.B. Souza // Chemical Engineering Communications. – 2019. – Vol. 206. – Issue 1. – P. 86-97.
21. Santos-Zea L. Effect of ultrasound intensification on the supercritical fluid extraction of phytochemicals from *Agave salmiana* bagasse / L. Santos-Zea, J. A. Gutierrez-Urbe, J. Benedito // The Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Vol. 144. – P. 98–107.
22. Kavoura D. Supercritical CO₂ extraction of *Salvia fruticosa* / D. Kavoura, K. Kyriakopoulou, G. Papaefstathiou, F. Spanidi, K. Gardikis, V. Louli // The Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Vol. 146. – P. 159-164.
23. Chainukool S. Subcritical water extraction of resveratrol from barks of *Shorea roxburghii* / S. Chainukool, M. Goto, S. Hannongbua, A. Shotipruk // Separation Science and Technology . – 2014. – Vol. 49. – Issue 13. – P. 2073-2078.

24. Mumin E.L., Antiradical efficiency of essential oils from plant seeds obtained by supercritical CO₂, soxhlet extraction, and hydrodistillation / E.L. Mumin, S. Machmudah, M. Goto // *Separation Science and Technology*. – 2012. – Vol. 48. – Issue 2. – P. 328–337.
25. Silva B.G. Supercritical carbon dioxide extraction of compounds from *Schinus terebinthifolius* Raddi Fruits: Effects of operating conditions on global yield, volatile compounds, and antiproliferative activity against human tumor cell lines / B.G. Silva, M.A. Foglio, A.L. T.G. Ruiz, P.T.V. Rosa // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2017. – Vol. 130. – P. 10–16.
26. Hatami T. Supercritical fluid extraction assisted by cold pressing from clove buds: Extraction performance, volatile oil composition, and economic evaluation / T. Hatami, J.C.F. Johner, G.L. Zabet, M.A.A. Meireles // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2019. – Vol. 144. – P. 39–47.
27. Akalin M.K. Sage oil extraction and optimization by response surface methodology / M. K. Akalin, K. Tekin, S. Karageoz // *Ind. Crops Prod.* – 2015. – Vol. 76. – P. 829–835.
28. Li J. Optimization of microwave-assisted extraction of triterpene saponins from defatted residue of yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge) kernel and evaluation of its antioxidant activity / J. Li, Y.-G. Zu, Y.-J. Fu, Y.-C. Yang, et al // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2010. – No. 11. – P. 637.
29. Ragnar M. pKa-values of Guaiacyl and Syringyl Phenols Related to Lignin / M. Ragnar, C.T. Lindgren, N.O. Nilvebrant // *Journal of Wood Chemistry and Technology*. – 2000. – Vol. 20.-I. 3. – P. 277–305.
30. Gullon B. Green approaches for the extraction of antioxidants from eucalyptus leaves / B. Gullon, A. Muniz-Mouro, T.A. Lu-Chau, M.T. Moreira; J.M. Lema, G. Eibes // *Industrial Crops and Products*. – 2019. Vol. 138. – P. 111 - 473.
31. Odabas H.I. Application of response surface methodology for optimizing the recovery of phenolic compounds from hazelnut skin using different extraction methods / H.I. Odabas // *Industrial Crops and Products*. – 2016. – Vol. 91. – P. 114–124.
32. Junsathian P. Biological and neuroprotective activity of Thai edible plant extracts / P. Junsathian, K. Yordtong, H. Corpuz, S. Katayama, S. Nakamura, S. Rawdkuen // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – Vol. 124. – P. 548–554.
33. Nabat N. Optimization of Microwave-Assisted Extraction Recovery of Bioactive Compounds from *Origanum glandulosum* and *Thymus fontanesii* / N. Nabat, B. Gilbert-Lopez, K. Madani et al // *Ind. Crops Prod.* – 2019. P. 395–404.
34. Mustapa A.N. Microwave-Assisted Extraction of Polyphenols from *Clinacanthus nutans* Lindau Medicinal Plant: Energy Perspective and Kinetics Modeling / A.N. Mustapa, A. Martin, J. R. Gallego, R.B. Mato, M. Cocero, // *Chemical Engineering Processing: Process Intensification*. – 2015. – Vol. 97. – P. 66–74.
35. Kaderides K. Microwave-Assisted Extraction of Phenolics from Pomegranate Peels: Optimization, Kinetics, and Comparison with Ultrasound Extraction / K. Kaderides, L. Papaioikonomou, M. Serafim, A. Goula // *Chem. Eng. Process.* – 2019. – 137 – P.1–11.
36. Pimentel-Moral S. Microwave-Assisted Extraction for *Hibiscus sabdariffa* Bioactive Compounds / S. Pimentel-Moral, I. Borrás-Linares, J. Lozano-Sanchez, et al // *Biomed.* – 2018. – P. 313–322.
37. Lama-Munoz A. Extraction of oleuropein and luteolin-7-O-glucoside from olive leaves: Optimization of technique and operating conditions / A. Lama-Munoz, M.M. Contreras, F. Espinola, M. Moya, A. Torres, I. Romero, E. Castro // *Food Chem.* – 2019. – Vol. 293. – P. 161–168.
38. Velickovic V. Application of conventional and non-conventional extraction approaches for extraction of *Erica carnea* L.: Chemical profile and biological activity of obtained extracts / V. Velickovic, S. Durovic, M. Radojkovic, A. Cvetanovic, J. Svarc-Gajic; J. Vujic, S. Trifunovic, P. Z. J. Maskovic // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2017. – Vol. 128. – P. 331–337.
39. Santos P.H. Extraction of Bioactive Compounds from Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) Peel by Low and High-Pressure Techniques / P.H. Santos, D.H. Ribeiro Baggio, G.A. Micke, L. Vitali, H.J. Hense // *Supercrit Fluid.* – 2019. – P. 219 – 227.
40. Confortin T.C. Extraction and Composition of Extracts Obtained from *Lupinus albus* using Supercritical Carbon Dioxide and Compressed Liquefied Petroleum Gas / T.C. Confortin, I. Todero, J. F. Soares, T. Brun et al // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2017. – Vol. 128. – P. 395–403.
41. Toubane A. Optimization of Accelerated Solvent Extraction of *Carthamus Caeruleus* L. Evaluation of Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Extracts / A. Toubane, S.A. Rezzoug, C. Besombes, K. Daoud // *Industrial Crops and Products*. – 2017. – Vol. 97. – P. 620–631.

42. Cvetanovic A. Subcritical water extraction as a cutting edge technology for the extraction of bioactive compounds from chamomile / A. Cvetanovic, J. Svarc-Gajic, Z. Zekovic, U. Gasic, Z. Tesic, G. Zengin, P. Maskovic, M.F. Mahomoodally, S. Durovic // Influence of Pressure on Chemical Composition and Bioactivity of Extracts. Food Chem. – 2018, – p. 266 - 389.
43. Wang Y. Green and Efficient Extraction of Podophyllotoxin from Sinopodophyllum hexandrum by Optimized Subcritical Water Extraction Combined with Macroporous Resin Enrichment/ Y. Wang, G. Zhang, X. Chi, S. Chen // Ind. Crops Prod. – 2018. – Vol. 121, – P. 267–276.
44. Shahram H. Taghian Dinani S. Influences of Electrohydrodynamic Time and Voltage on Extraction of Phenolic Compounds from Orange Pomace / H. Shahram, S. Dinani Taghian, // Lwt. – 2019. – Vol. 111. – P. 23–30.
45. Xue D. Pulsed Electric Field Extraction of Valuable Compounds from White Button Mushroom (Agaricus Bisporus) / D. Xue, M.M. Farid, // Innovative Food Science Emerging Technologies. – 2015. – Vol. 29. – P. 178–186.
46. Xi J. Continuous Extraction of Phenolic Compounds from Pomegranate Peel Using High Voltage Electrical Discharge / J. Xi, L. He, L. G. Yan // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 230. – P. 354–361.

©Сафина А.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: alb_saf@mail.ru; Губернаторов В.В. – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: valera_gub@mail.ru; Хасаншин Р.Р. – д-р техн.наук, профессор кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины», ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: rusl2881@mail.ru.

UDC 615.322

OVERVIEW OF WORLD EXPERIENCE IN THE FIELD OF OPTIMIZATION OF EXTRACTION PROCESSES OF TARGET COMPONENTS FROM RAW MATERIALS OF PLANT ORIGIN

A.V. Safina, V.V. Gubernatorov, R.R. Khasanshin

A significant amount of biologically active compounds and valuable components are contained in various types of plant raw materials, for the effective extraction of which special extraction methods are required. The article presents an overview of world experience and the results of research by foreign scientists in the field of optimizing the operating parameters of such extraction methods as ultrasonic, supercritical and microwave extraction, extraction of target components under high pressure and voltage. The analysis made it possible to identify factors influencing the efficiency of the extraction process of valuable components. The key elements of the successful course of the ultrasonic extraction process are the extractant used, the size of the extracted material, the power and time of ultrasound, the duration and temperature of the process. The numerous studies reviewed indicate the prospects of supercritical extraction of plant materials, which can significantly increase the yield of extracted compounds. The selection of the type of the main extractant, along with the selection of extraction conditions, is a tool for solving issues of optimizing the supercritical extraction technique. The advantage of microwave extraction is due to the high speed of the process with a small consumption of solvent. At the same time, it is necessary to control the temperature, microwave power and extraction time in order to avoid decomposition of heat-sensitive compounds. Determination of the optimal parameters of the extraction process under pressure is carried out for a specific plant material, taking into account the selection of an extractant for the possibility of dissolving the desired active compounds. The least studied is the method of extraction under voltage due to the complexity of the hardware design. At the same time, studies have noted that it is necessary to optimize parameters such as the voltage of the electric field and the extraction time in order to ensure a high degree of destruction of the cell wall without causing degradation of active compounds. The review reflects the current state and prospects for the development of extraction technologies in the context of world scientific research, which are aimed at increasing the quantity and quality of extractive substances with the lowest raw materials and energy costs.

Keywords: extraction, plant raw materials, extraction methods, foreign research.

References

1. Hosseini S. Effects of Plant Extracts and Bioactive Compounds on Attenuation of Bleomycin-Induced Pulmonary Fibrosis / S. Hosseini, M. Imenshahidi, H. Hosseinzadeh, G. Karimi // *Biomed. Pharmacother.* 2018, 107, 1454–1465. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.08.111.
2. Safin R.G., Gubernatorov V.V., Safina A.V., Khuzeev M.V. Obzor sovremennykh issledovaniy v oblasti izvlecheniya biologicheskikh aktivnykh veshchestv iz berezovogo griba chaga dlya farmatsevticheskikh i pishchevykh otrasley promyshlennosti [Review of modern research in the field of extraction of biologically active substances from birch fungus chaga for pharmaceutical and food industries] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking industry]. 2019. No. 3. pp. 93–103. (In Russ.).
3. Gubernatorov V.V., Khasanshin R.R., Safin R.R. Primeneniye chagi v meditsine i biomeditsinskikh tekhnologiyakh [The use of chaga in medicine and biomedical technologies] // [In the collection: Youth and the XXI century – 2017. materials of the VII International Youth Scientific Conference]. 2017. pp. 296–298. (In Russ.).
4. Razumov E.Yu., Safin R.R., Serova K.V., Gubernatorov V.V., Gubernatorova A.E. Vliyaniye usloviy proizrastaniya na kachestvennyye pokazateli chagi [The influence of growing conditions on the quality indicators of chaga] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking industry]. 2018. No. 2. pp. 51–57. (In Russ.).
5. Chemat F Green Extraction of Natural Products. Origins, Current Status, and Future Challenges / F. Chemat, M. Abert-Vian, A. S. Fabiano-Tixier, J. Strube, L. Uhlenbrock, V. Gunjevic, G. Cravotto // *Trends Anal. Chem.* 2019, 118, 248–263. DOI: 10.1016/j.trac.2019.05.037.
6. Perin S. Green Process Intensification Techniques for Bio-Refinery / S. Perino, F. Chemat // *Curr. Opin. Food Sci.* 2019, 25, 8–13. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.12.004.
7. Ismailov L.Yu., Safina A.V. Obzor issledovaniy v oblasti intensivifikatsii protsessov ekstraktsii rastitelnogo Syria [Review of research in the field of intensification of extraction processes of plant raw materials] // *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking industry]. 2021. No. 2. pp. 85–101. (In Russ.).
8. Guskov A.A. Sovershenstvovaniye tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv ekstragirovaniya rastvorimyykh veshchestv iz rastitelnogo syria [Improvement of technology and technical means of extraction of soluble substances from vegetable raw materials] // [Michurinsk-naukograd RF]. 2019. – pp. 4–10. (In Russ.).
9. Rudobashta S.P., Kazub V.T., Koshkarova A.G. Vodnoye ekstragirovaniye syria pod vozdeystviyem impulsnogo elektricheskogo polya vysokoy napryazhennosti [Water extraction of raw materials under the influence of a high-intensity pulsed electric field] // *Agroinzheneriya* [Agroengineering]. 2016. No. 4 (74). pp. 16–21. (In Russ.).
10. Belokurov S.S., Flisyuk E.V., Narkevich I.A., Luzhanin V.G., Shilov S.V., Novikova K.O. Sravnitelnyy analiz perspektivnykh metodov ekstragirovaniya dlya polucheniya izvlecheniy iz semyan pazhitnika sennogo [Comparative analysis of promising extraction methods for obtaining extracts from hay fenugreek seeds] // *Farmatsevticheskaya tekhnologiya* [Pharmaceutical technology]. 2019. Vol. 8.No. 3. pp. 49–55. (In Russ.).
11. Rodsamran P. Extraction of Phenolic Compounds from Lime Peel Waste Using Ultrasonic -Assisted and Microwave-Assisted Extractions / P. Rodsamran, R. Sothornvit // *Food Biosci.* 2019, 28, 66–73. DOI: 10.1016/j.fbio.2019.01.017.
12. Pudziuvelyte L. Extraction Methods for Phenolic and Volatile Compounds Recovery from Elsholtzia ciliata Fresh and Dried Herbal Materials / L. Pudziuvelyte, V. Jakstas, L. Ivanauskas, A. Laukevicien, et al // *Crops Prod.* 2018, 120, 286–294. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.04.069.
13. Juarez J.A. New high intensity ultrasonic technology for food dehydra-tion/ J.A. Juarez, G.R. Corral, J.C. Moraleda, T.S. Yang // *Drying Technol.* – 1999. – 17. – P. 587–608.
14. Dhiraj M. Patil. Ultrasound-assisted rapid extraction and kinetic modelling of influential factors: Extraction of camptothecin from Nothapodytes nimmoniana plant / M. Patil Dhiraj, G. Akamanchi Krishnacharya // *Ultrasonics Sonochemistry* Volume 37. – July 2017, – pp. 582–591.
15. Yu-Chiao Y. Simultaneous extraction and quantitation of oleanolic acid and ursolic acid from Scutellaria Barbata D. don by ultrasound-assisted extraction and high-performance liquid chromatography / Yu-Chiao, Y., Ming-Chi Wei, Fan-Yu Lian // *Chemical Engineering Communications.* – 2014. Vol. 201. – Issue 4. – P. 482 - 500.
16. Chao Chen. Ultrasound-assisted extraction from defatted oat (Avena sativa L.) bran to simultaneously enhance phenolic compounds and β -glucan contents: Compositional and kinetic studies / Chao Chen, Li Wang,

Ren Wang, Xiaohu Luo, Yongfu Li, Juan Li, Yanan Li, Zhengxing Chen // Journal of Food Engineering Volume 222, - April 2018, Pages 1-10.

17. Morteza Rouhani Modeling and optimization of ultrasound-assisted green extraction and rapid HPTLC analysis of stevioside from *Stevia Rebaudiana* / Industrial Crops and Products Volume 132, June 2019, Pages 226 - 235.

18. Zhang H. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Artemisinin from *Artemisia annua* L. by Response Surface Methodology / H. Zhang, L. Zhang, X. Hu, Y. Zhou, C.Ding, R. Yang, X.Wang, D. Li // Separation Science and Technology. – 2014. – Vol. 49. – Issue 5. – P. 673-681.

19. Xie P. Cheng J.Enhanced Extraction of Hydroxytyrosol, Maslinic Acid and Oleanolic Acid from Olive Pomace / P. Xie, L. Huang, C. Zhang, Y. Deng, X. Wang, J. Cheng // Process Parameters, Kinetics and Thermodynamics, and Green-ness Assessment. Food Chem. – 2019. – Vol. 276. – P. 662–674.

20. Cordeiro R.M. Supercritical CO₂ extraction of ucuúba (*Virola surinamensis*) seed oil: global yield, kinetic data, fatty acid profile, and antimicrobial activities / R.M. Cordeiro, A.P. Silva, R.H. Pinto, W.A. Costa, S.H. Silva, W.B. Souza // Chemical Engineering Communications. – 2019. – Vol. 206. – Issue 1. – P. 86-97.

21. Santos-Zea L. Effect of ultrasound intensification on the supercritical fluid extraction of phytochemicals from *Agave salmiana* bagasse / L. Santos-Zea, J. A. Gutierrez-Urbe, J. Benedito // The Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Vol. 144. – P. 98–107.

22. Kavoura D. Supercritical CO₂ extraction of *Salvia fruticosa* / D. Kavoura, K. Kyriakopoulou, G. Papaefstathiou, F. Spanidi, K. Gardikis, V. Louli // The Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Vol. 146. – P. 159-164.

23. Chainukool S. Subcritical water extraction of resveratrol from barks of *shorea roxburghii* / S. Chainukool, M. Goto, S. Hannongbua, A. Shotipruk // Separation Science and Technology . – 2014. – Vol. 49. – Issue 13. – P. 2073-2078.

24. Mumin E.L., Antiradical efficiency of essential oils from plant seeds obtained by supercritical CO₂, soxhlet extraction, and hydrodistillation / E.L. Mumin, S. Machmudah, M. Goto // Separation Science and Technology. – 2012. – Vol. 48. – Issue 2. – P. 328-337.

25. Silva B.G. Supercritical carbon dioxide extraction of compounds from *Schinus terebinthifolius* Raddi Fruits: Effects of operating conditions on global yield, volatile compounds, and antiproliferative activity against human tumor cell lines / B.G. Silva, M.A. Foglio, A.L. T.G. Ruiz, P.T.V. Rosa // The Journal of Supercritical Fluids. – 2017. – Vol. 130. – P. 10–16.

26. Hatami T. Supercritical fluid extraction assisted by cold pressing from clove buds: Extraction performance, volatile oil composition, and economic evaluation / T. Hatami, J.C.F. Johnner, G.L. Zabot, M.A.A. Meireles // The Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Vol. 144. – P. 39–47.

27. Akalın M.K. Sage oil extraction and optimization by response surface methodology / M. K. Akalın, K. Tekin, S. Karageoz // Ind. Crops Prod. – 2015. – Vol. 76. – P. 829–835.

28. Li J. Optimization of microwave-assisted extraction of triterpene saponins from defatted residue of yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge) kernel and evaluation of its antioxidant activity / J. Li, Y.-G. Zu, Y.-J. Fu, Y.-C. Yang, et al // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2010. – No. 11. – P. 637.

29. Ragnar M. pKa-values of Guaiacyl and Syringyl Phenols Related to Lignin / M. Ragnar, C.T. Lindgren, N.O. Nilvebrant // Journal of Wood Chemistry and Technology. – 2000. – Vol. 20.-I. 3. – P. 277-305.

30. Gullon B. Green approaches for the extraction of antioxidants from eucalyptus leaves / B. Gullon, A. Muniz-Mouro, T.A. Lu-Chau, M.T. Moreira; J.M. Lema, G. Eibes // Industrial Crops and Products. – 2019. Vol. 138. – P. 111 - 473.

31. Odabas H.I. Application of response surface methodology for optimizing the recovery of phenolic compounds from hazelnut skin using different extraction methods koca / H.I. Odabas // Industrial Crops and Products. – 2016. – Vol. 91. – P. 114–124.

32. Junsathian P. Biological and neuroprotective activity of Thai edible plant extracts / P. Junsathian, K. Yordtong, H. Corpuz, S. Katayama, S. Nakamura, S. Rawdkuen // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 124. – P. 548–554.

33. Nabet N. Optimization of Microwave-Assisted Extraction Recovery of Bioactive Compounds from *Origanum glandulosum* and *Thymus fontanesii* / N. Nabet, B. Gilbert-Lopez, K. Madani et al // Ind. Crops Prod. – 2019. P. 395–404.

34. Mustapa A.N. Microwave-Assisted Extraction of Polyphenols from *Clinacanthus nutans* Lindau Medicinal Plant: Energy Perspective and Kinetics Modeling / A.N. Mustapa, A. Martin, J. R. Gallego, R.B. Mato, M. Cocero, // *Chemical Engineering Processing: Process Intensification*. – 2015. – Vol. 97. – P. 66–74.
35. Kaderides K. Microwave-Assisted Extraction of Phenolics from Pomegranate Peels: Optimization, Kinetics, and Comparison with Ultrasounds Extraction / K. Kaderides, L. Papaioikonomou, M. Serafim, A. Goula // *Chem. Eng. Process.* – 2019. – 137 – P.1–11.
36. Pimentel-Moral S. Microwave-Assisted Extraction for Hibiscus sabdariffa Bioactive Compounds / S. Pimentel-Moral, I. Borrás-Linares, J. Lozano-Sanchez, et al // *Biomed.* – 2018. – P. 313–322.
37. Lama-Munoz A. Extraction of oleuropein and luteolin-7-O-glucoside from olive leaves: Optimization of technique and operating conditions / A. Lama-Munoz, M.M. Contreras, F. Espinola, M. Moya, A. Torres, I. Romero, E. Castro // *Food Chem.* – 2019. – Vol. 293. – P. 161–168.
38. Velickovic V. Application of conventional and non-conventional extraction approaches for extraction of *Erica carnea* L.: Chemical profile and biological activity of obtained extracts / V. Velickovic, S. Durovic, M. Radojkovic, A. Cvetanovic, J. Svarc-Gajic; J. Vujic, S. Trifunovic, P. Z. J. Maskovic // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2017. – Vol. 128. – P. 331–337.
39. Santos P.H. Extraction of Bioactive Compounds from Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) Peel by Low and High-Pressure Techniques / P.H. Santos, D.H. Ribeiro Baggio, G.A. Micke, L. Vitali, H.J. Hense // *Supercrit Fluid.* – 2019. – P. 219 – 227.
40. Confortin T.C. Extraction and Composition of Extracts Obtained from *Lupinus albus* using Supercritical Carbon Dioxide and Compressed Liquefied Petroleum Gas / T.C. Confortin, I. Todero, J. F. Soares, T. Brun et al // *The Journal of Supercritical Fluids*. – 2017. – Vol. 128. – P. 395–403.
41. Toubane A. Optimization of Accelerated Solvent Extraction of *Carthamus Caeruleus* L. Evaluation of Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Extracts / A. Toubane, S.A. Rezzoug, C. Besombes, K. Daoud // *Industrial Crops and Products*. – 2017. – Vol. 97. – P. 620–631.
42. Cvetanovic A. Subcritical water extraction as a cutting edge technology for the extraction of bioactive compounds from chamomile / A. Cvetanovic, J. Svarc-Gajic, Z. Zekovic, U. Gasic, Z. Tesic, G. Zengin, P. Maskovic, M.F. Mahomoodally, S. Durovic // *Influence of Pressure on Chemical Composition and Bioactivity of Extracts*. *Food Chem.* – 2018, – p. 266 – 389.
43. Wang Y. Green and Efficient Extraction of Podophyllotoxin from *Sinopodophyllum hexandrum* by Optimized Subcritical Water Extraction Combined with Macroporous Resin Enrichment/ Y. Wang, G. Zhang, X. Chi, S. Chen // *Ind. Crops Prod.* – 2018. – Vol. 121, – P. 267–276.
44. Quagliariello V. Effect of pulsed electric fields – assisted extraction on anti-inflammatory and cytotoxic activity of brown rice bioactive compounds / V. Quagliariello, R.V. Iaffaioli, M. Falcone, G. Ferrari et al // *Food Research International*. – 2016. – Vol. 87. – P. 115–124.
45. Xue D. Pulsed Electric Field Extraction of Valuable Compounds from White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*) / D. Xue, M.M. Farid, // *Innovative Food Science Emerging Technologies*. – 2015. – Vol. 29. – P. 178–186.
46. Xi J. Continuous Extraction of Phenolic Compounds from Pomegranate Peel Using High Voltage Electrical Discharge / J. Xi, L. He, L. G. Yan // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 230. – pp. 354–361.

© **Safina A.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: alb_saf@mail.ru; **Gubernatorov V.V.** – PhD in Engineering sciences, Senior lecturer of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: valera_gub@mail.ru; **Khasanshin R.R.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: rusl2881@mail.ru.

УДК 66-963

ВЛИЯНИЕ ОЗОНИРОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Р.Р. Сафин, Ш.Р. Мухаметзянов, Г.А. Сабилова, А.Х. Сафиуллина

Данная работа посвящена изучению влияния озонирования предварительно термомодифицированного древесного наполнителя в производстве древесно-полимерных композитов на прочностные характеристики материала. Описаны технологии проведения процессов термической и озоновой обработки, представлены схемы экспериментальных установок. Приведены кривые результатов исследования по определению водопоглощения и предела прочности на сжатие, растяжение и изгиб, характеризующие целесообразность применения предложенной двухступенчатой обработки древесного наполнителя в производстве древесно-полимерных композитов.

Ключевые слова: *древесный наполнитель, термомодифицирование, озоновая обработка, прочность, композит.*

Введение

Композитные материалы нашли широкое применение в строительной индустрии. Строительство большинства объектов промышленного, гражданского и жилого комплексов сегодня уже невозможно представить без них. Композиты заменили традиционные материалы, поскольку изначально были созданы с целью улучшения характеристик исходного сырья, а также снижения себестоимости материалов за счёт использования различных отходов [1 - 4].

Одним из распространённых композиционных материалов является древесно-полимерный композит. Он служит хорошей заменой дереву и пластику, так как объединяет достоинства дерева и полимера: обладает экологичностью, натуральным видом с одной стороны, с другой – прочностью и устойчивостью к агрессивным воздействиям внешней среды [5, 6].

Древесно-полимерный композит широко используется в качестве террасной доски, которая является многофункциональным отделочным материалом. Она хорошо подходит для применения на открытом воздухе и в неотапливаемых помещениях, таких как беседки, веранды, террасы [6 - 9]. Из-за сложных условий эксплуатации к этому материалу предъявляются повышенные требования. Материал должен быть устойчив к перепадам температуры, не бояться влаги, солнечного света, механических воздействий. К тому же он должен быть эстетичен, долговечен и иметь приемлемую цену.

В то же время, одним из основных недостатков древесно-полимерных композитов (ДПК) является наличие древесного наполнителя, обладающего значительными объемно-влажностными деформациями, развитием давления набухания и водопоглощением.

Для снижения гидрофильности древесного наполнителя применяют предварительную термическую обработку древесного сырья в производстве композитов. Термическая модификация – это нагрев древесины до высоких температур при избыточном давлении без использования химикатов [10]. Цвет, структура и состав древесины меняются из-за выделения из нее окиси углерода и углекислого газа в инертной (практически бескислородной) атмосфере. Под воздействием обработки гемицеллюлоза разлагается, в результате чего снижается концентрация водопоглощающих гидроксильных групп и повышается размерная стабильность обработанной древесины по сравнению с древесиной, высушенной в традиционной камере. Разрыв цепи гемицеллюлозы увеличивает сопротивление древесины к сжатию и снижает уровень образования нагрузок и упругой деформации древесины [9-12].

Однако выявлено, что термомодифицирование снижает некоторые механические характеристики композита, вследствие ухудшения адгезии между наполнителем и связующим. С целью повышения адгезионных свойств термомодифицированного древесного наполнителя в производстве композиционных материалов была поставлена задача – исследовать влияние предварительной озоновой обработки древесного наполнителя на прочностные свойства ДПК [13, 14].

Реакционная способность озона дает возможность эффективно взаимодействовать с органическими веществами, особенно непредельными ароматическими соединениями, поэтому он используется в

качестве окислителя. К тому же, реакции озона происходят при комнатной температуре и атмосферном давлении [14-16].

Ранее было установлено влияние озона на повышение гидрофильности поверхности термомодифицированной древесины, что должно способствовать повышению адгезии между наполнителем и матрицей в композите [15-19].

Таким образом, нами поставлена задача улучшения эксплуатационных характеристик древесно-полимерного композита за счет предварительной термической обработки с последующим озонированием древесного наполнителя [14-18].

Методы и материалы

Исследование влияния озоновой обработки на термомодифицированную измельченную древесину проводилось на образцах породы береза. Выбор березы обусловлен тем, что она является одной из самых широко применяемых в промышленности пород лиственной древесины в России.

Предварительное термомодифицирование проводили до достижения заданной степени термической обработки, определяемой по степени снижения плотности древесины.

Термомодифицирование древесного сырья проводили на экспериментальной установке барабанного типа, схема которой представлена на рис. 1.

Барабан камеры 1 имеет крышку 2 и вращается при помощи двигателя 3. Стенки камеры нагреваются при помощи термоэлектрического нагревателя 4. Внутри барабана камеры расположены термодатчики 5, которые контролируют температуру нагрева. Управление процессом осуществляется при помощи электронного устройства 6 и щитка 7.

Перед проведением процесса термомодифицирования измельченная древесина помещается в камеру 1 через крышку 2. Далее барабан приводится во вращение. Прогрев камеры 1 осуществляется включением термоэлектрического нагревателя 4. Стенки камеры нагреваются, тем самым происходит повышение температуры среды внутри барабана. Древесный материал нагревается вследствие контакта с горячей поверхностью барабана и теплообмена с внутренней средой. Темп увеличения температуры барабана может задаваться с помощью терморегулятора 6.

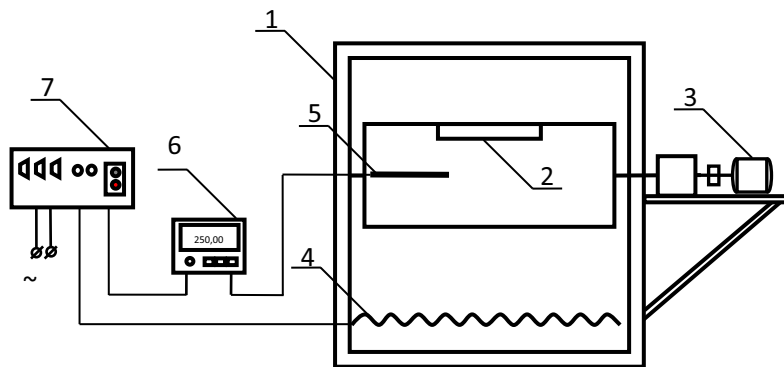


Рис. 1. Экспериментальная установка для термомодифицирования измельченной древесины

С целью исследования влияния озона на древесину была разработана установка по озонированию измельченного древесного наполнителя (рис. 2).

Установка представляет собой замкнутую систему пневмопровода в виде труб диаметром 100 мм, в который внедрены такие узлы как бункер 2, циклон 3, осевой вентилятор 4, озоногенератор 5, нагревательный узел с теплоэлектронагревателями 6.

Озоногенератор воздуха 5 представляет собой устройство для выработки озона из кислорода в электрическом разряде. С этой целью через зазор между электродами, подключёнными к источнику высокого напряжения, пропускается воздух.

Установка работает следующим образом: в бункер 2 через горловину 1 засыпается термообработанная измельченная древесина. Далее, включением осевого вентилятора 4 и озоногенератора 5 происходит наработка и циркуляция концентрированного озонированного воздуха, производительностью 20 г/час в замкнутой системе пневмопровода.

Озонированная воздушная масса, подводится к бункеру с нижней стороны, а скорость потока позволяет создавать псевдооживленный (кипящий) слой насыпного сырья, благодаря чему последнее подвергается равномерной поверхностной окислительной реакции. Происходит окисление функциональных групп древесины, при этом часть низкомолекулярных продуктов адсорбируется на поверхности озонированной древесины, а часть уносится с потоком газа.

При необходимости измельченная древесина подвергается подсушиванию включением теплоэлектронагревателей 6, благодаря чему достигается равномерность влагосодержания исследуемого сырья.

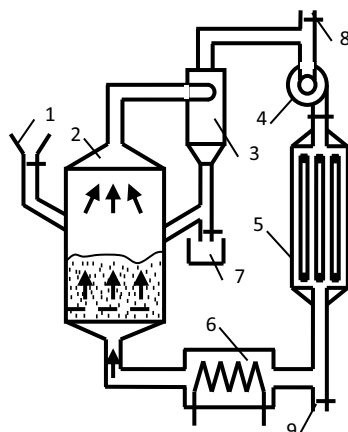


Рис. 2. Установка по озонированию измельченной древесины

При создании композиционного материала в качестве связующего использовался полиэтилен. Приготовление древесно-полимерных смесей осуществлялось в камере MeasuringMixer 350E смесительного оборудования Brabender «PLAsti-Corder»® Lab-Station» при температуре 180°C и скорости вращения роторов 90 об/мин в течение 5 минут с последующим пропуском полученной массы через лабораторные вальцы с зазором 4 мм.

Для исследования физико-механических свойств древесно-полимерных композитов были получены стандартные образцы в виде лопаток и полосок методом литья под давлением. Для этого предварительно измельченный после вальцевания материал загружался в литьевую машину для подготовки образцов при температуре 180°C и давлении впрыска 8 бар.

Результаты

Результаты проведенных исследований по определению водопоглощения образцов композита представлены на рис. 3. Образцы древесно-полимерного композита выдерживали в дистиллированной воде в течение 30 суток. Замеры проводили каждые 5 дней. Как видно из графиков, у образцов с термомодифицированным древесным наполнителем водопоглощение заметно понижается в отличие от необработанных. А у образцов с древесным наполнителем, прошедшим двухступенчатую обработку, водопоглощение незначительно выше термомодифицированных.

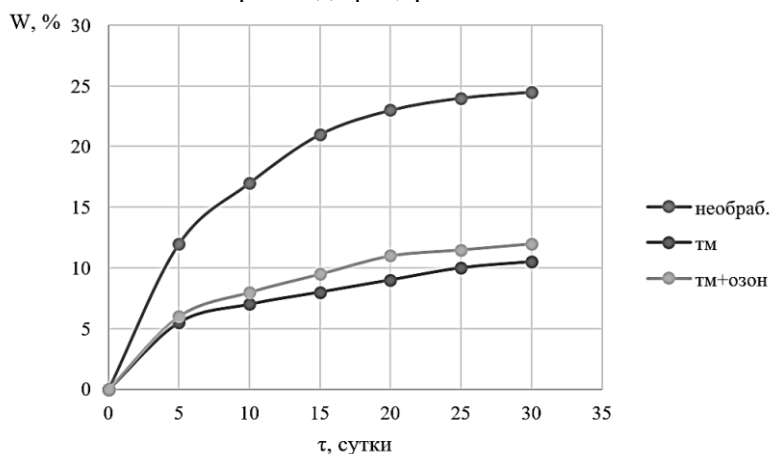


Рис. 3. Водопоглощение ДПК

На рисунке 4. представлено влияние содержания древесного наполнителя в композите на предел прочности при растяжении. Из графиков видно, что при повышении содержания наполнителя происходит снижение предела прочности при растяжении. Объясняется это тем, что когезионная прочность полимера выше адгезионного взаимодействия между полимером и древесным наполнителем. При этом термическая обработка вызывает снижение данного показателя, а обработка озоном способствует повышению прочности на растяжение.

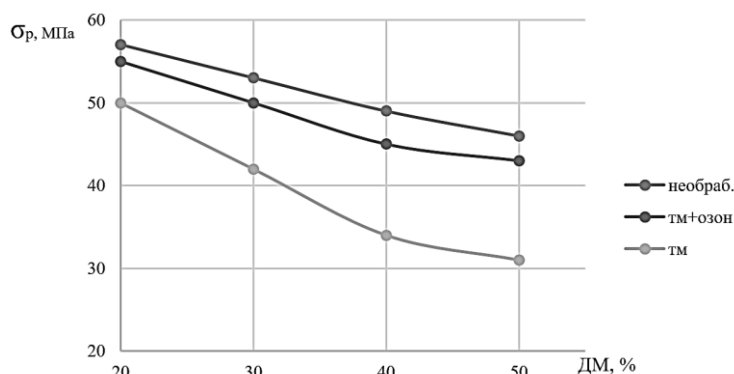


Рис. 4. Предел прочности при растяжении в зависимости от содержания древесного наполнителя

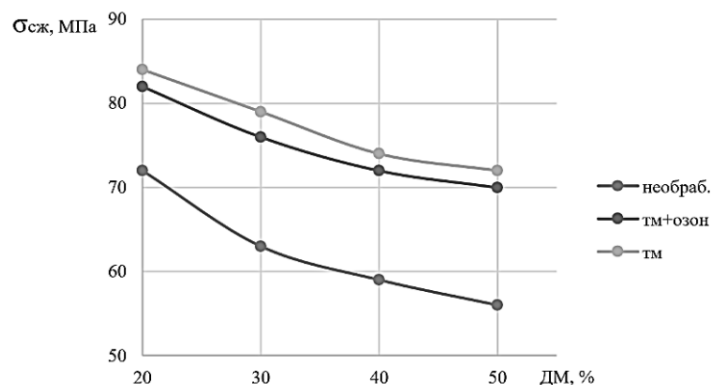


Рис. 5. Предел прочности при сжатии в зависимости от содержания древесного наполнителя

На рисунке 6 представлены результаты по определению предела прочности при изгибе. Прочность образцов древесно-полимерного композита на основе необработанного древесного наполнителя с увеличением содержания древесины снижается значительно, чем для образцов, прошедших обработку. Это объясняется тем, что в процессе изгиба в образцах одновременно возникают и растягивающие, и сжимающие напряжения. При этом, по всей видимости, для данной формы образцов падение прочности на растяжение оказывает меньшее воздействие на предел прочности при изгибе, чем эффект возрастания прочности на сжатие, наблюдающееся в случае с обработанными образцами.

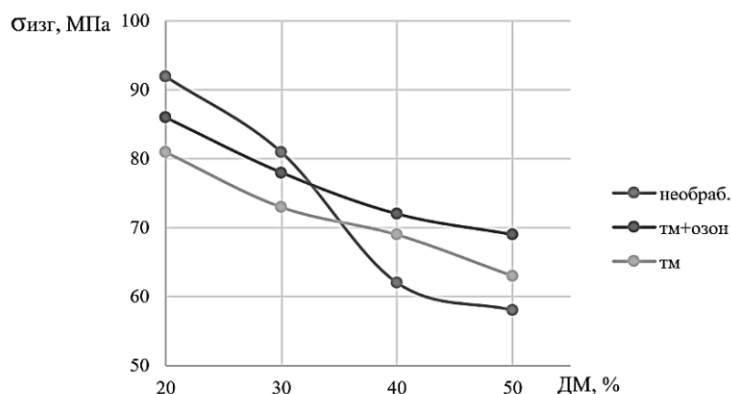


Рис. 6. Предел прочности при изгибе в зависимости от содержания древесного наполнителя.

Таким образом, результаты исследования предела прочности при изгибе повторили картину предыдущих экспериментов, подтвердив эффективность двухступенчатой обработки древесины при создании композиционных материалов.

Заключение

В результате литературного анализа установлено, что термическое модифицирование является одним из способов снижения недостатков древесины как строительного материала. Однако выявлено, что термомодифицирование снижает некоторые механические характеристики композита, вследствие ухудшения адгезии между наполнителем и связующим. Для повышения адгезии измельченной древесины к полимеру предложено проводить озоновую обработку после процесса термомодифицирования.

Для проведения исследований по определению водопоглощения и предела прочности были получены образцы композитов из полиэтилена с наполнителем, прошедшим двухступенчатую обработку – термомодифицирование и озонирование. Результаты исследований показали целесообразность применения двухступенчатой обработки древесного наполнителя в производстве древесно-полимерных композиционных материалов. Выявлено, что озоновая обработка способствует повышению предела прочности на растяжение, сжатие и изгиб без значительного повышения гидрофильности композита.

Литература

1. Zelinka S. L., Ringman R., Pilgard A., Jakes J.E. Thybring, E.E.; Richter, K. The role of chemical transport in the brown-rot decay resistance of modified wood // *International Wood Products Journal* 2016. № 7, С. 66-70. DOI: 10.1080/20426445.2016.1161867.
2. Safin R.R., Nazipova F.V., Khasanshin R.R., Voronin A.E. Pre-treatment of vegetable waste in the production of composite materials // *Key Engineering Materials*. 2017. № 743 KEM, С. 53–57. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.743.53.
3. Herrera-Diaz R., Sepulveda-Villarreal V., Perez-Pena N., Salvo-Sepulveda L. Effect of wood drying and heat modification on some physical and mechanical properties of radiata pine // *Drying Technology* 2017. № 36. С 537-544. DOI: 10.1080/07373937.2017.1342094.
4. Dzurenda A.L. Colour modification of *Rodiniapseudoacacia* L. During the processes of heat treatment with saturated water steam // *ActaFacultatisXylologiae*. 2018. Т. 60. № 1. С. 61-70. DOI: 10.17423/afx.2018.60.1.07.
5. Kacik F. Thermal analysis of heat-treated silver fir wood and larval frass // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2017. Т. 130. № 2. С. 755-762. DOI: 10.1007/s10973-017-6463-5.
6. Brischke C., Meyer-Veltrup L. Performance of thermally modified wood 14 years of outdoor exposure // *International Wood Products Journal* 2016. № 7, С. 89-95. DOI: 10.1080/20426445.2016.1160591.
7. Willems W., Mai C., Militz H. Thermal wood modification chemistry analysed using van Krevelen's representation // *International Wood Products Journal* 2013. № 4. С. 166-171. DOI: 10.1179/2042645313Y.0000000033.
8. Hakkou M. Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood // *Holzforschung* 2005. № 59. С. 35-37. DOI: 10.1515/HF.2005.006.
9. Safin R.R., Khasanshin R.R., Kaynov P.A., Safina A.V., Safin R.G. Unconventional methods of pretreatment of wood fillers for the manufacture of composite materials // *International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* 2016, № 1, С. 785-792. DOI: 10.5593/SGEM2016/B41/S17.103.
10. Nylund J., Sundberg K., Shen Q., Rosenholm J.B. *Colloids Surfaces* 1998. A 133, С. 261–268.
11. Orlo, A.A., Loginov, G.A., Romanova N.A. Study of thermally modified wood properties and parameters of coatings formed on its surface // *Systems. Methods. Technologies* 2016. № 2(30). С. 138-144. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-138-144.
12. Michael M.N., El-Zaher N.A., Ibrahim S.F. Investigation into Surface Modification of Some Polymeric Fabrics by UV/Ozone Treatment // *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2004. Т. 43 № 4, С. 1041-1052, DOI: 10.1081/PPT-200030016.
13. Safiullina A.Kh., Safin R.R., Mukhametzyanov Sh.R., Sabirova G.A., Shaikhutdinova A.R. Ozone processing as a method for increasing adhesional properties of wood // *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM* 2020. Sofia. 2020. С. 403-410. DOI: 10.5593/sgem2020/6.1/s26.053.

14. Mohan Raja. Surface Modification of Carbon Nanotubes with Combined UV and Ozone Treatments // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2015. Т. 23, № 1, С. 11-16, DOI: 10.1080/1536383X.2014.885960.
15. Marouen Hamdi, Johannes A. Poulis. Effect of UV/ozone treatment on the wettability and adhesion of polymeric systems // The Journal of Adhesion. 2021. Т. 97, № 7. С. 651-671, DOI: 10.1080/00218464.2019.1693372.
16. Mukhametzyanov Sh., Khasanshin R., Safin R., Shaikhutdinova A., Safiullina A. Modification of the surface of thermally modified wood with ozone when creating glued structures // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021). 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021). France. 2021. № 4014.
17. Safin R.R., Khasanshin R., Mukhametzyanov S.R., Safina A. Physicochemical surface treatment of wood raw materials // Coatings. 2021. Т. 11, №10. DOI: 10.3390/coatings11101247.
18. Сафиуллина А.Х., Мухаметзянов Ш.Р., Сафин Р.Р., Хайруллин Р.З. Влияние озонирования на смачиваемость древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 1. С. 25-33.
19. Andrés Jesús Yáñez-Pacios, José Miguel Martín-Martínez. Surface modification and adhesion of wood-plastic composite (WPC) treated with UV/ozone // Composite Interfaces. 2018. Т. 25, №. 2. С. 127-149. DOI: 10.1080/09276440.2017.1340042.

© **Сафин Р.Р.** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры и дизайна изделий из древесины, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: cfaby@mail.ru; **Мухаметзянов Ш.Р.** – канд. техн. наук, доцент кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: joker775.87@mail.ru; **Сабирова Г.А.** – канд. техн. наук, доцент кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: talipovatt@mail.ru; **Сафиуллина А.Х.** – старший преподаватель кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: shayaalbina@mail.ru.

UDC 66-963

EFFECT OF OZONATION OF A PRE -THERMOMODIFIED FILLER ON THE PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES

R.R. Safin, S.R. Mukhametzyanov, G.A. Sabirova, A.H. Safiullina

This work is devoted to the study of the effect of ozonation of pre-thermomodified wood filler in the production of wood-polymer composites on the strength characteristics of the material. Technologies of thermal and ozone treatment processes are described, schemes of experimental installations are presented. The curves of the results of the study on the determination of water absorption and compressive, tensile and bending strength are presented, characterizing the feasibility of using the proposed two-stage processing of wood filler in the production of wood-polymer composites.

Keywords: wood filler, thermal modification, ozone treatment, strength, composite.

References

1. Zelinka S. L., Ringman R., Pilgard A., Jakes J.E. Thybring, E.E.; Richter, K. The role of chemical transport in the brown-rot decay resistance of modified wood // International Wood Products Journal 2016. № 7, С. 66-70. DOI: 10.1080/20426445.2016.1161867.
2. Safin R.R., Nazipova F.V., Khasanshin R.R., Voronin A.E. Pre-treatment of vegetable waste in the production of composite materials // Key Engineering Materials. 2017. № 743 KEM, С. 53–57. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.743.53.
3. Herrera-Diaz R., Sepulveda-Villarreal V., Perez-Pena N., Salvo-Sepulveda L. Effect of wood drying and heat modification on some physical and mechanical properties of radiata pine // Drying Technology 2017. № 36. С. 537-544. DOI: 10.1080/07373937.2017.1342094.
4. Dzurenda A.L. Colour modification of Rodinia pseudoacacia L. During the processes of heat treatment with saturated water steam // Acta Facultatis Xylogiae. 2018. Т. 60. № 1. С. 61-70. DOI: 10.17423/afx.2018.60.1.07.

5. Kacik F. Thermal analysis of heat-treated silver fir wood and larval frass // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2017. T. 130. № 2. C. 755-762. DOI: 10.1007/s10973-017-6463-5.
6. Brischke C., Meyer-Veltrup L. Performance of thermally modified wood 14 years of outdoor exposure // *International Wood Products Journal* 2016. № 7, C. 89-95. DOI: 10.1080/20426445.2016.1160591.
7. Willems W., Mai C., Militz H. Thermal wood modification chemistry analysed using van Krevelen's representation // *International Wood Products Journal* 2013. № 4. C. 166-171. DOI: 10.1179/2042645313Y.0000000033.
8. Hakkou M. Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood // *Holzforschung* 2005. № 59. C. 35-37. DOI: 10.1515/HF.2005.006.
9. Safin R.R., Khasanshin R.R., Kaynov P.A., Safina A.V., Safin R.G. Unconventional methods of pretreatment of wood fillers for the manufacture of composite materials // *International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* 2016, № 1, C. 785-792. DOI: 10.5593/SGEM2016/B41/S17.103.
10. Nylund J., Sundberg K., Shen Q., Rosenholm J.B. *Colloids Surfaces* 1998. A 133, C. 261–268.
11. Orlo, A.A., Loginov, G.A., Romanova N.A. Study of thermally modified wood properties and parameters of coatings formed on its surface // *Systems. Methods. Technologies* 2016. № 2(30). C. 138-144. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-138-144.
12. Michael M.N., El-Zaher N.A., Ibrahim S.F. Investigation into Surface Modification of Some Polymeric Fabrics by UV/Ozone Treatment // *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2004. T. 43 № 4, C. 1041-1052, DOI: 10.1081/PPT-200030016.
13. Safiullina A.Kh., Safin R.R., Mukhametzyanov Sh.R., Sabirova G.A., Shaikhutdinova A.R. Ozone processing as a method for increasing adhesional properties of wood // *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. Sofia. 2020. C. 403-410. DOI: 10.5593/sgem2020/6.1/s26.053.
14. Mohan Raja. Surface Modification of Carbon Nanotubes with Combined UV and Ozone Treatments // *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 2015. T. 23, № 1, C. 11-16, DOI: 10.1080/1536383X.2014.885960.
15. Marouen Hamdi, Johannes A. Poulis. Effect of UV/ozone treatment on the wettability and adhesion of polymeric systems // *The Journal of Adhesion*. 2021. T. 97, № 7. C. 651-671, DOI: 10.1080/00218464.2019.1693372.
16. Mukhametzyanov Sh., Khasanshin R., Safin R., Shaikhutdinova A., Safiullina A. Modification of the surface of thermally modified wood with ozone when creating glued structures // *E3S Web of Conferences* Volume 274 (2021). 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021). France. 2021. № 4014.
17. Safin R.R., Khasanshin R., Mukhametzyanov S.R., Safina A. Physicochemical surface treatment of wood raw materials // *Coatings*. 2021. T. 11, № 10. DOI: 10.3390/coatings11101247.
18. Safiullina A.H., Mukhametzyanov S.R., Safin R.R., Khairullin R.Z. [The effect of ozonation on the wettability of wood] // *Woodworking industry*. 2020. No. 1. pp. 25 -33. (In russ.)
19. Andrés Jesús Yáñez-Pacios, José Miguel Martín-Martínez. Surface modification and adhesion of wood-plastic composite (WPC) treated with UV/ozone // *Composite Interfaces*. 2018. T. 25, №. 2. C. 127-149. DOI: 10.1080/09276440.2017.1340042.

© **Safin R.R.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: cfaby@mail.ru; **Mukhametzyanov S.R.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: joker775.87@mail.ru; **Sabirova G.A.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: talipovatt@mail.ru; **Safiullina A.H.** – Senior lector of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: shayaalbina@mail.ru.

Химическая технология древесины

УДК 678.632

СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛИГНИНОМ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ (ОБЗОР)

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

В статье представлены сведения о фенолформальдегидных смолах, методах их получения, модификации и практического использования. Настоящий обзор посвящен использованию лигнина в качестве альтернативы замены фенола для модификации фенолформальдегидных смол и получению материалов на их основе. Приведены основные сведения о свойствах, методах получения и применения лигнина в различных отраслях промышленности. Проанализирован рынок производства лигнина, а также его применения в различных отраслях промышленности на 2021 г.

Ключевые слова: фенол, фенолформальдегидная смола, лигнин, модифицированные фенолформальдегидные смолы, лигнинсодержащие фенолформальдегидные смолы, материалы.

Введение

Резольные фенолформальдегидные смолы (ФФС) являются одними из самых распространенных клеевых компонентов в производствах клееной древесной продукции и широко используемых древесных композиционных материалов – фанеры, древесностружечных плит (ДСП, OSB), древесноволокнистых плит (MDF, HDF) и древеснослоистых пластиков [1,2]. С 50-х гг. XX в. в научно-технической литературе приведено достаточное количество информации о модификации резольных фенолформальдегидных смол лигносульфонатами и различными техническими лигнинами, в основном щелочными [3]. Это направление является актуальным, поскольку лигнины до сих пор, являются одним из самых доступных полимеров фенольной природы [4], а также являются мало утилизируемым видом органического сырья. Удорожание различных индивидуальных соединений, и фенола в частности, ставит в ряд актуальных методы эффективной замены фенола на доступные и более дешевые фенольные соединения, фракции и полимеры [5]. Известно, что химическое строение фенолформальдегидных смол существенно зависит от применяемого катализатора синтеза – кислоты или щелочи [6]. Однако помимо классической схемы взаимодействия фенола и формальдегида, показывающей образование линейного либо пространственно сшитого продукта поликонденсации, данных о строении и особенностях синтеза фенольных полимеров, модифицированных лигнином в литературе немного.

Характеристика фенольных смол

Фенолформальдегидные смолы – это синтетические олигомеры, с характеристиками, представляющими интерес для практического применения в современном мире [7]. Впервые фенолформальдегидные смолы были получены Бакеландом в 1907 году [8], и представлены на рынке в начале двадцатого века компаниями «Bakelite GmbH» в Германии и «General Bakelite Co.» в США [9].

Фенолформальдегидные смолы являются продуктами поликонденсации фенолов (фенол, крезол, ксиленол и др.) и альдегидов (формальдегид, ацетальдегид, фурфурол и др.) при определенной температуре посредством кислотного или щелочного катализа [10].

За счет низкой стоимости и доступности сырья, простых процессов и производственного оборудования, отличных механических свойств, термостойкости, химической стойкости, хороших электроизоляционных свойств и огнестойкости фенолформальдегидные смолы стали незаменимым полимерным материалом в области электроники, машиностроения, строительства и авиакосмической промышленности [11]. Наиболее широко они применяются в производстве пластмасс, покрытий и клеев.

Чтобы удовлетворить постоянно обновляемые потребности в этих высокотехнологичных областях, а также учитывая быстрое истощение мировых запасов ископаемого топлива и увеличения негативного

эффекта накопления парниковых газов в атмосфере [12], представляет интерес поиск более устойчивого альтернативного источника фенолов в производстве фенолформальдегидных смол.

Модификация молекулярной структуры фенолформальдегидной смолы постепенно стала основным направлением исследований в оптимизации показателей свойств смолы [13]. При синтезе фенолформальдегидных смол ключевыми факторами являются мольное соотношение мономеров, тип катализатора, температура и давление [14]. Эти факторы во время реакции определяют молекулярную структуру, влияющую на свойства готовой фенолформальдегидной смолы. Контролируя соотношение и функциональность фенола и альдегида, а также тип катализатора (кислотный и основной) можно получать резольные или новолачные смолы с различной молекулярной массой [15].

На протяжении последних нескольких лет были предприняты многочисленные попытки воспользоваться преимуществами структурного сходства между составляющими биомассы и фенолом, и заменить последний, в надежде получить более экологичное сырье для производства фенолформальдегидных смол [16]. Особый интерес был сосредоточен на использовании лигнина, полученного, как побочный продукт при переработке целлюлозы. В 1970-х годах было проведено много исследований по разработке смол на основе лигнина, в основном, по введению лигнина в структуру полиуретанов, фенольных и эпоксидных смол [17].

Характеристики лигнина

Лигнин – это биополимер, который входит в состав веществ клеточных стенок растений [18]. Это позволяет растениям сохранять жесткость, механическую прочность и целостность между другими природными полимерами, содержащимися в основной растительной клетке: целлюлозой и гемицеллюлозами [19]. Лигнин имеет сложную структуру, которая до сих пор полностью не изучена, и поэтому в настоящее время является предметом интенсивных исследований большой группы ученых [20]. Известно, что к основным мономерным звеньям, составляющим структуру лигнина, относятся фрагменты п-кумарилового, кониферилового и синапового спиртов, обычно называемых монолигнолами, которые связаны между собой бессистемным образом [21]. Содержание отдельных фрагментов монолигнолов в лигнине варьируется в зависимости от породы растительного сырья [22].

В процессе, катализируемом основанием, формальдегид реагирует главным образом со свободным орто-положением фенольных единиц лигнина и очень редко с боковой цепью лигнина [23]. Фенолформальдегидная смола также может взаимодействовать с лигнином по реакциям метилольных групп смолы со свободными ортоуглеродными атомами фенольных единиц во фрагментах лигнина [24]. Лигнин часто модифицируют (например, предварительно метилолируют) для лучшей реакционной способности при образовании смолы и степени замещения фенола более 20 % [25]. Также при производстве смолы в кислых условиях лигнин может быть сначала конденсирован с фенолом.

Лигнин, который с каждым годом производится все в больших количествах не только как побочный продукт бумажной промышленности [26], но и как ценное сырье, получаемое при производстве биотоплива, становится объектом растущего интереса во многих отраслях науки и промышленности [27]. Примерно 98% лигнина, производимого в бумажной промышленности, сжигается для рекуперации энергии, и только 2 % используется в коммерческих целях [28]. В настоящее время этот рынок состоит в основном из недорогих продуктов, таких как связующие и эмульгаторы, некачественное топливо, углеродные волокна и фенольные смолы.

В период с 2020 по 2027 год ожидается рост рынка лигнина на уровне 3,1 %, который сопровождается растущим спросом на мебель. Наблюдается увеличение спроса на лигнин в таких секторах, как [29]:

- клеевые соединения;
- моющие и чистящие средства;
- сельское хозяйство;
- связующие;
- средства водоочистки.

Благодаря этим секторам намечен рост рынка лигнина в следующие пять лет. Также растущий спрос на системы очистки воздуха, вызванный увеличением загрязнения окружающей среды, может способствовать росту потребности в лигнине [30].

Рынок лигнина сегментирован по типу продукта, применению и методам получения.

Существует несколько различных путей выделения лигнинов из биомассы, которые можно разделить на две основные группы. К одной из них относятся процессы деполимеризации лигнина на

растворимые фрагменты, которые отделяют от целлюлозного продукта. К другой – процессы гидролиза полисахаридов до растворимых сахаров, которые отделяют от твердого лигнина. Примером первой группы являются все процессы варки целлюлозы, а примером второй – гидролиз лигноцеллюлозного сырья с получением сахаров, фурфурола и леулиновой кислоты [31].

В зависимости от типа продукта рынок лигнина подразделяется на следующие товарные продукты:

- крафт-лигнин;
- гидролизный лигнин;
- лигнин Классона;
- лигносульфонат;
- измельченный древесный лигнин – лигнин Бьеркмана;
- органосольвентный лигнин;
- пиролизический лигнин

Основные области применения лигнина представлены на рисунке 1.



Рис. 1 Рынок производства лигнина, доля использования по отраслям в мире, 2021[32]

Страны, участвующие в производстве и продаже лигнина [33]:

- в Северной Америке - США, Канада и Мексика;
 - в Южной Америке - Бразилия, Аргентина;
 - в странах Европы - Германия, Франция, Великобритания, Нидерланды, Швейцария, Бельгия, Россия, Италия, Испания, Турция;
 - в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АРАС) - Китай, Япония, Индия, Южная Корея, Сингапур, Малайзия, Австралия, Таиланд, Индонезия, Филиппины;
 - в странах Ближнего Востока - Саудовская Аравия, ОАЭ, Израиль, Египет, Южная Африка.
- На рисунке 2 представлен мировой объем производства лигнина.



Рис. 2 Рынок производства лигнина, скорость роста по регионам, 2019-2024 гг.[32]

На рынок Северной Америки приходится основная доля выручки от лигнина в мире, и он будет продолжать доминировать в прогнозируемом периоде 2020 -2027 гг. из-за его широкого использования в мебельной и строительной отрасли [34].

Основным сдерживающим фактором роста рынка лигнина является отсутствие информации среди потребителей.

Также можно отметить, что сложная структура лигнина и то обстоятельство, что методы его модификации и деполимеризации относительно дороги и трудно реализуемы в промышленных масштабах, ограничивают возможности его более широкого использования [35]. Тем не менее, были проведены обширные исследования для преодоления присущих лигнину проблем и улучшения его реакционной способности для разработки возможных новых потенциальных областей применения.

Модификация фенолформальдегидных смол лигнином и их применение

Температура отверждения фенолформальдегидных смол является одной из важных их характеристик. В частности, включение возобновляемого ресурса, такого как лигнин, при большом коэффициенте замещения фенола имеет тенденцию к увеличению температуры отверждения фенольной смолы, в первую очередь из-за повышенной сложности структуры лигнина по сравнению с молекулой фенола [36].

Однако, перед тем как ввести лигнин в синтез, проводят активацию лигнина для модификации функциональных групп, оставляя ароматическое основание полимера нетронутым [37]. Первоначально лигнин подвергали окислению, чтобы лучше понять его структуру и идентифицировать химические связи [38]. В настоящее время известно, что использование сильных окислителей разрушает ароматическое кольцо полимера, тогда как использование более мягких изменяет только его функциональные группы [39]. Лигнин содержит много гидроксильных групп, которые могут окисляться до карбонильных групп. Эти функциональные группы более реакционноспособны, чем гидроксильные группы, и, следовательно, полученное соединение может иметь больше потенциальных применений [40].

Предполагаемая структура фрагмента молекулы, полученной в результате взаимодействия резольной фенолформальдегидной смолы (А) с лигнином (В) изображена на рисунке 3.

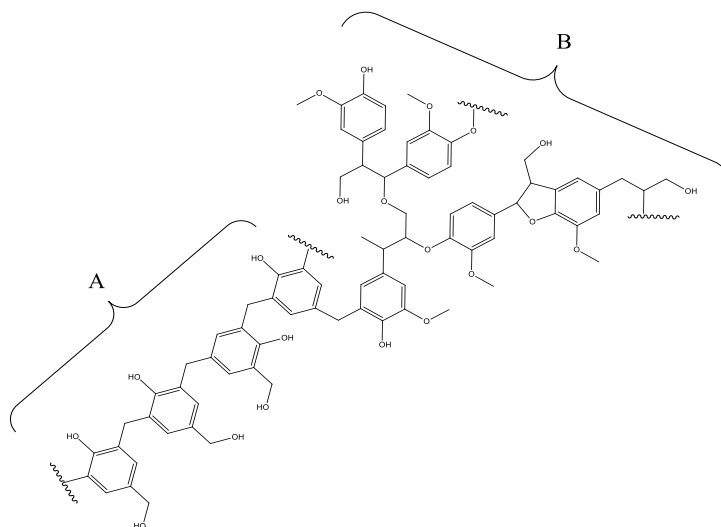


Рис.3. Предполагаемый фрагмент молекулы, полученной в результате взаимодействия резольной фенолформальдегидной смолы (А) с лигнином (В)

Лигнин в клеевых составах

Клеи – одно из самых многообещающих промышленных применений лигнина. В производстве клеев для древесины наиболее часто используются фенолформальдегидные, карбаминоформальдегидные и меламинакарбаминоформальдегидные смолы [41]. Среди них фенолформальдегидные смолы являются наиболее широко используемым из-за лучших показателей водостойкости и атмосферостойкости, а также обладающей высокой механической прочностью, особенно важной для предотвращения расслоения готовых клеёных древесных изделий [42]. Фенолформальдегидные термореактивные смолы имеют высокую адгезию с древесиной и при отверждении образуют с ней достаточно прочные связи.

Фенолформальдегидные смолы в качестве основного компонента при производстве клеев для фанеры характеризуются высоким содержанием метилольных групп [43], содержанием нелетучих

веществ 40 - 52% и диапазон вязкости 150 - 600 сПз. Они обладают высокой степенью влагостойкости, температурной стабильностью и высокой прочностью адгезионных связей с поверхностью древесины, что и позволяет использовать их в качестве основного компонента при производстве клеев для древесных плит, фанеры, ламината, и других материалов.

Лигнин для получения клеев имеет ограниченное применение, главным образом из-за низкой реакционной способности по отношению к формальдегиду или другим альдегидам и небольшого количества реакционных центров [44]. Низкая реакционная способность является недостатком в тех случаях, когда требуется короткое время отверждения. Чтобы обеспечить возможность использования в различных областях применения клеев с лигнином, его реакционная способность может быть улучшена путем модификации. Фенольные и алифатические гидроксильные группы лигнина допускают химические модификации, включая этерификацию, фенолирование, окисление, восстановление и аминирование [45].

В работе Tachon N., Benjelloun-Mlayah B. и Delmas M. [46], в своем исследовании использовали органосольвентный лигнин, экстрагированный из пшеничной соломы, в качестве заменителя фенола при синтезе фенолформальдегидных смол. Лигнин экстрагировали из пшеничной соломы с использованием смеси: уксусная кислота/муравьиная кислота/вода с массовым соотношением 55:30:15. Некоторые результаты этих исследований приведены в табл.1.

Таблица 1 - Характеристика фанеры, приготовленной с различными резольными фенолформальдегидными смолами

<i>Образец смолы с содержанием лигнина, мас. %</i>	<i>Прочность на сдвиг (Н/мм²)</i>	<i>Разрушение древесины (%)</i>	<i>Содержание формальдегида (мг/100 г фанеры)</i>
0 (стандартная фенолформальдегидная смола)	1,42	68	0,9
	1,66	82	
50	1,58	40	1,8
	2,25	20	
60	1,76	26	1,8
	1,63	54	
70	1,72	20	1,5

Лигнинфенолформальдегидные смолы были успешно синтезированы до степени замещения фенола 70% и показали физико-химические свойства, близкие к стандартным фенолформальдегидным смолам. Фанерные панели, изготовленные с использованием этих смол на основе лигнина, соответствовали спецификациям для промышленных панелей в соответствии с французским стандартом для наружных фанерных панелей.

Cetin N. S. и Ozmen N. в своих исследованиях продемонстрировали, что модифицированная органосольвентным лигнином фенолформальдегидная смола имела схожие или более высокие адгезионные свойства, чем обычная смола для склеивания древесностружечных плит [47, 48]. Они разработали фенолформальдегидную смолу, частично заменив фенол на лигнин при синтезе смолы. Лигнин вводили двумя различными способами. Первый метод заключался в замене фенола лигнином при синтезе смолы в разных процентных соотношениях (5-40 %) [49]. Во втором способе перед синтезом смолы лигнин был предварительно модифицирован реакцией его фенолирования и введен при синтезе в различных процентных соотношениях (20- 30%). Было оценено влияние различных уровней замещения фенола на органосольвентный лигнин. При этом только смолы, имеющие в своем составе от 20 до 30% лигнина, модифицированного перед введением его реакцией фенолирования, продемонстрировали более высокие или схожие адгезионные свойства в сравнении со стандартной смолой.

Подобные результаты продемонстрировали работы Jin Y., Cheng X., и Zheng Z. Фенолформальдегидные смолы были модифицированы частичным замещением фенольного компонента (до 20 %) ферментативным гидролизным лигнином [50]. Результаты показали, что полученная фанера, на основе клея полученного из фенолформальдегидной смолы, модифицированной лигнином, соответствуют китайскому национальному стандарту для производства фанеры первого сорта [51].

В исследовании Younesi-Kordkheili H. и Kazemi-Najaf S., был приготовлен клей для древесины на основе продукта конденсации лигнина, карбамида и глиоксаля [52], с целью снижения и возможного

исключения содержания формальдегида в древесных плитах. Полученные древесностружечные плиты (ДСтП), продемонстрировали более низкое выделение формальдегида, а также водопоглощение, чем ДСтП и фанера, изготовленные из стандартных фенолформальдегидных смол. Однако, использование глиоксалированного лигнина привело к снижению прочности готовых плит [53].

Song, Y; Wang, Z; Zhang[54], получили клеи на основе парового лигнина (SEL – лигнин,). Было продемонстрировано, что при оптимальных условиях содержание фенольных гидроксидов в лигнине увеличилось на 130 % [55], в то время как содержание метоксильных групп было снижено на 68%. Были определены оптимальные условия реакции, температура и время протекания реакции, определено массовое соотношение лигнина, а также концентрация катализатора. В результате было показано, что при замене фенола на паровой лигнин в диапазоне 10-70 %, адгезионные свойства фанеры с модифицированными паровым лигнином фенолформальдегидными смолами соответствовали китайскому национальному стандарту GB/T 14732-2006 [56].

Hussin M. H. и Zhang H.H., в своих исследованиях при синтезе фенолформальдегидных смол частично заменяли фенол на крафт-лигнин и органосольветный лигнин. Было приготовлено 5 различных фенолформальдегидных смол с содержанием крафт-лигнина от 0 до 50 масс.ч [57], а также 5 других фенолформальдегидных смол с добавлением органосольветного лигнина от 0 до 50 масс.ч. В результате было установлено, что смолы с 50 масс.ч. крафт-лигнина имеют наибольший предел прочности и модуль упругости, чем смолы с 50 масс.ч. органосольветного лигнина [58]. По мнению авторов, это может быть связано с более высоким содержанием гидроксильных групп в крафт-лигнине, что приводит к более высокой степени сшивки фенолформальдегидных смол, модифицированных крафт-лигнином.

Аналогичный подход был использован Khan M.A. и Ashraf S. M., для производства клея для древесных материалов с использованием лигнина из оболочки кофейных зерен [59]. В результате было выявлено, что при введении 10 масс.ч. лигнина в клеевой состав на основе фенолформальдегидных смол увеличиваются показатели механической прочности и прочности на сдвиг древесных клеевых материалов. Введение же более 50 масс.ч. лигнина из оболочки кофейных зерен в состав фенолформальдегидных смол ухудшало адгезию и прочность на сдвиг клееных древесных изделий.

Alonso M.V., Oliet M., García J., исследовали метилолирование лигносульфонатов древесины хвойных и лиственных пород, а также влияние образцов лигносульфонатов на реакцию отверждения модифицированной фенолформальдегидной смолы путем проведения неизотермической дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и применения изоконверсионных методов (методы Ozawa и Kissinger) [60]. В ходе исследования они выяснили, что изменение энергии активации реакций отверждения фенолформальдегидных смол при различных степенях её отверждения идентично, как для стандартной смолы, так и для смолы, содержащей лигносульфонаты. Наилучшие свойства проявил лигносульфонат аммония хвойных пород (LAS). Авторы обнаружили, что энергия активации лигнинфенолформальдегидной смолы ниже, чем у стандартной фенолформальдегидной смолы [61].

Представленные результаты исследований показывают большую перспективу получения и применения древесных композиционных материалов (ДКМ) с использованием модифицированных различными видами лигнинов фенолформальдегидных смол. При этом требуется продолжение исследований по решению проблемы устранения влияния лигнина на снижение некоторых показателей ДКМ: адгезия, механическая прочность, прочность на сдвиг, водопоглощение, а в некоторых случае увеличение выделения формальдегида из готовых изделий.

Вспененные материалы на основе лигнинсодержащих фенолформальдегидных смол

Фенольные пены обладают сочетанием свойств, которые делают их уникальными в качестве теплоизоляционных материалов [62]. За счет повышенной термостойкости и негорючести фенольные пены перспективны в строительстве, нефтехимической промышленности, изоляции трубопроводов и транспортных средств [63]. Однако, фенольная пена имеет некоторые недостатки, такие как низкая прочность, что может ограничить области ее применения и срок эксплуатации [64]. Поэтому вопрос о том, как модифицировать фенольную пену и улучшить связанные с ней свойства, стал актуальным в области теплоизоляционных материалов [65]. Для решения данной проблемы стали активно проводить исследования для применения лигнинсодержащих фенолформальдегидных смол для получения фенольных вспененных материалов [66].

Zhang N., Zhuo Li, Xiao Y. в своем исследовании получили фенольную пену на основе лигнинсодержащей фенолформальдегидной смолы с добавлением нитевидного кремния [67, 68].

Содержание свободного фенола и свободного формальдегида в лигнинсодержащей фенолформальдегидной смоле, в которой 50% фенола было заменено лигнином, было снижено, а термическая стабильность и механические свойства были заметно улучшены по сравнению с обычной фенольной пеной.

В исследовании, выполненном Jiang-ying Q., Qing H., Feng G. [69], были изучены пены, полученные на основе лигнина из травы осоки и фенолформальдегидной смолы, для разделения нефти и воды, для решения мировой проблемы увеличения количества промышленных нефтесодержащих сточных вод, а также частых аварий с разливами нефти. Пены, полученные в ходе эксперимента, имели открытые и взаимосвязанные поры, низкую объемную плотность, хорошие гидрофобные и маслопоглощающие свойства [70]. Было установлено, что свежеприготовленные пенопласты могут избирательно отделять воду от смесей масло/вода с большой маслосемкостью [71]. Кроме того, было показано, что пену можно легко рециркулировать и использовать повторно и она сохраняет сорбционную способность 83 % после 10 циклов абсорбции.

Liu J., Wang L., Zhang W. [72], рассмотрели введение в фенолформальдегидную смолу лигнина совместно с короткими волокнами целлюлозы в качестве армирующего материала, что способствовало снижению хрупкости и повышению прочности на сдвиг у готовой фенольной пены. В результате были получены пены на основе фенолформальдегидной смолы с микроволокном целлюлозы в качестве армирующего элемента, а также с лигнином и гемицеллюлозой в качестве полимерной матрицы [73]. Однако, основным недостатком полученной в результате эксперимента пены было неравномерное распределение пор, их увеличение и, как следствие, повышение теплопроводности материала.

Считается [74], что фенольная пена - это хороший теплоизоляционный материал с большим потенциалом развития. Модификация фенольной пены лигнином может позволить снизить ее недостатки, такие, как хрупкость.

Другие области применения лигнинсодержащих фенолформальдегидных смол

Существуют некоторые области использования фенолформальдегидных смол с добавлением лигнина, которые пока ещё малоизучены.

Так, Kuroe M., Tsunoda T., Kawano Y. [75,76], рассмотрели использование лигнинсодержащей фенолформальдегидной смолы в качестве основы для фрикционного материала при производстве тормозных колодок. Модифицированная лигнином фенольная смола была изготовлена из метанолорастворимого лигнина [77]. В результате испытаний на динамометрическом стенде было отмечено, что введение метанолорастворимого лигнина в смолу, увеличивает срок эксплуатации тормозной системы.

Masoumeh G., Arunjunai Raj M., Hendrikus V. H. [78], изучили применимость лигнинсодержащей фенолформальдегидной смолы в производстве бумажно-слоистых пластиков высокого давления. Сравнивали крафт-лигнин сосны и лигносульфонат натрия или [79], при этом 40 мас. % фенола заменяли лигнином. Полученные модифицированные лигнином смолы имели по сравнению со стандартной фенольной смолой более высокие показатели вязкости, содержания твердого вещества и свободного формальдегида. На основе полученных смол были приготовлены ламинатные материалы высокого давления на бумажной основе. Ламинат подвергали воздействию различных климатических условий и сравнивали по устойчивости к кипящей воде, набуханию по толщине, прочности на изгиб и ударопрочности. Было отмечено, что ламинат, на основе смолы модифицированной крафт -лигнином сосны имел наилучшую влагостойкость и был рекомендован для наружного применения.

Zhang Y., Yuan Z., Xu C. [80], в своей работе продемонстрировали синтез фенолформальдегидной смолы с лигнином и хлоридом хрома в качестве катализаторов для получения смолы «Novolac PHMF». Отверждение фенолформальдегидных смол осуществлялось с использованием отвердителей, не содержащих формальдегид, начиная с 120 °С и достигая пика примерно при 150 °С [81]. Модифицированная лигнином фенолформальдегидная смола имела средневзвешенную молекулярную массу 700-900 г/моль и отверждалась с более низкой температурой, чем стандартная фенолформальдегидная смола. Смолу применили в качестве полимерной матрицы для получения стеклопластиков. Результаты испытаний образцов стеклопластиков показали, что композиты с лигнинсодержащей смолой имеют более высокую механическую прочность, а также предел прочности при растяжении, чем у стандартных фенолформальдегидных смол.

Вывод

Фенолформальдегидные смолы продолжают находить применение во многих секторах промышленности, в том числе в строительстве и машиностроении.

Продолжаются исследования, направленные на улучшение свойств и расширение конечного использования фенольных смол. Однако истощение запасов нефтепродуктов, постоянные колебания цен на топливо и растущее внимание к экологическим проблемам, связанным с материалами, используемыми для производства фенолформальдегидной смолы, привели к поиску более безопасных и устойчивых ресурсов для синтеза смолы.

На сегодняшний день наиболее широко используемым методом производства лигнинсодержащей смолы является добавление лигнина в одностадийную реакцию поликонденсации фенола и формальдегида. Введение лигнина в состав фенолформальдегидной смолы может значительно снизить их вредное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Замещение фенола на лигнин в процессе реакции поликонденсации с формальдегидом может затруднять производство лигнинсодержащих фенолформальдегидных смол.

Однако, интерес к лигнину, как к биологической добавке усиливается тем фактом, что лигнин доступен по низкой цене и в больших количествах, в то время как фенол является относительно дорогим химическим веществом, которое производится из все более дорогой сырой нефти. Исследования по модификации фенолформальдегидных смол лигнином продолжают активно развиваться, способствуя расширению области их применения.

Литература

1. Волынский, В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учебно-справочное пособие / В. Н. Волынский. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 332 с. - ISBN 978-5-8114-4935-4. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/129078> (дата обращения: 06.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Monni, J. Structural and physical changes in phenolformaldehyde resol resin, as a function of the degree of condensation of resol solution/ J. Monni, L. Alvila, T. Pakkanen // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie070297a>
3. Kai D. Lignin-Based Functional Materials in a Sustainable World / D. Kai, M.J. Tan, P.L. Chee // Green Chemistry. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5GC02616D>
4. Mili M. Novel lignin as natural-biodegradable binder for various sectors - A review / M. Mili, S.A.R. Hashmi, M. Ather // Journal Applied. Polymer Science. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.5195124>
5. Wang Y.Y. Recent Advances in the Application of Functionalized Lignin in Value-Added Polymeric Materials / Y.Y. Wang, X. Meng, Y.J. Pu // Polymers. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12102277>
6. Nuruldiyanah K. Synthesis of Phenol Formaldehyde Resin with Paraformaldehyde and Formalin / K. Nuruldiyanah, R.A. Biak, D.Z. Abidin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 778 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012024>
7. Brydson, J.A. Plastics Materials / J.A. Brydson // Phenolic Resins. 1999. Pp.635-667. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-075064132-6/50064-4>
8. Knop A. Phenolic Resins Chemistry / A. Knop A, L. Pilato // Applications and Performance Future Directions-Springer. Berlin; Heidelberg. 1985. 313 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/pol.1986.140241211>
9. Crespy D. 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses / D. Crespy, M. Bozonnet, M. Meier // Angewandte Chemie International Edition. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200704281>
10. Takeichi T. Polymer Science: A Comprehensive Reference / T. Takeichi // Epoxy Resins and Phenol-Formaldehyde Resins. 2012. Pp.723-751. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00157-6>
11. Tofail S.A.M. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities / S.A.M. Tofail, E.P. Koumoulos, A. Bandyopadhyay // Materials Today. 2018. Pp.22 -37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>
12. Aires A. Phenolics in Foods: Extraction, Analysis and Measurements / A. Aires // Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications. London; United Kingdom, 2017. Pp.61-88 DOI: <https://doi.org/10.5772/66889>
13. Kaihong T. Research progress on modification of phenolic resin / T. Kaihong, Z. Ailing, G. Tiejun // Materials Today Communications. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101879>

14. Hu X.M. Effect of formaldehyde/phenol ratio (F/P) on the properties of phenolic resins and foams synthesized at room temperature / X.M. Hu, Y.Y. Zhao, W.M. Cheng // *Polymer Composites*. 2015. Pp. 1531-1540 DOI: <https://doi:10.1002/pc.23060>
15. Aierbe G.A. Influence of the initial formaldehyde to phenol molar ratio (F/P) on the formation of a phenolic resol resin catalyzed with amine / G.A. Aierbe, J.M. Echeverria, M.D. Martin // *Polymer*. 2000. DOI: [https://doi:10.1016/s0032-3861\(00\)00044-6](https://doi:10.1016/s0032-3861(00)00044-6)
16. Feng J. Characterization of depolymerized lignin and renewable phenolic compounds from liquefied waste biomass / J. Feng, J. Jiang, Z. Yang // *RSC Advances*. 2016. DOI: <https://doi:10.1039/c6ra16916c>
17. Tri-Dung N. Composite and Nanocomposite Materials - From Knowledge to Industrial Applications / N. Tri-Dung // *Introduction to Composite Materials*. 2020. DOI: <https://doi:10.5772/intechopen.91285>
18. Alejandro S. AtABCG29 is a monolignol transporter involved in lignin biosynthesis / S. Alejandro, Y. Lee, T. Tohge // *Current Biology*. 2012. DOI: <https://doi:10.1016/j.cub.2012.04.064>
19. Шестаков С.Л. Совершенствование методики определения гидроксильных групп лигнина методом ямр-спектроскопии / С.Л. Шестаков, Д.С. Косяков, А.Ю. Кожевников, Н.В. Ульяновский // *Химия растительного сырья*, 2017. № 2. С. 81-87. DOI: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/1641>
20. Lambertz C., Ece S., Fischer R. Progress and obstacles in the production and application of recombinant lignin-degrading peroxidases / C. Lambertz, S. Ece, R. Fischer // *Bioengineered*. 2016. Pp145-154. DOI: <https://doi:10.1080/21655979.2016.1191705>
21. Wang Y. Plant cell wall lignification and monolignol metabolism / Y. Wang, M. Chantreau, R. Sibout // *Frontiers in Plant Science*. 2013. DOI: <https://doi:10.3389/fpls.2013.00220>
22. Попова Ю.А. Сравнительный анализ лигнинов различных растительных форм с применением спектроскопии ³¹р-ямр / Ю.А. Попова, С.Л. Шестаков, А.Ю. Кожевников // *Химия растительного сырья*, 2019. № 4. С. 57-64. DOI: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/5119>
23. Turunen M. Modification of phenol-formaldehyde resol resins by lignin, starch, and urea / M. Turunen, L. Alvila, T. Tuula // *Journal of Applied Polymer Science*. 2003. Pp. 582-588. DOI: <https://doi:10.1002/app.11776>
24. Zhao M. Preparation and performance of lignin-phenol-formaldehyde adhesives / M. Zhao, J. Jing, Y. Zhu // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016. Pp. 163-167. DOI: <https://doi:10.1016/j.ijadhadh.2015.10.010>
25. Duval A. Mild and controlled lignin methylation with trimethyl phosphate: towards a precise control of lignin functionality / A. Duval, L. Averous // *Green Chemistry*. 2020. DOI: <https://doi:10.1039/C9GC03890F>
26. Satheesh M.N. Lignin and Its Applications with Polymers / M.N. Satheesh, A.K. Mohanty, L. Erickson // *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2009. Pp. 1-24. DOI: <https://doi:10.1166/jbmb.2009.1001>
27. Bajwa D.S. A concise review of current lignin production, applications, products and their environment impact / D.S. Bajwa, G. Pourhashem, A.H. Ullah // *Industrial Crops and Products*. 2019. DOI: <https://doi:10.1016/j.indcrop.2019.111526>
28. Mariana M. A current advancement on the role of lignin assustainable reinforcement material in biopolymericblends / M. Mariana, A. Tata // *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. Pp.2287-2316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.139>
29. Global Lignin Market – Industry Trends and Forecast to 2027: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-lignin-market> (Дата обращения: 01.09.21)
30. Poletto M. Depolymerization and Activation of Lignin: Current State of Knowledge and Perspectives / M. Poletto // *Lignin - Trends and Applications*. 2017. DOI: <https://doi:10.5772/intechopen.70376>
31. Saake B. Lignin / B. Saake, R. Lehnen // *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany. 2007. Pp. 21-36. DOI: <https://dokumen.tips/documents/ullmanns-encyclopedia-of-industrial-chemistry-lignin.html>
32. Lignin products market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021-2026): [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lignin-products-market> (Дата обращения: 03.09.21)
33. Lignin Market – Global Industry Analysis and Forecast (2019-2026) – By Product, Application and Region: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/lignin-market/13321> (Дата обращения: 03.09.21)

34. Global Lignin and Lignin-Based Products Market Status: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marketintellica.com/report/MI95392-global-lignin-and-lignin-based-products> (Дата обращения: 27.08.21)
35. Armin E. K. Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for producing materials / E.K. Armin, H.F. Zahra, F. Pedram // *Green Chemistry*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9GC02598G>
36. Siddiqui H.M.N. Sustainable bio-based phenol-formaldehyde resoles using hydrolytically depolymerized kraft lignin / H.M.N. Siddiqui, Z. Yuan, F. Crapulli // *Molecules*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22111850>
37. Erfani J. Structure, chemistry and physicochemistry of lignin for material functionalization / J. Erfani, N.G. Mehdi, F. Aghabozorgi // *SN Applied Sciences*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1126-8>
38. Zhoua L. Depolymerization of cellulose promoted by lignin via oxidation-hydrolysis route / L. Zhoua, D. Gaoa, Y. Ma // *Industrial Crops and Products*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114179>
39. Andriianova A.N. Effect of structural factors on the physicochemical properties of functionalized polyanilines / A.N. Andriianova, Y.N. Biglova, A.G. Mustafin // *RSC Advances*. 2020. Pp.7468-7491. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9RA08644G>
40. Rusakov D.S. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products / D.S. Rusakov, G.S. Varankina, A.N. Chubinskii // *Polymer Science, Series D*. 2018 Pp.33-38. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421218010185>
41. Ayrlmis N. Technological properties of plywood bonded with phenol-formaldehyde resol resin synthesized with bio-oil / N. Ayrlmis, G. Özbay // *Cerme*. 2017. Pp.493-500. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201723042351>
42. Hirano K. Phenolic Resins-100 Years of Progress and Their Future / K. Hirano, M. Asami // *Reactive and Functional Polymers*. 2013. Pp.56-269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2012.07.003>
43. Thielemans W. Lignin Esters for Use in Unsaturated Thermosets: Lignin Modification and Solubility Modeling / W. Thielemans, R.P. Wool // *Biomacromolecules*. 2005. Pp.1895-1905. DOI: <https://doi.org/10.1021/bm0500345>
44. Ferdosian F. Bio-Based Adhesives and Evaluation for Wood Composites Application / F. Ferdosian, Z. Pan, G. Gao // *Polymers*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym9020070>
45. Armin K. Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for producing materials / K. Armin, F. Zahra, F. Pedram // *Green Chemistry*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9GC02598G>
46. Tachon N. Organosolv wheat straw lignin as a phenol substitute for green phenolic resins / N. Tachon, B. Benjelloun-Mlayah, M. Delmas // *BioResources*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.5797-5815>
47. Cetin N. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: II / N. Cetin, N. Ozmen // *Particleboard production and properties*. 2002. Pp.481-486. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0143-7496\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/s0143-7496(02)00059-3)
48. Cetin N. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: I / N. Cetin, N. Ozmen // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2002. Pp.477-480. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0143-7496\(02\)00058-1](https://doi.org/10.1016/s0143-7496(02)00058-1)
49. Maloney T.M. (1993). *Modern particleboard and dry process manufacturing*. San Francisco: Miller Freeman Inc.. 688 p.
50. Wang M.C. Liquefaction of cornstalk in hot-compressed phenol-water medium to phenolic feedstock for the synthesis of phenol-formaldehyde resin / M.C. Wang, C.B. Xu, M. Leitch // *Bioresource Technology* 100. 2009. Pp.2305-2307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.043>
51. Jin Y. Preparation and characterization of phenolformaldehyde adhesives modified with enzymatic hydrolysis lignin / Y. Jin Y, X. Cheng, Z. Zheng // *Bioresource Technology*. 2010 Pp.2046-2048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.085>
52. Navarrete P. Low formaldehyde emitting biobased wood adhesives manufactured from mixtures of tannin and glyoxylated Lignin / P. Navarrete, A. Pizzi, S. Tapin-Lingua // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2011 Pp.1667-1684. DOI: <https://doi.org/10.1163/156856111X618489>
53. Younesi-Kordkheili H. Improving urea formaldehyde resin properties by glyoxalated soda bagasse lignin / H. Younesi-Kordkheili, S. Kazemi-Najafi, R. Eshkiki // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2015. Pp.77-85. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0850-4>
54. Liu G. Phenolation modification of wheat straw soda lignin and its utilization in preparation of lignin-based phenolic formaldehyde resins adhesive / G. Liu, X. Qiu, D. Xing // *Journal of Chemical Engineering of*

Chinese Universities. 2007. Pp. 678-684. DOI: https://scienceon.kisti.re.kr/srch/select_PORSrchArticle.do?cn=NART37029858

55.Patachia S. Thermal behavior of some wood species treated with ionic liquid / S. Patachia, C. Vasile // *Industrial Crops and Products*. 2013. Pp.511-519. DOI: <https://doi:10.1016/j.indcrop.2012.10.003>

56.Song Y. Synthetic process of bio-based phenol formaldehyde adhesive derived from demethylated wheat straw alkali lignin and its curing behavior / Y. Song, Z. Wang, X. Zhang // *Journal of Renewable Materials*. 2021. Pp.943-957. DOI: <https://doi:10.32604/jrm.2021.014131>

57.Jonoobi M. Chemical composition, crystallinity, and thermal degradation of bleached and unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofibers / M. Jonoobi, J. Harun, A. Shakeri // *BioResources*. 2009. Pp.626-639. DOI: <https://doi:10.15376/biores.4.2.626-639>

58.Hussin M.H. Preparation of environmental friendly phenol-formaldehyde wood adhesive modified with kenaf lignin /M.H. Hussin, H.H. Zhang, N.A. Aziz // *Beni-Suef University journal of basic and applied sciences*. 2017. Pp.409-418. DOI: <https://doi:10.1016/j.bjbas.2017.06.004>

59.Khan M.A. Development and characterization of a lignin-phenol-formaldehyde wood adhesive using coffee bean shell / M.A. Khan, S.M. Ashraf // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2005 Pp.493 -509. DOI: <https://doi:10.1163/1568561054352577>

60.Alonso M.V. Characterization and structural modification of ammoniac lignosulfonate by methylation / M.V. Alonso, J.J. Rodriguez, M. Oliet // *Journal of Applied Polymer Science*. 2001. Pp.2661 -2668. DOI: <https://doi:10.1002/app.2119>

61.Alonso M.V. Modification of ammonium lignosulfonate by phenolation for use in phenolic resins / M.V. Alonso, M. Oliet, F. Rodríguez // *Bioresource Technology*. 2005. Pp.1013-1018. DOI: <https://doi:10.1016/j.biortech.2004.09.009>

62.Mougel C. Phenolic Foams: A Review of Mechanical Properties, Fire Resistance and New Trends in Phenol Substitution / C. Mougel, T. Garnier, P. Cassagn // *Polymer*. 2019. Pp.86 -117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.12.050>

63.Nihal S. Thermal insulation capability of PEG-containing polyurethane foams / S. Nihal, O. Emel // *Thermochimica Acta*. 2008. Pp.15-21. DOI: <https://doi:10.1016/j.tca.2008.06.006>

64.Jongmin K. Vacuum insulation properties of phenolic foam / K. Jongmin, L. Jae-Hyug, S. Tae-Ho // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Pp.19-20. DOI: <https://doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.05.051>

65.Hidalgo J.P. Fire performance of charring closed-cell polymeric insulation materials: Polyisocyanurate and phenolic foam / J.P. Hidalgo, J.L. Torero, S. Welch // *Fire Materials*. 2018. Pp.358-373. DOI: <https://doi.org/10.1002/fam.2501/>

66.Zhang W. Preparation and properties of lignin-phenol-formaldehyde resins based on different biorefinery residues of agricultural biomass / W. Zhang W, Y. Ma, C. Wang // *Industrial Crops and Products*. 2013. Pp.326-333. DOI: <https://doi:10.1016/j.indcrop.2012.07.037>

67.Zhang N. Lignin-based phenolic resin modified with whisker silicon and its application / N. Zhang, Z. Li, Y. Xiao // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2020. Pp.67-77. DOI: <https://doi:10.1016/j.jobab.2020.03.008>

68.Hu L. Synthesis of foaming resol resin modified with oxidatively degraded lignosulfonate / L. Hu, Y. Zhou, R. Liu // *Industrial Crops and Products*. 2013. Pp.364-366. DOI: <https://doi:10.1016/j.indcrop.2012.11.034>

69.Jiang-ying Q. Carbon foams produced from lignin-phenol-formaldehyde resin for oil/water separation / Q. Jiang-ying, H. Qing, G. Feng // *Carbon*. 2017. DOI: <https://doi:10.1016/j.carbon.2017.02.082>

70.Yan L. Homoepitaxial growth of single crystal diamond by microwave plasma chemical vapor deposition / L. Yan, Z. Ma, L. Chen // *New Carbon Materials*. 2017. Pp.92-96. DOI: <https://doi:10.1016/j.carbon.2017.02.083>

71.Udayakumar K.V. Foamed materials for oil-water separation / K.V. Udayakumar, P.M. Gore, B. Kandasubramanian // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2021. DOI: <https://doi:10.1016/j.cej.2020.100076>

72.Liu Z. Reinforcement of Lignin-Based Phenol-Formaldehyde Adhesive with Nano-Crystalline Cellulose (NCC): Curing Behavior and Bonding Property of Plywood / Z. Liu, Y. Zhang, X. Wang // *Journal Materials Sciences and Applications*. 2015. DOI: <https://doi:10.4236/msa.2015.66060>

- 73.Liu J. Phenolic Resin Foam Composites Reinforced by Acetylated Poplar Fiber with High Mechanical Properties, Low Pulverization Ratio, and Good Thermal Insulation and Flame Retardant Performance / J. Liu, L. Wang, W. Zhang // Materials. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13010148>
- 74.Mimini V. Lignin-based foams as insulation materials: a review / V. Mimini, V. Kabrelian, K. Fackler. // Holzforschung. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0111>
- 75.Kuroe M. Application of lignin-modified phenolic resins to brake friction material / M. Kuroe, T. Tsunoda, Y. Kawano // Journal of Applied Polymer Science. 2012. Pp.310-315. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.38703>
- 76.Silveira V.W. Thermal and Dynamic Investigations on Brake Pad Composites Produced with Lignin-Phenol-Formaldehyde Resin / V.W. Silveira, E. Bittencourt, Z.J. Águila // Materials Science Forum, 2012. Pp.390-394. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.390>
- 77.Sarkar S. Lignin-modified phenolic resin: synthesis optimization, adhesive strength, and thermal stability / S. Sarkar, B. Adhikari // Journal of Adhesion Science and Technology. 2000. Pp.1179-1193. DOI: <https://doi.org/10.1163/156856100743167>
- 78.Masoumeh G. Paper-based laminates produced with kraft lignin-rich phenol-formaldehyde resoles meet requirements for outdoor usage / G. Masoumeh, M.R. Arunjunai, V.H. Hendrikus // European Journal of Wood and Wood Products. 2018. Pp.481-487. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1248-76>
- 79.Laurichesse S. Chemical modification of lignins: towards biobased polymers / S. Laurichesse, L. Averous // Progress in Polymer Science. 2014. Pp.1266-1290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004>
- 80.Zhongshun Y. Synthesis and thermomechanical property study of Novolac phenol-hydroxymethyl furfural (PHMF) resin / Y. Zhongshun, Z. Yongsheng, X. Chunbao // RSC Advances. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1039/c4ra04458d>
- 81.Vinod S. Graphene Oxide Epoxy (GO-xy): GO as Epoxy Adhesive by Interfacial Reaction of Functionalities / S. Vinod, C.S. Tiwary, S. Atanu // Advanced Materials Interfaces. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/admi.201700657>.

©Тычинкин И.В. – аспирант кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: ilya.ty4inkin@yandex.ru; Шишлов О.Ф. – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: o.shishlov@uscr.ru; Глухих В.В. – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: gluhihvv@m.usfeu.ru.

UDC 678.632

SYNTHESIS, PROPERTIES AND APPLICATION OF MODIFIED LIGNINS OF PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS (REVIEW)

I.V. Tychinkin, O.F. Shishlov, V.V. Glukhikh

The article presents information about phenol-formaldehyde resins, methods of their preparation, modification and practical use. This review is devoted to the use of lignin as an alternative to phenol replacement for the modification of phenol-formaldehyde resins and the production of materials based on them. The basic information about the properties, methods of obtaining and applying lignin in various industries is given. The market of lignin production, as well as its application in various industries for 2021 is analyzed.

Keywords: phenol, phenol-formaldehyde resin, lignin, modified phenol-formaldehyde resins, lignin-containing phenol-formaldehyde resins, materials.

References

1. Volynsky, V. N. Technology of wood boards and composite materials: an educational and reference manual / V. N. Volynsky. - 3rd ed., revised. - Saint Petersburg: Lan, 2020. - 332 p. - ISBN 978-5-8114-4935-4. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/129078> (accessed: 06.05.2021). - Access mode: for authorization. users.Monni, J. Structural and physical changes in phenolformaldehyde resol resin, as a function of the degree of condensation of resol solution/ J. Monni, L. Alvila, T. Pakkanen // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie070297a>.

2. Kai D. Lignin-Based Functional Materials in a Sustainable World / D. Kai, M.J. Tan, P.L. Chee // *Green Chemistry*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5GC02616D>.
3. Mili M. Novel lignin as natural-biodegradable binder for various sectors - A review / M. Mili, S.A.R. Hashmi, M. Ather // *Journal Applied. Polymer Science*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.5195124>.
4. Wang Y.Y. Recent Advances in the Application of Functionalized Lignin in Value-Added Polymeric Materials / Y.Y. Wang, X. Meng, Y.J. Pu // *Polymers*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12102277>.
5. Nuruldiyanah K. Synthesis of Phenol Formaldehyde Resin with Paraformaldehyde and Formalin / K. Nuruldiyanah, R.A. Biak, D.Z. Abidin // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 778 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012024>.
6. Brydson, J.A. *Plastics Materials* / J.A. Brydson // *Phenolic Resins*. 1999. Pp.635-667. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-075064132-6/50064-4>.
7. Knop A. *Phenolic Resins Chemistry* / A. Knop A, L. Pilato // *Applications and Performance Future Directions-Springer*. Berlin; Heidelberg. 1985. 313 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/pol.1986.140241211>.
8. Crespy D. 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses / D. Crespy, M. Bozonnet, M. Meier // *Angewandte Chemie International Edition*. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200704281>.
9. Takeichi T. *Polymer Science: A Comprehensive Reference* / T. Takeichi // *Epoxy Resins and Phenol - Formaldehyde Resins*. 2012. Pp.723-751. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00157-6>.
10. Tofail S.A.M. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities / S.A.M. Tofail, E.P. Koumoulos, A. Bandyopadhyay // *Materials Today*. 2018. Pp.22 -37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>.
11. Aires A. *Phenolics in Foods: Extraction, Analysis and Measurements* / A. Aires // *Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications*. London; United Kingdom, 2017. Pp.61-88 DOI: <https://doi.org/10.5772/66889>.
12. Kaihong T. Research progress on modification of phenolic resin / T. Kaihong, Z. Ailing, G. Tiejun // *Materials Today Communications*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101879>.
13. Hu X.M. Effect of formaldehyde/phenol ratio (F/P) on the properties of phenolic resins and foams synthesized at room temperature / X.M. Hu, Y.Y. Zhao, W.M. Cheng // *Polymer Composites*. 2015. Pp. 1531 - 1540 DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.23060>.
14. Aierbe G.A. Influence of the initial formaldehyde to phenol molar ratio (F/P) on the formation of a phenolic resin catalyzed with amine / G.A. Aierbe, J.M. Echeverria, M.D. Martin // *Polymer*. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00044-6).
15. Feng J. Characterization of depolymerized lignin and renewable phenolic compounds from liquefied waste biomass / J. Feng, J. Jiang, Z. Yang // *RSC Advances*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1039/c6ra16916c>.
16. Tri-Dung N. *Composite and Nanocomposite Materials - From Knowledge to Industrial Applications* / N. Tri-Dung // *Introduction to Composite Materials*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.91285>.
17. Alejandro S. AtABCG29 is a monolignol transporter involved in lignin biosynthesis / S. Alejandro, Y. Lee, T. Tohge // *Current Biology*. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.04.064>.
18. Shestakov S.L. Improving the methodology for determining hydroxyl groups of lignin by NMR spectroscopy / S.L. Shestakov, D.S. Kosyakov, A.Yu. Kozhevnikov, N.V. Ulyanovsk // *Chemistry of plant raw materials*, 2017. No. 2. pp. 81-87. DOI: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/1641> Lambertz C., Ece S., Fischer R. Progress and obstacles in the production and application of recombinant lignin-degrading peroxidases / C. Lambertz, S. Ece, R. Fischer // *Bioengineered*. 2016. Pp.145-154. DOI: <https://doi.org/10.1080/21655979.2016.1191705>.
19. Wang Y. Plant cell wall lignification and monolignol metabolism / Y. Wang, M. Chantreau, R. Sibout // *Frontiers in Plant Science*. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00220>.
20. Popova Yu.A. Comparative analysis of lignins of various plant forms using ³¹p-nmr spectroscopy / Yu.A. Popova, S.L. Shestakov, A.Yu. Kozhevnikov // *Chemistry of plant raw materials*, 2019. No. 4. pp. 57 -64. DOI: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/5119> Turunen M. Modification of phenol-formaldehyde resin resins by lignin, starch, and urea / M. Turunen, L. Alvila, T. Tuula // *Journal of Applied Polymer Science*. 2003. Pp. 582-588. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.11776>.
21. Zhao M. Preparation and performance of lignin-phenol-formaldehyde adhesives / M. Zhao, J. Jing, Y. Zhu // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016. Pp. 163-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2015.10.010>.

22. Duval A. Mild and controlled lignin methylation with trimethyl phosphate: towards a precise control of lignin functionality / A. Duval, L. Averous // *Green Chemistry*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9GC03890F>
23. Satheesh M.N. Lignin and Its Applications with Polymers / M.N. Satheesh, A.K. Mohanty, L. Erickson // *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2009. Pp. 1-24. DOI: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2009.1001>
24. Bajwa D.S. A concise review of current lignin production, applications, products and their environment impact / D.S. Bajwa, G. Pourhashem, A.H. Ullah // *Industrial Crops and Products*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111526>
25. Mariana M. A current advancement on the role of lignin as sustainable reinforcement material in biopolymeric blends / M. Mariana, A. Tata // *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. Pp. 2287-2316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.139>
26. Global Lignin Market – Industry Trends and Forecast to 2027: [Electronic resource]. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-lignin-market> (Дата обращения: 01.09.21)
27. Poletto M. Depolymerization and Activation of Lignin: Current State of Knowledge and Perspectives / M. Poletto // *Lignin - Trends and Applications*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.70376>
28. Saake B. Lignin / B. Saake, R. Lehnen // *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany. 2007. Pp. 21-36. DOI: <https://dokumen.tips/documents/ullmanns-encyclopedia-of-industrial-chemistry-lignin.html>
29. Lignin products market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021-2026): [Electronic resource]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/lignin-products-market> (Accessed: 03.09.21).
30. Lignin Market – Global Industry Analysis and Forecast (2019-2026) – By Product, Application and Region: [Electronic resource]. URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/lignin-market/13321> (Accessed: 03.09.21)
31. Global Lighting and Lignin-Based Products Market Status: [Electronic resource]. URL: <https://www.marketintellica.com/report/MI95392-global-lignin-and-lignin-based-products> (Accessed: 08/27.21). Armin E. K. Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for producing materials / E.K. Armin, H.F. Zahra, F. Pedram // *Green Chemistry*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9GC02598G>
32. Siddiqui H.M.N. Sustainable bio-based phenol-formaldehyde resoles using hydrolytically depolymerized kraft lignin / H.M.N. Siddiqui, Z. Yuan, F. Crapulli // *Molecules*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22111850>
33. Erfani J. Structure, chemistry and physicochemistry of lignin for material functionalization / J. Erfani, N.G. Mehdi, F. Aghabozorgi // *SN Applied Sciences*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1126-8>
34. Zhoua L. Depolymerization of cellulose promoted by lignin via oxidation-hydrolysis route / L. Zhoua, D. Gaoa, Y. Ma // *Industrial Crops and Products*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114179>
35. Andriianova A.N. Effect of structural factors on the physicochemical properties of functionalized polyanilines / A.N. Andriianova, Y.N. Biglova, A.G. Mustafin // *RSC Advances*. 2020. Pp. 7468-7491. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9RA08644G>
36. Rusakov D.S. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products / D.S. Rusakov, G.S. Varankina, A.N. Chubinskii // *Polymer Science, Series D*. 2018 Pp. 33-38. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995421218010185>
37. Ayrilmis N. Technological properties of plywood bonded with phenol-formaldehyde resol resin synthesized with bio-oil / N. Ayrilmis, G. Özbay // *Cerme*. 2017. Pp. 493-500. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201723042351>
38. Hirano K. Phenolic Resins-100 Years of Progress and Their Future / K. Hirano, M. Asami // *Reactive and Functional Polymers*. 2013. Pp. 56-269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2012.07.003>
39. Thielemans W. Lignin Esters for Use in Unsaturated Thermosets: Lignin Modification and Solubility Modeling / W. Thielemans, R.P. Wool // *Biomacromolecules*. 2005. Pp. 1895-1905. DOI: <https://doi.org/10.1021/bm0500345>
40. Ferdosian F. Bio-Based Adhesives and Evaluation for Wood Composites Application / F. Ferdosian, Z. Pan, G. Gao // *Polymers*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym9020070>
41. Armin K. Grafting strategies for hydroxy groups of lignin for producing materials / K. Armin, F. Zahra, F. Pedram // *Green Chemistry*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9GC02598G>
42. Tachon N. Organosolv wheat straw lignin as a phenol substitute for green phenolic resins / N. Tachon, B. Benjelloun-Mlayah, M. Delmas // *BioResources*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.11.3.5797-5815>

43. Cetin N. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: II / N. Cetin, N. Ozmen // Particleboard production and properties. 2002. Pp.481-486. DOI: [https://doi:10.1016/s0143-7496\(02\)00059-3](https://doi:10.1016/s0143-7496(02)00059-3)
44. Cetin N. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: I / N. Cetin, N. Ozmen // International Journal of Adhesion and Adhesives. 2002. Pp.477-480. DOI: [https://doi:10.1016/s0143-7496\(02\)00058-1](https://doi:10.1016/s0143-7496(02)00058-1)
45. Maloney T.M. (1993). Modern particleboard and dry process manufacturing. San Francisco: Miller Freeman Inc.. 688 p.
46. Wang M.C. Liquefaction of cornstalk in hot-compressed phenol-water medium to phenolic feedstock for the synthesis of phenol-formaldehyde resin / M.C. Wang, C.B. Xu, M. Leitch // Bioresource Technology 100. 2009. Pp.2305-2307. DOI: <https://doi:10.1016/j.biortech.2008.10.043>
47. Jin Y. Preparation and characterization of phenol-formaldehyde adhesives modified with enzymatic hydrolysis lignin / Y. Jin Y, X. Cheng, Z. Zheng // Bioresource Technology. 2010 Pp.2046-2048. DOI: <https://doi:10.1016/j.biortech.2009.09.085>
48. Navarrete P. Low formaldehyde emitting biobased wood adhesives manufactured from mixtures of tannin and glyoxylated Lignin / P. Navarrete, A. Pizzi, S. Tapin-Lingua // Journal of Adhesion Science and Technology. 2011 Pp.1667-1684. DOI: <https://doi:10.1163/156856111X618489>
49. Younesi-Kordkheili H. Improving urea formaldehyde resin properties by glyoxalated soda bagasse lignin / H. Younesi-Kordkheili, S. Kazemi-Najafi, R. Eshkiki // European Journal of Wood and Wood Products. 2015. Pp.77-85. DOI: <https://doi:10.1007/s00107-014-0850-4>
50. Liu G. Phenolation modification of wheat straw soda lignin and its utilization in preparation of lignin-based phenolic formaldehyde resins adhesive / G. Liu, X. Qiu, D. Xing // Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities. 2007. Pp. 678-684. DOI: https://scienceon.kisti.re.kr/srch/select_PORSrchArticle.do?cn=NART37029858
51. Patachia S. Thermal behavior of some wood species treated with ionic liquid / S. Patachia, C. Vasile // Industrial Crops and Products. 2013. Pp.511-519. DOI: <https://doi:10.1016/j.indcrop.2012.10.003>
52. Song Y. Synthetic process of bio-based phenol formaldehyde adhesive derived from demethylated wheat straw alkali lignin and its curing behavior / Y. Song, Z. Wang, X. Zhang // Journal of Renewable Materials. 2021. Pp.943-957. DOI: <https://doi:10.32604/jrm.2021.014131>
53. Jonoobi M. Chemical composition, crystallinity, and thermal degradation of bleached and unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofibers / M. Jonoobi, J. Harun, A. Shakeri // BioResources. 2009. Pp.626-639. DOI: <https://doi:10.15376/biores.4.2.626-639>
54. Hussin M.H. Preparation of environmental friendly phenol-formaldehyde wood adhesive modified with kenaf lignin / M.H. Hussin, H.H. Zhang, N.A. Aziz // Beni-Suef University journal of basic and applied sciences. 2017. Pp.409-418. DOI: <https://doi:10.1016/j.bjbas.2017.06.004>
55. Khan M.A. Development and characterization of a lignin-phenol-formaldehyde wood adhesive using coffee bean shell / M.A. Khan, S.M. Ashraf // Journal of Adhesion Science and Technology. 2005 Pp.493-509. DOI: <https://doi:10.1163/1568561054352577>
56. Alonso M.V. Characterization and structural modification of ammoniac lignosulfonate by methylation / M.V. Alonso, J.J. Rodriguez, M. Oliet // Journal of Applied Polymer Science. 2001. Pp.2661-2668. DOI: <https://doi:10.1002/app.2119>
57. Alonso M.V. Modification of ammonium lignosulfonate by phenolation for use in phenolic resins / M.V. Alonso, M. Oliet, F. Rodríguez // Bioresource Technology. 2005. Pp.1013-1018. DOI: <https://doi:10.1016/j.biortech.2004.09.009>
58. Mougél C. Phenolic Foams: A Review of Mechanical Properties, Fire Resistance and New Trends in Phenol Substitution / C. Mougél, T. Garnier, P. Cassagn // Polymer. 2019. Pp.86-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.12.050>
59. Nihal S. Thermal insulation capability of PEG-containing polyurethane foams / S. Nihal, O. Emel // Thermochimica Acta. 2008. Pp.15-21. DOI: <https://doi:10.1016/j.tca.2008.06.006>
60. Jongmin K. Vacuum insulation properties of phenolic foam / K. Jongmin, L. Jae-Hyug, S. Tae-Ho // International Journal of Heat and Mass Transfer. Pp.19-20. DOI: <https://doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.05.051>

- 61.Hidalgo J.P. Fire performance of charring closed-cell polymeric insulation materials: Polyisocyanurate and phenolic foam / J.P. Hidalgo, J.L. Torero, S. Welch // *Fire Materials*. 2018. Pp.358-373. DOI: <https://doi.org/10.1002/fam.2501/>
- 62.Zhang W. Preparation and properties of lignin–phenol-formaldehyde resins based on different biorefinery residues of agricultural biomass / W. Zhang W, Y. Ma, C. Wang // *Industrial Crops and Products*. 2013. Pp.326-333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.037>
- 63.Zhang N. Lignin-based phenolic resin modified with whisker silicon and its application / N. Zhang, Z. Li, Y. Xiao // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2020. Pp.67-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.008>
- 64.Hu L. Synthesis of foaming resol resin modified with oxidatively degraded lignosulfonate / L. Hu, Y. Zhou, R. Liu // *Industrial Crops and Products*. 2013. Pp.364-366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.034>
- 65.Jiang-ying Q. Carbon foams produced from lignin-phenol-formaldehyde resin for oil/water separation / Q. Jiang-ying, H. Qing, G. Feng // *Carbon*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.02.082>
- 66.Yan L. Homoepitaxial growth of single crystal diamond by microwave plasma chemical vapor deposition / L. Yan, Z. Ma, L. Chen // *New Carbon Materials*. 2017. Pp.92-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.02.083>
- 67.Udayakumar K.V. Foamed materials for oil-water separation / K.V. Udayakumar, P.M. Gore, B. Kandasubramanian // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2020.100076>
- 68.Liu Z. Reinforcement of Lignin-Based Phenol-Formaldehyde Adhesive with Nano-Crystalline Cellulose (NCC): Curing Behavior and Bonding Property of Plywood / Z. Liu, Y. Zhang, X. Wang // *Journal Materials Sciences and Applications*. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4236/msa.2015.66060>
- 69.Liu J. Phenolic Resin Foam Composites Reinforced by Acetylated Poplar Fiber with High Mechanical Properties, Low Pulverization Ratio, and Good Thermal Insulation and Flame Retardant Performance / J. Liu, L. Wang, W. Zhang // *Materials*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13010148>
- 70.Mimini V. Lignin-based foams as insulation materials: a review / V. Mimini, V. Kabrelian, K. Fackler. // *Holzforschung*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0111>
- 71.Kuroe M. Application of lignin-modified phenolic resins to brake friction material / M. Kuroe, T. Tsunoda, Y. Kawano // *Journal of Applied Polymer Science*. 2012. Pp.310-315. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.38703>
- 72.Silveira V.W. Thermal and Dynamic Investigations on Brake Pad Composites Produced with Lignin-Phenol-Formaldehyde Resin / V.W. Silveira, E. Bittencourt, Z.J. Águila // *Materials Science Forum*, 2012. Pp.390-394. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.390>
- 73.Sarkar S. Lignin-modified phenolic resin: synthesis optimization, adhesive strength, and thermal stability / S. Sarkar, B. Adhikari // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2000. Pp.1179-1193. DOI: <https://doi.org/10.1163/156856100743167>
- 74.Masoumeh G. Paper-based laminates produced with kraft lignin-rich phenol-formaldehyde resoles meet requirements for outdoor usage / G. Masoumeh, M.R. Arunjunai, V.H. Hendrikus // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2018. Pp.481-487. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1248-76>
- 75.Laurichesse S. Chemical modification of lignins: towards biobased polymers / S. Laurichesse, L. Averous // *Progress in Polymer Science*. 2014. Pp.1266-1290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004>
- 76.Zhongshun Y. Synthesis and thermomechanical property study of Novolac phenol-hydroxymethyl furfural (PHMF) resin / Y. Zhongshun, Z. Yongsheng, X. Chunbao // *RSC Advances*. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1039/c4ra04458d>
- 77.Vinod S. Graphene Oxide Epoxy (GO-xy): GO as Epoxy Adhesive by Interfacial Reaction of Functionalities / S. Vinod, C.S. Tiwary, S. Atanu // *Advanced Materials Interfaces*. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/admi.201700657>.

©**Tychinkin I.V.** – Postgraduate student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, Ural State Forestry Engineering University (USFEU), e-mail: ilya.tychinkin@yandex.ru; **Shishlov O.F.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: o.shishlov@ucp.ru; **Glukhikh V.V.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: gluhihvv@m.usfeu.ru.

УДК 630*867.5 / 663.4

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ В БИОТЕХНОЛОГИИ

Т.М. Панова, Е.В. Евдокимова, Г.И. Мальцев

Описана история возникновения АУ и ДООУ. Рассмотрена микроструктура углеродного материала на основе древесины. Показано применение углеродных нанопористых материалов на основе березовой или осиновой древесины в биотехнологических процессах таких, как виноделие и производство пива.

Ключевые слова: пиролиз, активация, нанопористые углеродные материалы.

Введение

Наша цивилизация зародилась одновременно с производством древесного угля (бронзовый век, 3 тысячи лет до нашей эры), поскольку первые металлы выплавлены на древесном угле. Затем (1 тысяча лет до нашей эры) бронзовый век сменился железным веком.

Первой технологией пиролиза было углежжение, при котором образующаяся в процессе пиролиза парогазовая смесь выбрасывалась в атмосферу без какой-либо обработки, а единственным товарным продуктом являлся древесный уголь.

В начале 20-го века была разработана технология активации древесного угля, продукт которой – активный уголь (АУ) сразу нашел несколько направлений применения. В 30-х годах была синтезирован еще один материал на основе древесного угля – окисленный уголь (ДООУ). В настоящее время АУ организовано во многих странах и годовой объем производства в мире превысил 2 млн тонн.

В 21 веке сырьевая база для производства древесного угля в России резко расширилась. Если ранее практически единственным сырьем была распиленная и расколотая березовая древесина, то в настоящее время разработаны и применяются технологии переработки разных пород низкокачественной древесины [1,2,3]. В частности, с нашим участием разработана технология производства углеродных материалов на основе осиновой древесины различного качества, включая получение углеродных сорбентов и исследование их свойств [4,5,6].

Одним из древнейших биотехнологических процессов является виноделие и производство пива, которое берет начало с эпохи неолита, т.е. за 8 тысяч лет до нашей эры.

В воде для пивоварения по разным причинам лимитируется содержание некоторых анионов и катионов. Наличие магния в воде нежелательно, т.к. это придает пиву неприятный привкус и снижает пеностойкость. Избыточное содержание в воде железа придает пиву чернильный оттенок, образуются летучие газы, придающие пиву неприятный запах. Силикаты снижают скорость брожения, ухудшают вкус пива, повышенное содержание нитратов указывает на загрязнение воды продуктами гниения. При этом замедляется процесс брожения.

Методы и материалы

Активация исходного угля проводилась в предварительно нагретой муфельной печи, внутри которой вращалась Z-образная вставка [7] с навеской исходного березового угля. Вода через насос-дозатор подавалась в пароперегреватель, перегретый пар поступал во вставку на активацию. Удельный расход пара составлял 1,3 кг/кг угля, температура процесса активации поддерживалась на уровне 820°C.

Для получения окисленного угля реторта с навеской активного угля помещалась в муфельную печь, нагретую до температуры около 250°C. Воздух предварительно пропускали через барботажную емкость с водой, а затем он поступал на окисление. Удельный часовой расход воздуха составлял 0,55 л/г угля. Продолжительность процесса окисления составляла 24 часа.

Содержание полифенолов в пивном сусле определялось с применением реактива Фолина – Чокальтеу. Содержание высокомолекулярных белковых компонентов в пивном сусле оценивали по таниновому показателю. Смесь колориметрировали при 560 нм и определяли оптическую плотность смеси. Содержание высокомолекулярной фракции белков в сусле по Лундину (мг/100 см³) рассчитывали по формуле:

$$A=1,63+36,23D,$$

где: А - содержание высокомолекулярной фракции белков сусла, D – оптическая плотность раствора.

Результаты

На одном из пивзаводов Свердловской области проведены испытания установки для воды до требований ТИ 10-5031536-79-90 к воде для пива и безалкогольных напитков.

Очистка осуществлялась путём пропускания воды через фильтры, заполненные АУ и ДОУ. Полученные данные показывают, что такая обработка воды позволяет существенно снизить содержание ионов кальция и магния, а содержание железа снизить на 80...90 %.

Наиболее активным по извлечению катионов оказался ДОУ, по извлечению анионов – АУ, что соответствует их поверхностным функциональным группам. В опытах наблюдалось снижение содержания ионов марганца, что положительно влияет на качество воды и продуктов брожения. АУ сорбирует катионы, находящиеся в основном в коллоидной форме. Пропускание исходной воды через колонки с АУ и ДОУ позволяет на выходе получить воду, соответствующую нормативному уровню [8,9,10]. Такая очистка подавляет образование в дальнейшем металл-белковых помутнений в сусле и пиве и благоприятно влияет на протекание процессов ферментации.

Давно известно использование угля БАУ (активный березовый дробленый уголь) для очистки сортировки на ликеро-водочных заводах. Еще одно направление применения АУ в биотехнологии – очистка пивного сусла. В пивном сусле и в самом пиве примесь полифенолов является нежелательной. С одной стороны, они являются причиной коллоидного помутнения пива, т.е. снижают его качество и увеличивают возврат пива из системы торговли. С другой стороны, полифенолы снижают скорость процесса брожения сусла и пива.

На рисунке представлена микрофотограмма фрагмента поверхности АУ на основе древесины, из которой видно, что по структуре он является нанопористым материалом, в котором имеются все типы пор. Следовательно, он может поглощать вещества в широком диапазоне молекулярных масс.

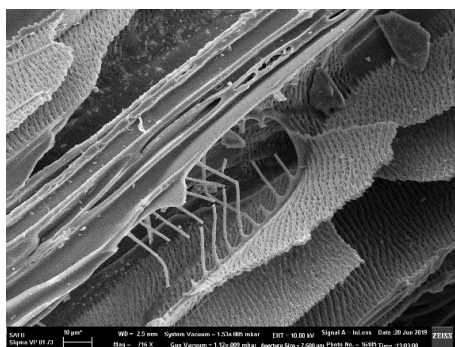


Рис.1. Микроструктура углеродного материала на основе древесины

Это обстоятельство, по нашему мнению, создаёт хорошую перспективу для промышленного использования углеродных нанопористых материалов, особенно в тех случаях, когда исходная смесь содержит как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные компоненты. Учитывая, что модификация поверхности древесного угля может усиливать как анионообменные, так и катионообменные свойства поверхности, применение модифицированного древесного угля имеет практическую ценность и перспективу развития [11,12,13].

Нами поставлен эксперимент, где в качестве независимых переменных приняты: X1 – дозировка угля, % от сусла; X2 – продолжительность обработки сусла углем, мин. Основной уровень и интервалы варьирования факторов указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы варьирования факторов

Обозначение	Факторы	Основной уровень	Интервал варьирования	Верхний уровень	Нижний уровень
X ₁	Дозировка угля, % к массе сусла	0,15	0,05	0,2	0,1
X ₂	Продолжительность обработки, мин	20	15	35	5

Параметры оптимизации процесса обработки пивного сусла: Y_1 – степень извлечения полифенолов, % от исходной концентрации; Y_2 – степень извлечения белков.

В таблице 2 представлена матрица планирования эксперимента.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента в кодированном виде

№ опыта	X_1	X_2	Y_1	Y_2
1	-	-	22,27	44,09
2	+	-	29,01	40,06
3	-	+	27,23	54,70
4	+	+	36,00	5,48

В результате обработки данных и проверки уравнений на адекватность по Фишеру получены следующие математические модели в кодированном виде:

$$Y_1 = 28,63 + 3,88 X_1 + 2,99 X_2 + 0,5 X_1 X_2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 36,1 - 13,3 X_1 - 5,99 X_2 - 11,3 X_1 X_2 \quad (2)$$

Анализ уравнения (1) показывает, что на степень извлечения полифенолов положительное влияние оказывают оба фактора, но в большей степени влияет дозировка внесения активного угля марки ОУ-А.

Что касается степени извлечения высокомолекулярной фракции белков (2), то характер влияния изученных факторов неоднозначен.

При нижних значениях факторов (при $X_1 = -1$ и $X_2 = -1$) степень извлечения белков составляет 40...45%, что показывает способность активного угля марки ОУ-А сорбировать высокомолекулярные фракции белков. При $X_1 = -1$ и $X_2 = +1$ или $X_1 = +1$ и $X_2 = -1$ высокая степень извлечения (более 40%) сохраняется. Однако, при одновременном увеличении X_1 и X_2 интенсивность извлечения белков начинает снижаться. По нашему мнению, данное явление можно объяснить тем, что активные угли способны не только сорбировать белки, но и изменять их структуру, в частности степень полимеризации. Высокие дозировки угля и длительность обработки способствуют коагуляции более низкомолекулярных фракций белков. Эксперимент показал, что для достижения необходимой степени извлечения белков из пивного сусла (35...40%) не следует применять высокие значения факторов X_1 и X_2 .

Заключение

Наши исследования показали, что при добавке в сусло АУ марки ОУ-А (порошковый активный уголь) в дозировке 0,2% от сусла извлекается 33% имеющихся в нём полифенолов. Необходимо иметь в виду, что полное освобождение пива от полифенолов нежелательно, т.к. они участвуют в формировании вкуса готового продукта.

Таким образом, в биотехнологии уже сейчас имеется как минимум три варианта применения углеродных нанопористых материалов на основе березовой или осиновой древесины. Это доочистка воды производства пива и безалкогольных напитков, очистка сортировки в производстве водки и обработка пивного сусла с целью повышения его доброкачественности. Мы полагаем, что в ближайшем будущем сфера их применения их расширится именно вследствие их нанопористой структуры.

Литература

1. Юрьев Ю.Л., Орлов В.П., Панюта С.А., Штеба Т.В. Проблемы аппаратного оформления процессов переработки измельченной древесины в активные угли // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2000. №5-6. С.52.
2. Юрьев Ю.Л. Тенденции развития технологии пиролиза древесины // Леса России и хозяйство в них. 2016. №3 (58). С. 58-63.
3. Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. Варианты переработки низкосортной древесины на древесные материалы // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. №5 (359). С.139-149.
4. Дроздова Н.А., Юрьев Ю.Л. Активация березового и осинового угля // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15. №13. С.147-148.

5. Евдокимова Е.В. Некоторые особенности получения активного осинового угля // Леса России и хозяйство в них. 2017. №4 (63). С.67-72.
6. Евдокимова У.В., Панова Т.М., Юрьев Ю.Л. Особенности структуры и свойств активных углей, полученных из осиновой древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. №2. С.87-92.
7. Способ активации карбонизованных материалов: пат. № 2051097 РФ. заявл.92008212/02, 25.11.1992; опубл. 27.12.1995.
8. Юрьев Ю.Л., Дроздова Н.А., Панова Т.М. Доочистка артезианской воды с применением модифицированных древесных углей // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т.16. №19. С.85-86.
9. Устройство для подготовки воды: пат. №96367 РФ. заявл.2010107111/22, 26.02.2010; опубл.27.07.2010.
10. Юрьев Ю.Л. Получение и использование березового активного угля для доочистки питьевой воды // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. №3 (375). С.169-175.
11. Юрьев Ю.Л., Панова Т.М., Дроздова Н.А. Применение модифицированных древесных углей для улучшения солевого состава воды в пивоварении // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. №1. С.134-138.
12. Юрьев Ю.Л., Панова Т.М., Дроздова Н.А., Тропина К.Ю. Исследование возможности применения древесного угля для стабилизации пива // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. №5. С.120-124.
13. Евдокимова Е.В., Панова Т.М., Юрьев Ю.Л. Влияние активного угля на степень извлечения полифенолов из пивного сусла // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. № 6. С. 124-126.

©Панова Т.М. – канд. техн. наук, заведующая кафедрой химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail ptm55@yandex.ru; Евдокимова Е.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail yevdokimovaekaterina@gmail.com; Мальцев Г.И. – д-р техн. наук, доцент кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail mgi@elem.ru.

UDK 630*867.5 / 663.4

APPLICATION OF WOOD PYROLYSIS PRODUCTS IN BIOTECHNOLOGY

T.M. Panova, E.V. Evdokimova, G.I. Maltsev

The origin of charcoal and oxidized charcoal is described. The microstructure of a carbon material based on wood is considered. The use of carbon nanoporous materials based on birch or aspen wood in biotechnological processes such as winemaking and beer production is shown.

Keywords: pyrolysis, activation, nanoporous carbon materials.

References

1. Yuryev Yu.L., Orlov V.P., Panyuta S.A., Shteba T.V. Problems of hardware design of the processes of processing crushed wood into active coals. Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine. 2000. No. 5-6. P.52.
2. Yuryev Yu.L. Trends in the development of wood pyrolysis technology // Forests of Russia and the economy in them. 2016. No. 3 (58). pp. 58-63.
3. Yuryev Yu.L., Gindulin I.K., Drozdova N.A. Options for processing low-grade wood into wood materials. Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine. 2017. No. 5 (359). pp.139-149.
4. Drozdova N.A., Yuriev Yu.L. Activation of birch and aspen coal // Bulletin of the Kazan Technological University. 2012. V.15. No. 13. pp.147-148.
5. Evdokimova E.V. Some features of obtaining active aspen coal // Forests of Russia and the economy in them. 2017. No. 4 (63). pp.67-72.

6. Evdokimova U.V., Panova T.M., Yuriev Yu.L. Features of the structure and properties of activated carbons obtained from aspen wood // Woodworking industry. 2020. №2. S.87-92.
7. Method of activation of carbonized materials: Pat. No. 2051097 RF. application 92008212/02, 11/25/1992; publ. 12/27/1995.
8. Yuryev Yu.L., Drozdova N.A., Panova T.M. Post-treatment of artesian water using modified charcoal // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. V.16. No. 19. S.85-86.
9. Device for water treatment: Pat. No. 96367 RF. application 2010107111/22, 02/26/20 10; publ.27.07.2010.
10. Yuryev Yu.L. Obtaining and using birch active coal for post-treatment of drinking water. Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine. 2020. No. 3 (375). pp.169-175.
11. Yuryev Yu.L., Panova T.M., Drozdova N.A. The use of modified charcoal to improve the salt composition of water in brewing. Forest magazine. 2010. №1. pp.134-138.
12. Yuryev Yu.L., Panova T.M., Drozdova N.A., Tropina K.Yu. Investigation of the possibility of using charcoal to stabilize beer. Izvestia of higher educational institutions. Forest magazine. 2010. No. 5. pp.120-124.
13. Evdokimova E.V., Panova T.M., Yuriev Yu.L. Influence of activated carbon on the degree of extraction of polyphenols from beer wort. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. V.20. No. 6. S. 124-126.

©**Panova T.M.** – PhD in Engineering sciences, Head of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail ptm55@yandex.ru; **Evdokimova E.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, USFEU, e-mail yevdokimovaeaterina@gmail.com; **Maltsev G.I.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, USFEU e-mail mgi@elem.ru

УДК 678.031:54-112

ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЕТУЛИНА ИЗ КОРЫ БЕРЕЗЫ

В.В. Губернаторов, Л.Р. Назипова, Д.А. Ахметова, А.А. Попов

Актуальность данной работы обусловлена активным развитием научных исследований в области изучения полезных свойств и микроэлементного состава биологически активных веществ, содержащихся в растительном сырье. В статье были рассмотрены свойства бетулина, сферы его применения в различных областях промышленности и различные методы извлечения из коры березы. Проведенный обзор показал, что существуют разнообразные подходы к способам извлечения бетулина, такие как экстракция различными растворителями, как полярными, так и не полярными, гидролиз с добавлением щелочи, взрывной автогидролиз с добавлением алифатических спиртов, экстракция в СВЧ-поле и др. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на модернизацию существующих и разработку новых экстракционных методов для снижения энергозатрат, увеличения степени чистоты бетулина и повышения эффективности процесса экстракции.

Ключевые слова: кора березы, бетулин, экстракция, методы, растворители.

Введение

На крупных целлюлозно-бумажных предприятиях и деревообрабатывающих производствах в результате окорки березовой древесины ежегодно скапливается до 300 тыс. м³ коры. Вопрос использования такого значительного количества березовой коры превращается в актуальную и серьезную проблему. Ее сжигают или вывозят в отвалы, в то время как кора – сильнейший природный антисептик и биостимулятор. Кора содержит до 50% экстрактивных веществ, что представляет немалый потенциальный интерес для химической переработки с целью получения новых продуктов и биологически активных веществ. В Республике Татарстан на данный момент не осуществляется переработка коры березы. Однако, такое крупное предприятие как Поволжский фанерно-мебельный комбинат (ПФМК), активно используют древесину березы в производстве фанеры, мебельных деталей и

пр. В процессах лесозаготовки у лесхозов также образуется большое количество березовой коры, которая могла бы быть переработана с целью извлечения ценных компонентов.

Одним из ценных элементов березовой коры является бетулин [1, 2]. Он привлекает внимание медиков, поскольку способствует повышению уровня защиты организма, препятствует развитию вируса иммунодефицита и онкологических заболеваний. В силу своих полезных компонентов он представляет большой интерес для экспериментальной и клинической фармакологии способствует созданию чрезвычайно важных для человечества лекарственных препаратов отечественного производства. Кроме того, бетулин имеет широкий спектр применения в косметологии, пищевой и сельскохозяйственной промышленности [3].

Целью данной работы является изучение свойств бетулина, областей его применения и обзор современных методов его извлечения из коры березы.

Свойства и применение бетулина

Бетулин самый распространенный тритерпеноид содержание, которого в бересте может достигать 35%. Бетулин растворяется в органических растворителях. Научно установлено большое количество полезных свойств бетулина, которые подтверждены лабораторными исследованиями [4, 5]. Бетулин восстанавливает работу ферментов в организме человека, воздействуя на подвижность ферментов, а также контролирует их синтез и распад. Бетулин как природный гепатопротектор способствует лечению поражения печени. Также бетулин восстанавливает мозговое кровообращение, оказывает положительный эффект как противовирусное средство. Он способствует заживлению ран, снижает уровень холестерина и сокращает количество «атеросклеротических бляшек» в сосудах, нормализует желчеотделение, увеличивает уровень устойчивости организма к кислородной недостаточности.

Благодаря ценным свойствам, бетулин используется в качестве добавки в различных областях производства. Схема основных направлений применения бетулина по отраслям промышленности представлена на рисунке 1. В медицине нанодисперсия, полученная из тритерпеноидов коры березы, является многообещающей лекарственной формой для гидрофобных лекарств. Препараты, содержащие бетулин снижают вирулентность возбудителя через прямое взаимодействие с PrP^{Sc} (прионами). Бетулин также обладает эмульгирующими свойствами, образуя маслянистые эмульсии. Неизменяемость вкуса и цвета при термических обработках обуславливает преимущество бетулина перед пробиотиками. Поэтому в сельском хозяйстве бетулин используется для введения прикорма в рацион животных, заменяя антибиотики. В косметологии бетулин применяют как компонент, оказывающий противовоспалительное, увлажняющее и омолаживающее средство. В пищевой промышленности бетулин используется как замена антиоксидантов и консервантов, то есть увеличивает стойкость продуктов к окислению. В фармацевтике распространены биологически активные добавки к пище с содержанием бетулина. Регулярное применение таких добавок способствует защите от внутренних и внешних патогенных воздействий на организм.

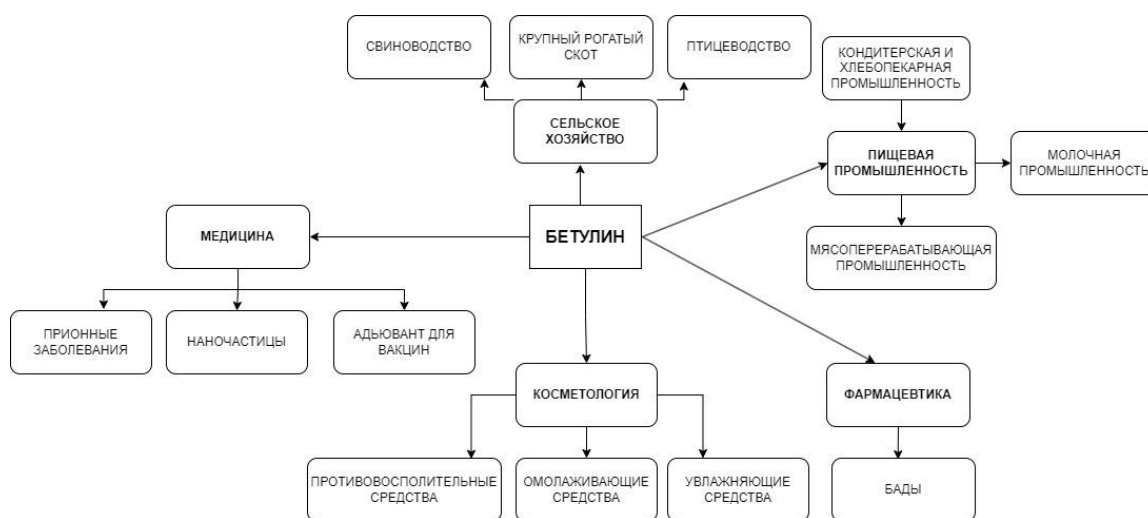


Рис 1. Основные направления применения бетулина по отраслям промышленности

Как видно из рисунка, использование бетулина актуально в общественном производстве для различных видов продукции. При этом важное значение имеют технологические вопросы получения его экстрактов, оптимизация существующих методов извлечения и поиск решений повышения эффективности экстракционных технологий. Ниже представлен обзор существующих исследований в области экстракционных методов получения бетулина.

Обзор исследований в области методов извлечения бетулина из коры березы

В настоящее время запатентовано множество способов выделения бетулина с использованием различных растворителей. Способ извлечения бетулина с помощью гидролиза при перемешивании в 15-25% щелочи с добавлением бутанола, изопропанола или изобутанола при температуре кипения 100 °С предложен в патенте М. С. Борц и др [6]. На первом этапе проводили экстракцию гексаном в течение 3-5 часов и промывали водой. На втором этапе гексан удаляли для дальнейшего использования, а осадок отфильтровывали. Предлагаемый способ позволяет достичь 95-97%-ного выхода бетулина из коры.

Известен способ извлечения бетулина с помощью растворителя-толуола, состоящий из трех этапов. На первом этапе происходило измельчение коры. На втором этапе кору и толуол перемешивали при температуре 90-110 °С в течение 1,5-3 часов. На третьем этапе раствор бетулина с толуолом охлаждали в течение 6-10 часов и выпавшие кристаллы промывали этиловым спиртом, водой и сушили. Выход экстракта бетулина составляет 33% [7].

В патенте А.Н. Кислицына и др. разработан способ получения бетулина в экстракторе с помощью органического растворителя - уайт-спирита. Экстракцию вели в течение 2 часов при температуре 150-155 °С. Далее экстракт обрабатывали щелочью, отфильтровывали, высушивали и дополнительно перекристаллизовывали. Выход бетулина составил 21% [8].

В.И. Рощин и др. [9] предложили способ получения бетулина с использованием смеси толуола и петролейного эфира. В экстрактор загружали сырье, и добавляли растворитель. Экстракцию проводили в течение 5 часов. После извлечения горячий экстракт сливали в кристаллизатор. Экстракт кристаллизовался, высушивался и фильтровался. Выход экстракта составил от 16 % до 25 %.

В патенте [10] описан способ извлечения бетулина с использованием 90-95 % этилового спирта с температурой 90-95 °С и с добавлением активированного угля. Сырьё заливали растворителем - этиловым спиртом и добавляли активированный уголь, данную смесь выдерживали в течение 3 часов при температуре 70-75°С. Затем раствор отделяли фильтрацией, а фильтрат упаривали досуха. Выход составил 26-30 %.

Известен способ получения бетулина с помощью измельченной коры и раствора $C_5H_{12}O$ метил-трет-бутилового эфира, представленный в патенте М. С. Юнусова [11]. Процесс экстракции состоит из трех этапов. На первой стадии смесь кипятили в течение 2 часов. Вторым этапом провели фильтрацию экстракта от остатков исходного сырья, добавили новую порцию раствора $C_5H_{12}O$ и кипятили в течение 40 минут. Этот этап повторили 4 раза. На третьем этапе экстракт промывали раствором гидроксида натрия $NaOH$ с водой и сушили безводным раствором сульфата магния $MgSO_4$. Полученный продукт очищали кипячением с добавлением гексана C_6H_{14} . Не растворимую в гексане часть отфильтровывали, высушивали на воздухе и получали 16% бетулина от сухой массы коры.

В статье С.А. Кузнецовой и др. [12] описан метод извлечения бетулина из коры с помощью раствора гексана C_6H_{14} . Измельченную до размеров бересту подвергали экстракции гексаном C_6H_{14} в аппарате Сокслета в течение 36-40 ч. Далее проводили процесс отделения гексана от экстракта на роторном испарителе. В результате был получен порошок белого цвета с выходом 15-20% от общего веса сухой коры.

В другой своей статье С.А. Кузнецова и др. [13] описали способ получения бетулина с помощью гидролиза коры. Смесь, состоящую из измельченной коры, гидроксида натрия и воды, выдерживали при температуре 95-100 °С. Далее смесь перемешивали в течение 3-6 часов. Затем снизили температуру до 70-75 °С и добавили этиловый спирт. После этого доводили до кипения при перемешивании в течение 30-40 минут. Горячую реакционную массу фильтровали, а фильтрат упаривали. Бетулин промывали на фильтре горячей водой. На последнем этапе экстракт просушивали при комнатной температуре. В результате получили экстракт бетулина, который составил 20-30 % от веса сухой коры.

Т.Б. Хлебникова с др. в статье [14] представили способ получения бетулина с помощью аппарата Сокслета и водного раствора изопропанола C_3H_8O , $CH_3CH(OH)CH_3$ в соотношении изопропанол:вода

(9:1). После проведения 3-х часовой экстракции, экстракт охлаждали. Выпавший осадок отфильтровывали и высушивали на воздухе. В конечном итоге было получено 6 г бетулина, то есть 13% от общей массы сухой коры.

Б. Н. Кузнецов в работе [15] описал способ извлечения бетулина экстракцией с помощью растворителей, таких как: гексан, этилацетат, изопропиловый спирт и вода в аппарате Сокслета. Экстракцию гексаном проводили в течение 30 ч, этилацетатом, изопропиловым спиртом и водой – в течение 10–12 ч. Выход бетулина при экстрагировании различными растворителями составил (экстрагент-выход): этилацетат - 9,3%; гексан - 10,5%; изопропиловый спирт - 20,6%; вода - 9,7% в пересчете на абсолютно сухую кору. При последовательной экстракции указанными растворителями выход бетулина составил 26,9 %.

В патенте [16] изучили способ получения бетулина в экстракторе проточного типа при непрерывном противоточном движении бересты и растворителя, не смешивающегося с водой. Процесс экстракции состоит из нескольких этапов. На первом этапе проводили экстракцию толуолом. При достижении давления в экстракторе 120-130 кПа производили сброс давления до атмосферного и отбор экстракта в выдувной резервуар, в котором осуществлялось испарение растворителя. На втором этапе пар конденсировался во флорентинное устройство, где сепарировался на толуол и воду, которые используются повторно. На третьем этапе экстракт промывали и высушивали. Заявляемый способ позволяет получать бетулин с чистотой до 99% с минимальными энергозатратами.

Исследователями предложен другой способ извлечения бетулина с помощью гидролиза щелочью [17]. Процесс экстракции состоит из трех этапов. На первом этапе происходило измельчение и гидролиз сырья в водном растворе 15-25%-ной щелочи при интенсивном перемешивании. На втором этапе проводили концентрирование бетулина выпариванием при давлении 110-120 кПа. На третьем этапе экстракт отфильтровывали, промыли водой и сушили. Выход бетулина составил 35% [18].

Кузнецов Б.Н. в своей статье [19] предложил способ извлечения бетулина с помощью взрывного автогидролиза с последующей экстракцией алифатическими спиртами. Предварительная активация бересты березы в условиях процесса “взрывного” автогидролиза осуществлялась при следующих параметрах процесса: температура 180-240 °С, давление пара 1.0-3.4 МПа, продолжительность обработки 30-360 сек. Далее проводился щелочной гидролиз активированной коры и последующая экстракция бетулина низшими алифатическими спиртами, например, этанолом C_2H_6O , C_2H_5OH , изопропанолом C_3H_8O , $CH_3CH(OH)CH_3$, 2-пропанолом C_3H_8O , $CH_3CH(OH)CH_3$, N-пропанолом C_3H_7OH . Такой метод получения бетулина ускоряет процесс и увеличивает его выход на 25 - 40% по сравнению с неактивированной берестой.

В работе [20] исследован способ СВЧ-экстракции коры на базе бытовой микроволновой печи. Преимуществом СВЧ-экстракции является высокая скорость внутреннего прогрева коры в полярном растворителе, его вскипание в клетках коры и интенсивный выброс образовавшегося экстракта в окружающий растворитель (эффект бародиффузии). Согласно этому способу, 90 %-ная степень извлечения экстрактивных веществ наблюдается через 90 мин без СВЧ-обработки и через 10 мин в СВЧ-камере. Достижение степени извлечения, равной 50 %, при обычной экстракции составляет 16-20 мин, а в поле СВЧ – менее одной минуты.

Заключение

В связи с большим количеством отходов на предприятиях существует необходимость переработки коры березы. В коре березы содержится ценный компонент – бетулин, который имеет большое количество полезных свойств, обладает высокой терапевтической ценностью и именно поэтому нашел применение в различных сферах промышленности. В частности, в пищевой промышленности бетулин используется как добавка в качестве замены антиоксидантов и консервантов, в сельском хозяйстве – это кормовые добавки для животных, в фармацевтике – биологически активные добавки к продуктам питания, в косметологии – компонент для увлажняющих и омолаживающих средств.

Анализ существующих методов извлечения бетулина показал, что разработано множество способов, отличающихся видами растворителей, аппаратным оформлением, режимными параметрами процессов извлечения. Наиболее необходимым на сегодняшний день является разработка новых и улучшенных способов получения бетулина для его успешного внедрения в производственные сферы. Необходимо устранение недостатков существующих технологий и повышение степени чистоты бетулина при снижении энергозатрат на извлечение.

Литература

1. Ведерников Д.Н. // Изменение химического состава корки и луба березы повислой по высоте дерева / Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Рошин В.И. // Химия растительного сырья. – 2010. – № 2. – С. 43-48.
2. Гизатуллина, Л.И. // Экстракция внешнего слоя коры березы с получением бетулина / Гизатуллина, Л.И. И. Р. Каримов, Р. Р. Фахрутдинов // Проблемы и тенденции научных исследований в системе образования: сборник статей Международной научно-практической конференции, Тюмень, 09 декабря 2019 года. Том Часть 3. – Тюмень, 2019. – С. 104-106.
3. Сафина А. В. // Энерго- и ресурсосберегающая технология экстрагирования бетулина из отходов коры березы / А. В. Сафина, Д. Р. Абдуллина, Р. Г. Сафин [и др.] // Лесной вестник. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 99-106. –
4. Абышев, А. З. // Исследование химического состава экстракта коры березы *Cortex betula* сем. *Betulaceae* / А. З. Абышев, Э. М. Агаев, А. Б. Гусейнов // Химико-фармацевтический журнал. – 2007. – Т. 41. – № 8. – С. 22-26.
5. Baker, R. G. // NF- κ B, inflammation, and metabolic disease / R. G. Baker, M. S. Hayden, S. Ghosh // *Cell Metabolism*. – 2011. – Vol. 13. – No 1. – P. 11-22.
6. Патент 2206572 РФ. Способ выделения бетулинола / М.С. Борц, Е.Г. Николаева, И.С. Лаевский // Оpubл. 20.06.2003.
7. Патент 2192879 РФ. Способ получения бетулина / Ю.И. Стернин // Оpubл. 20.11.2002
8. Патент 2138508 РФ. Способ выделения бетулинола / А.Н. Кислицын, И.И. Сладников, А.Н. Трофимов // Оpubл. 27.09.1999.
9. Патент 2184120 РФ. Способ получения бетулина / В.И. Рошин, Н.Ю. Шабанова, Д.Н. Ведерников // Оpubл. 27.06.2002.
10. Патент 2172178 РФ. Способ получения бетулина / Г.В. Сироткин, Ю.И. Стернин // Оpubл. 20.08.2001.
11. Патент 2270202 РФ /Способ получения бетулина и лупеола / М. С. Юнусов, Н. Г. Комиссарова, Н. Г. Беленкова опубл. // Оpubл. 20.02.2006
12. Кузнецова С.А. // Кузнецов Б.Н., Веселова О.Ф. Изучение состава гексанового экстракта коры и его токсико-фармакологических свойств // Химия растительного сырья. – 2008. – № 1. – С. 45–49.
13. Кузнецова С.А. // Получение диацетата бетулина из коры березы и изучение его антиоксидантной активности / Кузнецова С.А. [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. – 2008. – №2. – С. 151-165.
14. Хлебникова Т. Б. // Каталитическое окисление бетулина и диацетата бетулина с использованием экологически благоприятного окислителя / Т. Б. Хлебникова, Зинаида П. П. [и др.]. – М. : // Изд-во Сибирский федеральный университет, – 2008. – С. 277-285.
15. Кузнецов. Б.Н. // Изучение экстракции коры березы гексаном, этиацетатом, изопропиловым спиртом и водой/ В.А. Левданский, Н.И. Полежаева, 91 Б.Н. Кузнецов // Химия растительного сырья. – 2004. – № 2. – С. 17–20.
16. Патент 2683634 РФ/ Способ получения бетулина/ А. В. Сафина, Д. Ф. Зиятдинова, Н. Ф. Тимербаев [и др.] // Оpubл. 29.03.2019.
17. Патент 2767041 РФ /Способ получения бетулина / Д.Р. Абдуллина, Д. Ф. Зиятдинова, А. В. Сафина, Р.Г. Сафин // Оpubл. 16.03.2022.
18. Разумов Е.Ю. // Извлечение бетулина высокой степени очистки/ Разумов Е.Ю., Байгильдеева Е.И., Сафина А.В., Сафин Р.Г. // Деревообрабатывающая промышленность – 2022. – [№ 1](#). – С. 33-40.
19. Кузнецов Б.Н. // Выделение бетулина и суберина из коры березы, активированной в условиях «взрывного автогидролиза»/ Б.Н. Кузнецов, В.А. Левданский, А.П. Еськин, Н.И. Полежаева// Химия растительного сырья. – 1998. – № 1. – С. 5-9.
20. Коптелова, Е.Н. // Интенсификация процесса выделения бетулина из коры с использованием СВЧ-поля [Текст] / Е.Н. Коптелова, Л.Н. Кузнецова, Н.А. Кутакова, С.И. Третьяков // Лесной журнал. – 2013. – № 5. – С. 193–201.

©Губернаторов В.В. – канд. техн. наук, ст. препод. кафедры «Архитектура и дизайн изделий из древесины» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: valera_gub@mail.ru; Назипова Л.Р. – магистрант кафедры переработки древесных материалов, ФГБОУ ВО

«КНИТУ», e-mail: lnazipova@internet.ru; **Ахметова Д.А.** – канд. техн. наук, доцент кафедры переработки древесных материалов, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: pdm_li@mail.ru; **Попов А.А.** – аспирант кафедры переработки древесных материалов, ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: lnazipova@internet.ru.

UDC 678.031:54-112

OVERVIEW OF BETULIN EXTRACTION METHODS FROM BIRCH BARK

V.V. Gubernatorov, L.R. Nazipova, D.A. Akhmetova, A.A. Popov

The relevance of this work is due to the active development of scientific research in the field of studying the beneficial properties and trace element composition of biologically active substances contained in plant raw materials. The article considered the properties of betulin, the scope of its application in various fields of industry and various methods of extraction from birch bark. The review showed that there are various approaches to betulin extraction methods, such as extraction with various solvents, both polar and non-polar; hydrolysis with the addition of alkali, explosive autohydrolysis with the addition of aliphatic alcohols, extraction in a microwave field, etc. Further scientific research should be aimed at modernizing existing and developing new extraction methods to reduce energy consumption, increase the degree of purity of betulin and increase the efficiency of the extraction process.

Keywords: birch bark, betulin, extraction, methods, solvents.

Refereces

1. Vedernikov D.N., Shabanova N.Yu., Roshchin V.I. [Change in the chemical composition of the bark and bast of the hanging birch (Betulaceae) by the height of the tree] Himiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials] - 2010. - No. 2. - pp. 43-48. (In Russ.).
2. Gizatullina, L. I., I. R. Karimov, R. R. Fakhutdinov [Extraction of the outer layer of birch bark with the production of betulin] Problemy i tendencii nauchnyh issledovanij v sisteme obrazovaniya: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Problems and trends of scientific research in the education system: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], Tyumen, December 09, 2019. Volume Part 3. 2019. – pp. 104-106 (In Russ.).
3. A.V. Safina, D. R. Abdullina, R. G. [Safin Energy- and resource-saving technology of betulin extraction from birch bark waste] Lesnoy vestnik [Forestry Bulletin] – 2021. – Vol. 25. – No. 4. – pp. 99-106. – DOI 10.18698/2542-1468-2021-4-99-106 (In Russ.).
4. Aбышев, А. З. [Investigation of the chemical composition of birch bark extract Cortex betula sem. Betulaceae] Himiko-farmaceuticheskij zhurnal [Chemico-pharmaceutical journal]. – 2007. – Vol. 41. – No. 8. – pp. 22-26. (In Russ.).
5. Baker, R. G., [inflammation, and metabolic disease Cell Metabolism] – 2011. – Vol. 13. – No 1. – P. 11 - 22. – DOI 10.1016/j.cmet.2010.12.008.
6. Method for obtaining betulin: Patent No 2206572 Russian Federation. publ. 20.06.2003. (In Russ.).
7. Method for obtaining betulin: Patent No 2192879 Russian Federation. publ. 20.11.2002. (In Russ.).
8. Method for obtaining betulin: Patent No 2138508 Russian Federation. publ. 27.09.1999. (In Russ.).
9. Method for obtaining betulin: Patent No 2184120 Russian Federation. publ. 27.06.2002. (In Russ.).
10. Method for obtaining betulin: Patent No 2172178 Russian Federation. publ. 20.08.2001. (In Russ.).
11. Method for obtaining betulin: Patent No 2270202 Russian Federation - publ. 20.02.2006 Byul. No. 5. - 6 p. (In Russ.).
12. Kuznetsova S.A., Kuznetsov B.N., Veselova O.F. [The study of the composition of hexane extract of birch bark and its toxico-pharmacological properties] Himiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials]. 2008. No. 1. pp. 45-49. (In Russ.).
13. Kuznetsova S.A. [Obtaining betulin diacetate from birch bark and studying its antioxidant activity] Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta [Journal of the Siberian Federal University] - 2008. - No.2. - pp. 151-165. (In Russ.).
14. T. B. Khlebnikova [Catalytic oxidation of betulin and betulin diacetate using an environmentally friendly oxidizer] Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta [Journal of the Siberian Federal University], 2008. -277-285 s(In Russ.).

15. V.A. Levдansky, N.I. Polezhaeva, 91 B.N. Kuznetsov [The study of birch bark extraction with hexane, ethiacetate, isopropyl alcohol and water] Himiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials]. - 2004. – No. 2. – pp. 17-20. (In Russ.).
16. Method for obtaining betulin: Patent No 2683634 Russian Federation, publ. 29.03.2019 (In Russ.).
17. Method for obtaining betulin: Patent No 2767041 Russian Federation. publ. 16.03.2022. (In Russ.).
18. Razumov E.Yu., Baigildeeva E.I., Safina A.V., Safin R.G. Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Woodworking industry] 2022. No. 1. pp. 33-40. (In Russ.).
19. B.N. Kuznetsov, V.A. Levдansky, A.P. Eskin, N.I. Polezhaeva [Isolation of betulin and suberin from birch bark activated under conditions of "explosive autohydrolysis]Himiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw materials]. - 1998. – No. 1. – pp. 5-9. (In Russ.).
20. Koptelova, E.N. 18. Koptelova, E.N. Intensification of the betulin extraction process from birch bark using a microwave field Lesnoy zhurnal [Forestry Bulletin] 2013. – No. 5. – pp. 193-201. (In Russ.).

©Gubernatorov V.V. – PhD in Engineering sciences, Senior lecturer of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: valera_gub@mail.ru; Nazipova L.R. – Master's student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail:lnazipova@internet.ru; Akhmetova D.A. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail: pdm_li@mail.ru; Popov A.A. – post-graduate student of the Department of Wood Materials Processing, KNRTU, e-mail:lnazipova@internet.ru.

УДК 504.064

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВА СПИРТОВОГО ЭКСТРАКТА ИЗ ПОЧЕК БЕРЁЗЫ

А.В. Бахтиярова, С.Р. Мамбетова, А.Е. Михайлова

Экологические аспекты деятельности предприятия требуют принятия экологически ориентированных управленческих решений посредством определения возможных экологических рисков и их оценки. Управление рисками должно носить системный характер на предприятии. В статье рассмотрены экологические риски при производстве спиртового экстракта из почек берёзы. Идентификация и анализ рисков выполнен с помощью метода HAZID, диаграммы Исикавы и построении дерева отказов.

Ключевые слова: экстракция, риски, метод HAZID, диаграмма Исикавы, дерево отказов.

Введение

Экологический риск – вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей природной среде, или отдалённых неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие отрицательного воздействия на окружающую среду [9].

Экологический риск может быть вызван как чрезвычайными ситуациями природного и антропогенного, техногенного характера, так и повседневными экологическими аспектами деятельности организации. Оценка экологических рисков - выявление и оценка вероятности наступления событий, имеющих неблагоприятные последствия для состояния окружающей среды, здоровья населения, деятельности предприятия и вызванного загрязнением окружающей среды, не выполнением экологических требований, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера [7].

Оценка экологического риска является интегрированной частью корректирующих исследований и изучения мер, предназначенных для охраны окружающей среды.

Актуальность изучения оценки экологических рисков обусловлена тем, что в настоящее время наибольшее внимание уделяется финансовым рискам. Отсутствие оценок экологических рисков на предприятии в будущем оборачивается значительными убытками при возникновении социальных конфликтов и ликвидационных ситуациях, приводящих к катастрофическим последствиям.

Оценку риска целесообразно проводить с позиций системного подхода, позволяющего по принципу «черного ящика» начинать с исследования входящей информации о потенциальных опасностях, обусловленных спецификой производственного процесса экстракции. Для предварительного выявления и описания опасностей и рисков на начальном этапе проектирования объектов, как правило, используется метод HAZID [8].

Метод HAZID - это метод идентификации всех существенных опасностей, связанных с рассматриваемой деятельностью, который допускается применять для разных видов работ, технологических процессов и объектов, рассматриваемых в рамках проектов и промышленной деятельности.

Реализация HAZID должна обеспечить выбор более безопасного и экономически эффективного варианта проекта с минимальными расходами на внесение изменений.

К основным преимуществам HAZID относятся:

- возможность анализа последствий реализации опасностей на ранних стадиях разработки проекта с возможностью выбора оптимальных, альтернативных вариантов технологического проектирования;
- возможность внесения существенных изменений в основные принципы проектирования объекта на самом раннем этапе, до полномасштабного финансирования проектных работ;
- выявление конкретных опасностей и угроз в процессе разработки различных проектных решений и/или вариантов технологического процесса;
- возможность разработки реестра типовых опасностей и последствий для более детального анализа опасностей и рисков и на более поздних этапах жизненного цикла объекта;
- выявление всех предполагаемых непрерывных выбросов от объекта с целью их минимизации на стадии проектирования в соответствии с требованиями компании и третьих сторон.

Систематизация потенциальных причин возникновения опасностей исследуемого процесса экстракции с помощью Диаграммы Исикавы – «диаграммы причинно-следственных связей», помогает категоризировать и визуализировать потенциальные причины возникновения проблемы и докопаться до корневой [1]. Диаграмма дает возможность выявить ключевые параметры процессов, влияющие на характеристики изделий, установить причины проблем процесса или факторы, влияющие на возникновение дефекта в изделии.

Алгоритм построения диаграммы Исикавы позволяет распределить причины проблем по ключевым категориям. В качестве таких категорий выступают – человек, методы работы (действий), механизмы, материал, контроль и окружающая среда. Количество категорий при построении диаграммы можно уменьшать в зависимости от рассматриваемой проблемы [4].

Диаграмма Исикавы обладает следующими преимуществами: позволяет графически отобразить взаимосвязь исследуемой проблемы и причин, влияющих на эту проблему; дает возможность провести содержательный анализ цепочки взаимосвязанных причин, воздействующих на проблему; удобна и проста для применения и понимания персоналом. Для работы с диаграммой Исикавы не требуется высокая квалификация сотрудников, и нет необходимости проводить длительное обучение.

К недостаткам данного инструмента качества можно отнести сложность правильного определения взаимосвязи исследуемой проблемы и причин в случае, если исследуемая проблема является комплексной, т.е. является составной частью более сложной проблемы. Другим недостатком может являться ограниченное пространство для построения и прорисовывания на бумаге всей цепочки причин рассматриваемой проблемы. Но данный недостаток может быть преодолен, если диаграмма Исикавы строится с применением программных средств.

Сложность современных технологических процессов, невозможность сразу охватить весь спектр явлений, способных приводить к аварийным ситуациям, делает целесообразным использование метода «дерева отказов» для комплексного анализа устойчивости функционирования промышленной и экологической безопасности предприятий [2, 6].

Дерево отказов представляет собой дедуктивное логическое построение, которое использует концепцию одного финального события (как правило, авария или отказ блока, всей системы) с целью нахождения всех возможных путей, при реализации которых оно может произойти. Ключевые теоретические основы метода – это предположение, что компоненты в системе либо работают успешно, либо отказывают полностью.

До начала построения дерева отказов необходимо специально определить верхнее событие. Необходимо детальное понимание работы систем ее компонентов, роли операторов и возможных

человеческих ошибок. Для этого рассматривается, какие события или их комбинации могут привести непосредственно к возникновению финального события [5].

В этом способе реализован дедуктивный метод (причины - следствия), что наделяет метод самыми серьезными возможностями по поиску корневых причин событий для статичных систем, так как дает наглядную и подробную схему взаимосвязей элементов инфраструктуры и событий, влияющих на их надежность.

Ценность метода «дерево отказов» заключается в том, что анализ ориентируется на нахождение отказов; позволяет показать в явном виде ненадежные места; обеспечивается графикой и представляет наглядный материал для той части ИТ-специалистов, которые принимают участие в обслуживании системы; позволяет специалистам поочередно сосредотачиваться на отдельных конкретных отказах системы [6].

Главное преимущество дерева отказов (по сравнению с другими методами) заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы или аварии.

Недостатки дерева отказов состоят в следующем: реализация метода требует значительных затрат средств и времени, так как увеличение детальности рассматриваемой инфраструктуры приводит к геометрическому увеличению числа влияющих событий; дерево отказов представляет собой схему булевой логики, на которой показывают только два состояния: рабочее и отказавшее; дерево отказов описывает систему в определенный момент времени (обычно в установившемся режиме), и последовательности событий могут быть показаны с большим трудом, иногда это оказывается невозможным.

Задачами исследования является определение техногенных опасностей при производстве спиртового экстракта и разработка рекомендаций в целях снижения экологических рисков.

Методы и материалы.

Предметом исследования в данной работе являются экологические риски на предприятие по изготовлению спиртовых экстрактов из почек берёзы.

На рисунке 1 представлена технологическая схема производства спиртового экстракта.

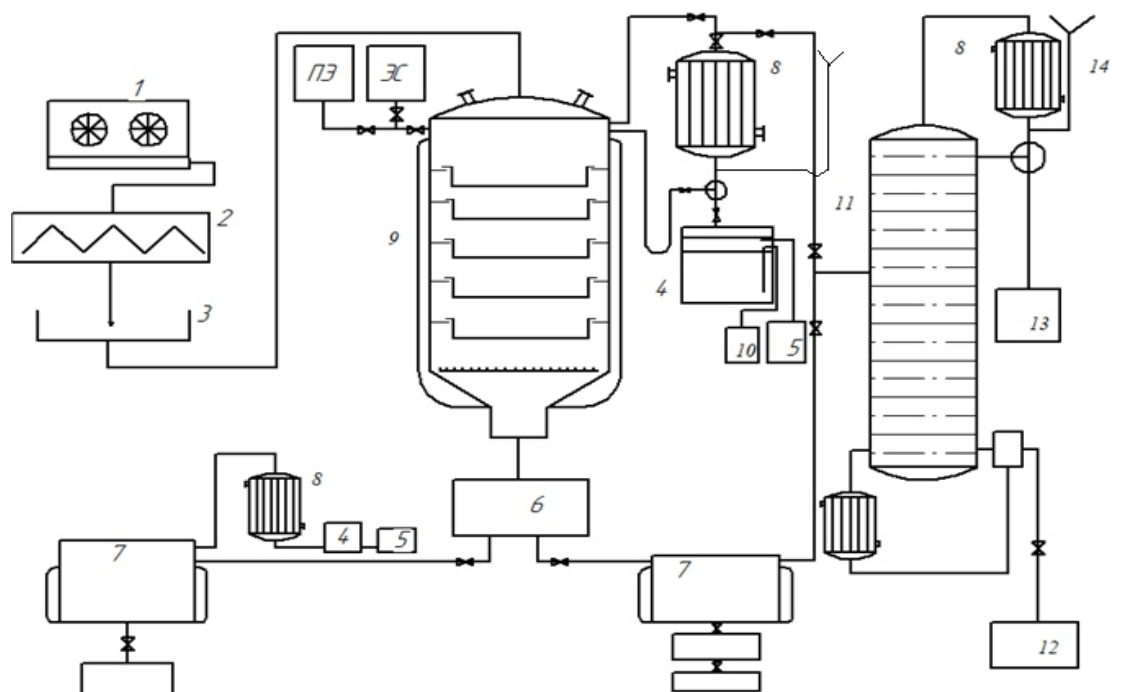


Рис.1 Технологическая схема производства спиртового экстракта: 1-почкоотделитель; 2-измельчитель; 3-корзина; 4-флорентина; 5-приемник петролейного эфира; 6-промежуточный сборник экстрактивных веществ; 7-перегонный куб; 8-конденсаторы, холодильники; 9-экстрактор; 10-приемник воды; 11-ректификационная колонна; 12- приемник кубового остатка; 13- приемник дистиллята; 14- воздушный затвор

Технология получения спиртового экстракта заключается в проведении следующих этапов: подготовка сырья; экстракция петролейным эфиром и этиловым спиртом; отгонка и упаривание растворителя.

Подготовка сырья состоит из отделения почек от веток, измельчении почек, с целью достижения наибольшего проникновения и выделения экстрактивных веществ.

После подготовки сырье идет на экстракцию. Измельченные почки загружают в корзины 3 и транспортируют в экстрактор 9. В экстрактор подают петролейный эфир и проводят экстракцию, для нагрева используют глухой пар. По окончании процесса экстракт сливается в приемник 6. Почки обдают острым паром, чтобы убрать излишки петролейного эфира. Петролейный эфир уходит через холодильник на флорентине отделяется от воды. Полученный эфир используется повторно для следующей экстракции.

Петролейный экстракт из промежуточного сборника попадает в перегонный куб 7. В перегонном кубе экстракт отделяют от растворителя и в дальнейшем полученные горячие сесквитерпеноиды разливают в широкие банки для по следующего применения. Отделенный растворитель отделяется от воды на флорентине и снова используется.

В почках, оставшихся в экстракторе, отсутствуют сесквитерпеноиды, но остаются другие биологически активные вещества. Для их выделения в экстрактор подают 96% этиловый спирт. Полученный спиртовой экстракт переходит в перегонный куб, далее экстракт упаривают и разливают по бутылкам. Острый пар поступает через нижний штуцер и смешивается с сырьем. В результате такой подачи теплоносителя сырье быстро прогревается, этанол, содержащийся в сырье, закипает и удаляется из верхней части через патрубок вместе с парами воды и поступает в ректификационную колонну 11.

Для рассмотрения потенциальных опасностей был выбран участок, на котором проходит экстрагирование почек березы.

В качестве выявления предупреждающих факторов опасностей, используется анализ опасностей методом HAZID.

Обоснование причин ухудшения процесса экстрагирования проводим с использованием диаграммы Исикавы.

Оценка вероятности экологического риска как события «отказ работы реактора» базируется на построении «дерева отказов».

Результаты

На начальном этапе использовали метод HAZID, позволяющего исследовать факторы, последствия и угрозы процесса экстракции. .

Результаты исследования документировались в таблице 1.

Таблица 1– Рабочая ведомость HAZID

<i>Фактор опасности</i>	<i>Последствия</i>	<i>Угрозы</i>	<i>Профилактические мероприятия</i>	<i>Приоритет</i>
1. Внешние и экологические риски				
Климатические факторы (высокие и низкие температуры)	Отказ оборудования, разгерметизация трубопроводов и оборудования. Материальный ущерб, экономические потери.	Потеря рабочих характеристик смазочных материалов, элементов аппаратуры	Выбор материалов, укрытие от прямого воздействия солнечных лучей. Климатизация помещений, теплоизоляция оборудования.	2
Географическое расположение	Дальность поставки и приема сырья, экономические потери, отсутствие сырья.	Остановка производственных процессов, большие затраты на сырье, трудности в способах поставки	Проектирование предприятия в оптимальных местах, выбор оптимального способа поставки сырья, использование отходов в технологии	2

2. Опасности на объекте				
Нулевой уровень сырья в экстракторе	Работа оборудования в холостую	Остановка технологического процесса	Контроль количества сырья, использование дополнительных ресурсов; создание дополнительных запасов сырья	3
Возгорание	Полное разрушение оборудования, пожар, материальные и экономические потери	Угроза жизни работающему персоналу, нанесение вреда окружающей среде, потери продукции	Контроль температуры сырья, входной контроль температуры растворителей, контроль температуры подачи пара, контроль температуры отвода растворителей	3
3. Опасные факторы работы на участке				
Машины, механизмы, инструмент, аппаратура	Получение травм рабочего персонала	Угроза здоровью человека	Проведение инструктажа по соблюдению правил при работе оборудования; оснащение рабочих мест необходимыми условиями, автоматизация по возможности рабочего пространства	2
Пыль, шум	Заболевания рабочего персонала	Угроза здоровью человека	Проведение инструктажа по соблюдению правил при работе оборудования; шумоизоляция помещений; установка пылеуловителей; проектирование вентиляции.	3

Для визуализации потенциальных причин ухудшения процесса экстрагирования проводили построение диаграммы Исикавы (рис. 2).

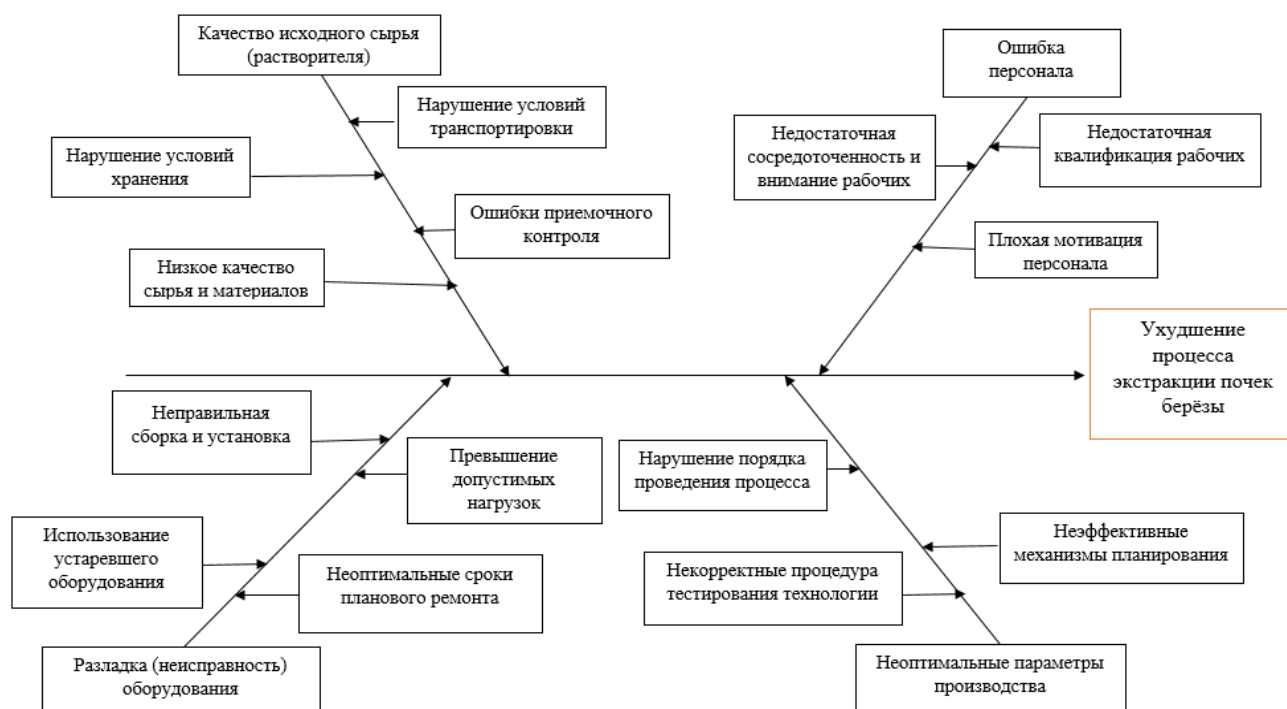


Рис.2. Диаграмма Исикавы

Во многом на процесс влияют качество исходного сырья; рабочие персонал; состояние оборудование и технологические параметры производства.

Необходимой процедурой в оценке экологических рисков, является построение «дерева отказов». Это исследование необходимо для выявления всех путей, которые приводят к главному нежелательному событию при определенном стечении обстоятельств. Таким событием является отказ работы реактора, в котором проходит процесс экстрагирования исходного сырья (рис.3).

В таблице 2 приведены характерные инициирующие события, приводящие к нежелательному конечному событию.

Таблица 2 – Перечень характерных инициирующих событий и их обозначения

Обозначение	Характеристика события
B1	Коррозионный износ
B2	Усталостный износ
B3	Тепловой износ
B4	Разрыв трубопровода
B5	Отключение воды на предприятии
B6	Человеческий фактор
B7	Отсутствие питания
B8	Ошибка при разработке
B9	Внутрисистемная ошибка
B10	Поломка линии
B11	Утечка растворителя из бака

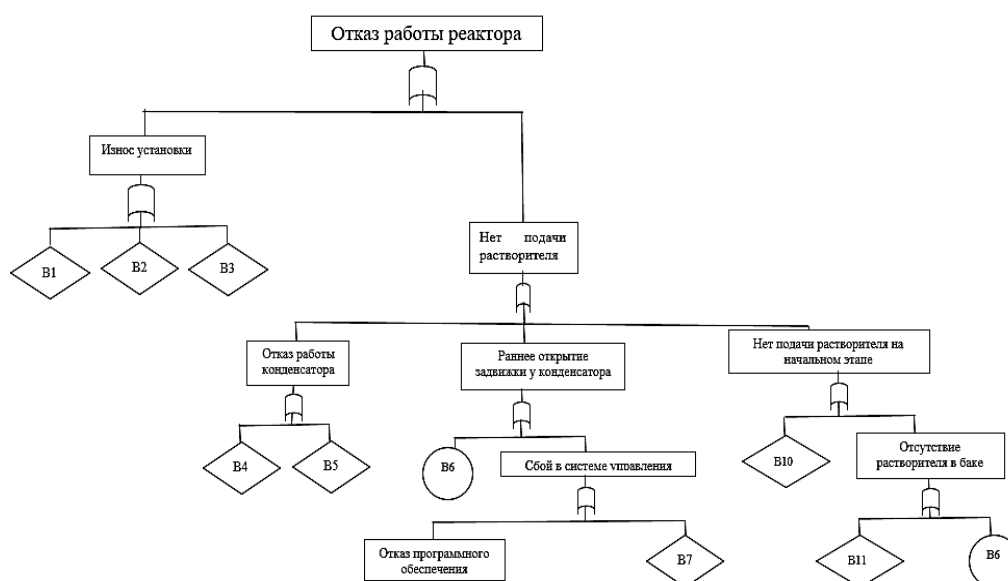


Рис.3. Дерево отказов

Имея конечную схему дерева отказов можно сказать, что минимальная комбинация ошибок персонала и повреждений оборудования, достаточная для возникновения нежелательного события.

Заключение

Системный подход к исследованию проблемы выявления и оценивания причин экологических рисков процесса экстрагирования почек березы с помощью разнообразных методов и приемов позволяет:

- выявить факторы опасностей и угроз потенциальных экологических рисков. Основной приоритет отдается предупреждению риска возгорания и работы оборудования вхолостую за счет мероприятий по контролю количества и качества сырья, температурных режимов процесса экстракции; (Метод HAZID);
- обозначить причинно- следственную связь ухудшения процесса экстракции за счет отклонений нормативов качества исходного сырья и химикатов, состояния оборудования, технологических параметров производства, ошибок персонала. Своевременный контроль материальных потоков,

технологических параметров и устранение ошибок персонала позволит минимизировать уровень экологического риска. (Метод «диаграмма Исикавы»);

-детализация причин отказов ведущего оборудования, приводящих к нежелательному событию - «отказ работы реактора». Комбинация ошибок персонала приводит к сбоям в работе оборудования (Метод «дерево отказов»).

Литература

1. Бондарук, А.М. Автоматизированные системы управления качеством в технологических процессах / А.М. Бондарук, С.С. Гоц // - М.: Уфа: Монография, 2016. - 144 с.
2. Бычкова А.Н. Анализ характера и последствий отказов / А.Н. Бычкова, Г.А. Рудаковская // Лекция. - Пенза: ПГУ, каф МСК, 2004. - 44с.
3. ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60812:2006) Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов / Национальный стандарт Российской Федерации [электронный ресурс].
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска / Национальный стандарт Российской Федерации [электронный ресурс].
5. ГОСТ Р МЭК 62502-2014 Менеджмент риска. Анализ дерева событий / Национальный стандарт Российской Федерации [электронный ресурс].
6. Дерево отказов, как метод структурного анализа ФТА. Примеры внедрения. / Экосистема обучения от ит-экспертов <https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16266>
7. Ларионов, Н.М. Промышленная экология: Учебник для бакалавров / Н.М. Ларионов, А.С. Рябышенков. - М.: Юрайт, 2013. - 495 с.
8. Лисанов М.В. Применение методов анализа опасностей HAZID и HAZOP при проектировании газотранспортного терминала / М.В. Лисанов, В.В. Симакин, А.И. Мукашенко, П.И. Дворниченко, А.В. Еремеев-Райхерт // Безопасность труда в промышленности – 2008 – №8 – с. 71.
9. Хандоги́на, Е.К. Экологические основы природопользования [Текст]: учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / Е.К. Хандоги́на, Н.А. Герасимова, А.В. Хандоги́на; под общ. ред. д. б. н. Е.К. Хандогиной. - М.: ФОРУМ - ИНФРА-М, 2011. - 158 с.

©**Бахтиярова А.В.** – ст. препод. кафедры технологии лесохимических производств, химии древесины и биотехнологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» (ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова»), e-mail: Nyroc@rambler.ru; **Мамбетова С.Р.** – студент кафедры технологии лесохимических производств, химии древесины и биотехнологии ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С.М.Кирова», e-mail: sofya.mam@icloud.com; **Михайлова А.Е.** – канд.техн.наук, доцент кафедры экономики, учёта и анализа хозяйственной деятельности ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова», e-mail: mikhailovaae@ya.ru.

UDC 504.064

IDENTIFICATION OF ENVIRONMENTAL RISKS OF PRODUCTION OF ALCOHOL EXTRACT FROM BIRCH BUDS

A.V. Bakhtiyarova, S.R. Mambetova, A.E. Mikhailova

The environmental aspects of the enterprise require the adoption of environmentally oriented management decisions through the identification of possible environmental risks and their assessment. Risk management should be systematic at the enterprise. The article considers environmental risks in the production of alcohol extract from birch buds. Risk identification and analysis is performed using the HAZID method, Ishikawa diagram and fault tree structure.

Keywords: extraction, environmental risks, HAZID method, Ishikawa diagram, failure tree.

References

1. Bondaruk A.M., Gots S.S. [Automated quality management systems in technological processes]M.:Ufa:Monografiya [M.: Ufa: Monograph] 2016.pp. 144. (In Russ.).
2. Bychkova A.N., Rudakovskaya G.A. [Analysis of the nature and consequences of failures] Lektsiya. - Penza: PGU, kafedra MSK [Lecture. - Penza: PGU, Department of Moscow] 2004. pp. 44. (In Russ.).

3. GOST R 51901.12-2007 (IEC 60812:2006) [Risk management. Method for analysis of types and consequences of failures] Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii (elektronnyy resurs) [National standard of the Russian Federation (electronic resource)]. (In Russ.).
4. GOST R ISO/IEC 31010 201. [Risk management. Risk assessment methods] Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii (elektronnyy resurs) [National standard of the Russian Federation (electronic resource)]. (In Russ.).
5. GOST R IEC 62502-2014. [Risk management. Event Tree Analysis] Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii (elektronnyy resurs) [National standard of the Russian Federation (electronic resource)]. (In Russ.).
6. [Fault tree as a method of structural analysis FTA. Examples of implementation.] Ekosistema obucheniya ot it-ekspertov Learning ecosystem from IT experts] [https:// www.itexpert.ru/rus /biblio/detail.php? ID=16266](https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16266) (In Russ.).
7. Larionov N.M., Ryabyshenkov A.S.[Industrial ecology: Textbook for bachelors] M.: Yurayt [M.: Yurayt] 2013. pp. 495. (In Russ.).
8. Lisanov M.V., Simakin V.V., Muka shenko A.I., Dvornichenko P.I., Ereemeev-Reichert A.V. [Application of HAZID and HAZOP Hazard Analysis Methods in the Design of a Gas Transport Terminal] Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labor safety in industry] 2008. No. 8. pp. 71. (In Russ.).
9. Khandogina E.K., Gerasimova N.A., Khandogina A.V. [Ecological foundations of nature management (Text): a textbook for students of institutions of secondary vocational education; under total ed. b. n. E.K. Khandogina.] M.: FORUM - INFRA-M [M.: FORUM - INFRA-M] 2011. pp. 158 (In Russ.).

©**Bakhtiarova A.V.** – Senior Lecturer of the Department of Technology of Forest Chemical Production, Wood Chemistry and Biotechnology, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov (SPbSFTU named after S.M. Kirov), e-mail: Nyroc@rambler.ru; **Мамбетова С.Р.**– Student of the Department of Technology of Forest Chemical Production, Wood Chemistry and Biotechnology, SPbSFTU named after S.M. Kirov, e-mail: sofya.mam@icloud.com; **Михайлова А.Е.**– PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Accounting and Analysis of Economic Activities of St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, e-mail: mikhailovaee@ya.ru.

УДК 691.175

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.В. Сафина, Я.Д. Погодина

В статье приведен обзор современных направлений использования полимеров из растительного сырья в производстве биокomпозитов с учетом последних достижений научных исследований. Создание новых биоразлагаемых композиционных материалов на основе природных полимеров растительного происхождения является актуальным направлением исследований ученых всего мира. Использование натуральных полимеров в качестве матриц или армирующих волокон существенно улучшают физико-химические свойства композитов. рассмотрены различные виды природных полимеров, проанализированы их возможности в направлении изменения свойств композитов и области применения. установлено, что полисахариды играют важную роль в резервировании продуктов питания и используются в пищевой промышленности. белки могут улучшить производство искусственных тканей или имплантатов для регенерации тканей. применение натурального каучука в производстве биокomпозитных материалов показывает хорошую устойчивость к старению. Композиты на основе полиэфиров, таких как полигидроксипропионат, полигидроксипропирилат и полилактид, нашли применение в медицинской промышленности для производства саморассасывающихся шовных материалов, в качестве источников для производства биотоплива и биоразлагаемых упаковок. Добавление лигнина как биополимера показывает его хорошую эффективность в качестве адсорбента и нанокатализатора для улучшения системы пероральной доставки лекарственных средств. Наночастицы лигнина, их композиты и производные также нашли широкое применение в производстве экологически чистого топлива и в качестве устройств для хранения тепловой энергии.

Ключевые слова: биополимеры, растительное сырье, композиты, полисахариды, белки, натуральный каучук, полиэфиры, лигнин.

Введение

Пластмассы являются неотъемлемой частью современного общества, широко применяются в повседневной жизни и являются неотъемлемой частью многих промышленных технологий. Рост населения, экономический прогресс, спрос на товары и изменения в образе жизни значительно увеличивают спрос и производство пластмассовых изделий. Это, в свою очередь, приводит к образованию значительного количества отходов. Полиэтилен высокой и низкой плотности, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, полистирол и полипропилен составляют огромный процент от общего объема производства пластмасс в мировом масштабе.

Общее количество отходов, произведенных на сегодняшний день, составляет около 8300 миллионов метрических тонн, а образующиеся пластиковые отходы оцениваются в 6300 тонн, из которых только 9 % были переработаны, а 12 % подвергаются процессу обжига, остальные 79 % все еще находятся в окружающей среде или на свалках. Если этот цикл продолжится, то, по оценкам специалистов, к 2050 году в окружающей среде или на свалках будет собрано около 12 000 миллионов пластиковых отходов [1]. Решение для уменьшения образования отходов путем сжигания пластика также не является правильным выбором, поскольку пластик, который не сгорает полностью при температуре ниже 800° С, образует опасные диоксины. Поэтому актуальными вопросами является преодоление накопления небiodeградируемых пластмасс в окружающей среде путем разработки биоразлагаемых пластмасс, а именно биопластиков [2].

Многие экологические проблемы, связанные с пластмассами, могут быть устранены с помощью биополимеров и волокон на биологической основе, полученных из биоресурсов и возобновляемых отходов. Биопластики представляют собой особые типы полимерных материалов на основе биоресурсов, которые считаются экологически и экономически жизнеспособными для замены обычных нефтехимических пластиков. Полимерный материал можно считать биопластиком, если он на биологической основе или изготовлен из возобновляемых материалов с потенциалом биоразложения. Пластмассы на основе биопластика являются важной инновацией, которая может способствовать развитию биоэкономики и смещению зависимости от ископаемого топлива к биопродуктам.

Актуальным направлением исследований является использование отходов растительного сырья и натуральных волокон в качестве наполнителей и армирующих материалов для производства возобновляемых и биоразлагаемых материалов [3].

Агропромышленные отходы являются наиболее распространенным возобновляемым ресурсом на земле. Ежегодное накопление биомассы в больших количествах приводит не только к загрязнению окружающей среды, но и представляет собой экономическую проблему для компаний. Во всем мире производится примерно 10-50 миллиардов сельскохозяйственных отходов в год [4]. Повторное использование и переработка этих остатков может свести к минимуму экологические проблемы, связанные с их накоплением [5].

Целью данной работы является проведение обзора существующих исследований в области применения натуральных биополимеров в композитных материалах, анализ свойств отдельных категорий природных полимеров и возможности применения биокompозитов на их основе в различных отраслях промышленности.

Полимеры природного происхождения

По мере того, как люди становятся более осведомленными об окружающей среде, многие ищут способы заменить синтетические полимеры более устойчивыми заменителями с высокой степенью экологичности. И в этом вопросе исследователи обращаются к естественным источникам полимеров. Природа создала многочисленные полимеры, необходимые для жизнедеятельности.

Полимеры природного происхождения представлены полисахаридами, натуральными каучуками, полиэфирами, белками и натуральными каучуками.

Полисахариды представляют собой широко доступные биополимеры с множеством функций, которые образуются за счет гликозидных связей, связывающих моносахаридные звенья. Они играют важную роль в резервировании продуктов питания, накапливая сахара в растениях, животных и микроорганизмах. Полисахариды также действуют как структурный компонент клеточных стенок растений [6]. Другой функцией является проницаемость CO₂ и O₂: они замедляют дыхание и дыхание фруктов и овощей, ограничивая доступность O₂ [7].

Белки – это макромолекулы, состоящие из цепочек аминокислотных остатков, в изобилии встречающихся в растительном сырье. Они выполняют несколько функций, таких как транспортировка, структура, защита и хранение питательных веществ. растения содержат такие белки, такие как зеин, содержащийся в кукурузе, и глютен, содержащийся в муке злаков.

Натуральный каучук является ценным и стратегически важным биополимером, получаемым из каучуковых деревьев (например, бразильской гевеи). Химическая структура состоит из изопреновых звеньев (C_5H_8) n, соединенных вместе в 1,4-цис-конфигурации [8]. Синтетические альтернативы не могут заменить натуральный каучук из-за его свойств, таких как упругость, эластичность, износостойкость, ударопрочность, эффективное рассеивание тепла и пластичность при низких температурах [9]. Примерно десять процентов натурального каучука обычно используется в качестве латекса для производства перчаток, катетеров и других медицинских изделий.

Класс полиэфиров представлен такими соединениями как полигидроксиалканоат (PHA), полигидроксibuтират (PHB) и полилактид (PLA). Полигидроксиалканоат входит в группу гидроксиалканоатных полимеров, которые естественным образом синтезируются бактериями из сельскохозяйственного сырья [10, 11]. Его основная функция заключается в хранении соединений углерода и энергии во время роста нескольких микроорганизмов [11]. Основным и наиболее изученным продуктом на основе полигидроксиалканоатов: полигидроксibuтират – ПГБ, который представляет собой стереорегулярный изотактический гомополимер (R)-3-гидроксibuтановой кислоты ($C_4H_8O_2$). Молекулярная масса полимера определяется условиями синтеза, спецификой продукта, а также методами экстракции полимера из биомассы. Для биомедицинских применений полилактид обычно получают путем прямой конденсации молочной кислоты, полученной при ферментации сельскохозяйственных продуктов, таких как кукуруза.

Уникальным полимером растительного происхождения, который нельзя отнести к основным классам биополимеров, является лигнин. Это один из самых распространенных биополимеров в природе, содержание которого в древесине составляет около 14-38 % по массе в зависимости от вида и условий произрастания дерева. Его наночастицы эффективно исследуются на предмет улучшения свойств биокomпозитных материалов [12].

Натуральные полимеры являются основой для формирования биокomпозитов. Основными преимуществами использования биоразлагаемых полимеров являются биологическая градуируемость, экологичность, биосовместимость, устойчивое развитие и сокращение выбросов углекислого газа, как показано на рисунке 1.

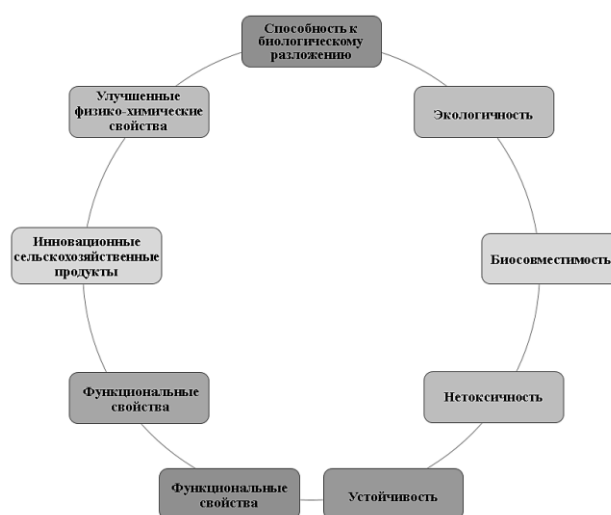


Рис. 1. Полезные свойства биоразлагаемых полимеров

Кроме того, биоразлагаемые полимеры могут использоваться в качестве носителей активных функциональных материалов, таких как противомикробные препараты, антиоксиданты и питательные вещества, что является наиболее важным преимуществом биополимеров. С другой стороны, большинство биоразлагаемых полимеров обладают низкой устойчивостью к влаге или водяному пару из-за их гидрофильности, а их температура плавления близка к температуре горения, поэтому

технологическая способность низкая. [13]. В настоящее время ведутся активные работы в области повышения механических свойств биополимеров.

Далее будут рассмотрены основные виды натуральных биополимеров и направления их использования по отраслям.

Полисахариды

Класс полисахаридов-биополимеров представлен такими соединениями как крахмал, целлюлоза, каррагинан.

Крахмал

Крахмал является одним из наиболее распространенных природных соединений и может быть найден во многих овощных культурах, включая пшеницу, кукурузу, рис, бобы и картофель. Крахмал естественным образом упаковывается в гранулы, размеры и форма которых зависят от растительного происхождения [14].

Биополимеры на основе крахмала привлекают к себе внимание из-за их способности к возобновлению, способности к биологическому разложению, доступности в большом количестве и дешевизны. В последнее время биополимерные пленки на основе крахмала широко используются с эфирными маслами растительного происхождения для усиления их антимикробных свойств. Эфирные масла, полученные из корицы, мяты, апельсина, лимона, гвоздики и имбиря, широко используются в биополимерах благодаря их эффективной антимикробной и антибактериальной активности. Souza и др. исследовали влияние эфирных масел гвоздики и корицы, смешанных с пленками на основе крахмала маниоки, на создание упаковочной продукции [15]. Исследование показало, что все пленки, содержащие эфирные масла, продемонстрировали невероятную антимикробную активность против *Euotium amstelodami*, *Penicillium commune* и других грибов, обычно встречающихся в хлебобулочных изделиях. В другом исследовании Utami и другие ученые использовали эфирное масло на основе корицы для приготовления пленок из тапиоки [16]. Исследование показало, что прочность пленки на разрыв постепенно ухудшалась с увеличением концентрации эфирного масла.

Крахмал обладает отрицательными физическими характеристиками, такими как: чувствительность к влаге, низкие механические термостойкие свойства, хрупкость структуры и высокая газопроницаемость [17]. Однако, после включения в состав пластификаторов, волокон, биополимеров и эфирных растительных масел механические и химические свойства биополимеров на основе крахмала могут быть улучшены [18].

Целлюлоза

Целлюлоза считается самым распространенным природным полимером на земле. Он синтезируется многими живыми организмами: растениями, амебами, морскими животными, бактериями и грибами [19].

Биополимеры на основе целлюлозы привлекают большое внимание из-за их способности к биологическому разложению, высокой долговечности, прочности и жесткости. Исследования показывают, что смешивание целлюлозы с другими полисахаридами, такими как пектин и хитозан, может повысить стабильность, гибкость и прозрачность [20]. Кроме того, целлюлоза чувствительна к воде [21] и ей не хватает межфазной адгезии и термостойкости, что делает композиты на основе целлюлозы менее популярными. Однако предварительная обработка и химическая функционализация целлюлозы могут преодолеть такие технические проблемы.

Существуют исследования, в которых целлюлоза рассматривалась в качестве наполнителя на биологической основе при производстве полимеров, что повышает ее способность к биологическому разложению. Azmin and Nor разработали биопластиковую пленку на основе целлюлозы с использованием шелухи какао-бобов и сахарного тростника [22]. Ученые использовали сельскохозяйственные отходы при производстве пленок для упаковки пищевых продуктов с высокой влагостойкостью, используя комбинацию 25 % волокна и 75 % целлюлозы.

Биопластики на основе целлюлозы, включая ацетат целлюлозы, обычно используются в качестве упаковочных пленок, упаковки пищевых продуктов и ряда других специальных материалов [18].

Каррагинан

Каррагинаны - это линейные полисахариды, извлеченные из морских красных водорослей, которые имеют общую основу. Каррагинан содержит от 22 до 35% сульфатных групп и в основном подразделяется на три типа: каппа (κ), йота (ι) и лямбда (λ). В естественном состоянии они встречаются в виде смеси различных типов, например, гибридов или сложных форм, хотя они менее эксплуатируются [23].

Ученые [24] изучили морфологические и водозащитные свойства гибридных нановискеро-каррагинана и целлюлозы. Каррагинан получали из морских водорослей *M. Stellatus*, а нановискеры целлюлозы получали кислотным гидролизом. Композит был сформирован методом литья в растворителе. Авторы добились превосходной дисперсии наноармирования в матрице при низком содержании наполнителя, но при 3 мас. % целлюлозы это повлияло на водопроницаемость. Был проведен анализ нанофибриллированной целлюлозы, усиливающей к-каррагинан [25]. Композит показал высокую прочность на растяжение, в то время как скорость передачи водяного пара и кислорода снизилась [26].

Белки

Природные полимеры являются идеальными биоматериалами из-за их биосовместимости с окружающей средой, настраиваемых механических свойств и способности имитировать биохимические аспекты, обнаруженные в организме. Белковые композитные материалы предоставили множество возможностей для улучшения биологических функций и совершенствования современных технологий. При использовании в качестве биоматериала они потенциально могут улучшить производство искусственных тканей или имплантатов для регенерации тканей, доставки лекарств и других применений.

Из различных белков растительного происхождения, таких как пшеничный глютен, соевый белок, сывороточный белок, зеин, желатин могут быть получены биопластики. Белки обычно используются для упаковочных материалов из-за их обилия, способности к биологическому разложению, питательной ценности и лучшей способности к проявлению пленки. Пленки на основе белка демонстрируют хорошие механические свойства и барьеры для газов и ароматических свойств по сравнению с липидами и полисахаридами.

Биополимеры на основе белка широко используются в пищевых пленках, обладающих лучшими механическими свойствами, чем полисахариды. Синтетические эластомеры, входящие в состав кератинового белка, повышают термостойкость, механические свойства и огнестойкость полученного продукта.

Kim и другие ученые [27] разработали экологически чистые композиты с использованием смолы из соевого белка и натурального волокна сизаля. Композиты из соевой белковой смолы и желатина обладают лучшими механическими свойствами, чем незаполненная матрица из соевого белка, при этом волокна демонстрируют отличную адгезию. В работе [28] исследованы композиты из пластифицированной соевой муки и натуральных волокон. Соевую муку предварительно смешивали с глицерином. Волокна из листьев ананаса погружали в пластиковую матрицу на основе сои методами двухшнековой экструзии и литья под давлением. Механические свойства были улучшены при армировании 30 % волокнами из листьев ананаса.

Липиды, состоящие из жирных кислот, глицеридов, терпенов, жирного спирта и фосфолипидов, также нашли применение в биополимерах и широко используется в пищевой промышленности. Применение липидов в пищевых пленках и покрытиях дает много преимуществ, таких как глянцевый внешний вид, улавливание влаги и низкая стоимость производства [29]. Биополимерные пленки, изготовленные из масел и жиров, обладают прозрачностью, эластичностью и водостойкостью, что позволяет использовать их для упаковки фруктов, овощей и мясных продуктов [30]. Кроме того, эфирные масла, присутствующие в покрытиях и пленках, обеспечивают усиление.

Использование восков в качестве покрытия или пищевых пленок широко используется для упаковки фруктов и овощей. Авторы работы [31] установили, что пленки на основе воска с улучшенными термическими, механическими и физическими свойствами. Пленка состояла из крахмала маниоки, стеариновой кислоты, карнаубского воска и глицерина. Смолы, полученные из растений и насекомых, обладают быстрым высыханием, глянцевитостью, прозрачностью и стабильностью эмульсии, что позволяет увеличить срок годности свежих продуктов до 12 дней [18].

Натуральный каучук

Натуральный каучук является одним из основных эластомеров, используемых в различных отраслях промышленности. Добавление натуральных волокон в натуральный каучук было тщательно изучено. Murty V и другие ученые [32] доказали высокий эффект сцепления, концентрации волокон и стойкости к старению натурального каучука, армированного джутовыми волокнами. Композиты из натурального каучука, армированные волокном сизаля, также были изготовлены для изучения механических свойств

адгезии волокна к матрице [33]. В качестве армирования использовались волокна кокосовой пальмы, демонстрирующие хорошую адгезию с обработанными щелочью волокнами кокосовой пальмы [34].

Было оценено влияние ориентации волокон, нагрузки и связующего вещества армирующих материалов из сизаля и кокосовой койры. Согласно исследованиям Haseena et al. [35], прочность на разрыв и модуль упругости при растяжении увеличивались с добавлением волокон до 30 частей на сотню резины и снижались при более высоких нагрузках на волокна. Волокно из листьев ананаса также было включено в матрицу из натурального каучука и данный композит показал хорошую устойчивость к старению [36].

Полиэфиры

К семейству природных полиэфиров, вырабатываемых широким спектром микроорганизмов, принадлежат полигидроксиалканоат (PHA), полигидроксибутират (PHB) и полилактид (PLA). Они представляют интерес как биологически производные и биоразлагаемые пластмассы.

Композиты на основе PHB

ПГБ является термопластиком высокой кристаллизации. Интерес к этому материалу появился в связи с нефтяным кризисом в 1973 году и последующим ростом цен на нефть как не возобновляемого источника энергии и сырья. Большой интерес вызвало сообщение о том, что бактериальный полигидроксибутират термопластичен аналогично полипропилену. Выявленные другие свойства ПГБ - биоразрушаемость и биосовместимость, пьезоэлектрические свойства и возможность использования в качестве источника оптически активных молекул не только поддерживали, но и усиливали интерес ICI к бактериальному процессу получения полигидроксибутирата, несмотря на то, что нефтяной кризис стал спадать.

В медицинской промышленности полигидроксибутират используется при производстве биоразлагаемых материалов, таких как рассасывающиеся шовные материалы, используемые для наложения внутренних швов. Они не токсичны и поддаются биологическому разложению, поэтому их не нужно удалять после восстановления.

Пластмассы на основе PHB, поддаются компостированию, получению из возобновляемых источников энергии и биологическому разложению.

Было установлено, что PHB синтезируется с различными выходами многих прокариотических микроорганизмов с использованием различных субстратов. Так, в исследованиях [37] волокна сахарного жмыха, армированные полимерами PHB, обрабатывали с использованием процесса парового взрыва и внедряли в основную матрицу методом прессования. Как показали исследования, композит, состоящий из PHB и сахарного жмыха, обладал лучшими механическими свойствами, чем чистая матрица PHB.

Композиты на основе PHA

Микробные полигидроксиалканоаты (PHAs) представляют собой биополиэфиры, продуцируемые микроорганизмами в виде внутриклеточных гранул. Благодаря нетоксичности и биоразлагаемости эти полиэфиры являются устойчивым источником широкого спектра биоматериалов, таких как биопластики. В результате превосходных свойств полимеров, таких как температура плавления (T_m), температура стеклования (T_g), кристалличность, модуль Юнга и отношение напряжения к разрыву, эти полиэфиры способны заменить синтетические пластмассы. Биопластики, произведенные с использованием PHAs в качестве источника биомассы, могут быть использованы для упаковочного материала и одноразовых изделий. С другой стороны, биотопливо также может быть произведено с использованием PHAs. PHA находят бесчисленное множество применений в промышленности, сельском хозяйстве, фармацевтике и здравоохранении.

PHAs находят широкий спектр применения в промышленном секторе. Биопластики, изготовленные из PHAs, могут быть использованы для производства упаковочных материалов. Использование этих упаковочных материалов вместо синтетических может эффективно снизить загрязнение пластиком и может помочь в достижении целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития. Загрязнением океанов из-за пластиковых отходов можно управлять и решать проблемы с помощью биопластиков на основе полигидроксиалканоатов. Биоразлагаемая пластиковая посуда, к которой относятся чашки, ложки и тарелки, может быть изготовлена с использованием PHAs. Гибридные биоматериалы для большого числа устойчивых применений могут быть получены из PHAs с использованием химической модификации, такой как эпоксидирование [38]. Некоторые основные

области промышленного применения включают упаковку, производство биотоплива и производство важных химических веществ.

Важной областью исследований, в которой используются полиэфиры РНА, является производство биотоплива. Используемые биопластиковые продукты могут быть подвергнуты метиловой этерификации для получения биотоплива, которое является устойчивым топливом для энергетических секторов. О первом исследовании производства биотоплива из материалов на основе РНА было сообщено в 2009 году. РНАs с короткой и средней длиной цепи могут быть этерифицированы метанолом с получением метиловых эфиров гидроксиалкананоата [39]. Бутанол (важное биотопливо) был получен из глюкозы путем синтеза РНВ [40]. Использование РНАs в качестве источника производства биотоплива является очень устойчивым, поскольку РНАs можно получать из активного ила и богатых питательными веществами сточных вод из разных источников. Помимо источника производства биотоплива, РНАs можно использовать для получения промышленно важных химических веществ, таких как гидроксиалкананоаты (НАs), которые являются предшественниками для синтеза химических соединений, таких как антибиотики, ароматические соединения и феромоны [41].

Композиты на основе PLA

Полилактид характеризуется высокой прочностью, жесткостью и водостойкостью, что делает его конкурентоспособным среди биоразлагаемых полимеров для создания композитных материалов. Однако, он имеет свои недостатки. Так, ПЛА уступает синтетическим полимерным материалам по теплостойкости, что затрудняет его использование в качестве упаковки для продуктов с температурой выше 50°C, поскольку начнется ее деформация. Кроме этого, скорость биodeградации PLA при утилизации в окружающей среде является низкой, из-за присутствия алкильных групп, которые препятствуют воздействию воды. Также полилактид является относительно устойчивым к воздействию микроорганизмов в почве, поскольку существует мало природных ферментов, его разлагающих [42].

Ayrlimis N. и др. [43] изучили технологические, термические и антимикробные свойства биокompозитных пленок, полученных из полимолочной кислоты и термически обработанной древесной муки с нанесенными частицами наносеребра. В качестве восстановителя ионов серебра использовали экстракты свежих листьев ликвидамбара смолоносного. Было установлено, что все биокompозитные пленки, полученные из необработанной и термически обработанной древесной муки при содержании наполнителя 5 и 10 мас. % показали лучший модуль упругости при растяжении, чем образцы из чистого ПЛА. В целом на прочность биокompозитов при растяжении отрицательно повлияло повышенное содержание древесной муки.

Лигнин

Лигнин – это сложный (сетчатый) ароматический природный полимер, входящий в состав древесных растений. Он является продуктом биосинтеза и определяет механические свойства древесины, выполняя роль «бетона» в матрице гемицеллюлоз. Лигнин обеспечивает герметичность клеточных стенок и выполняют важную защитную функцию древесных материалов.

В настоящее время известны различные сферы использования гидролизного лигнина, однако проводимые научные исследования открывают новые области его эффективного применения.

Исследователи также обнаружили возможности использования лигнина как биополимера в качестве адсорбентов, нанокатализаторов для реакции окисления и композитных материалов для хранения энергии, а также для доставки лекарств и улучшения свойств клеевых композиций и покрытий.

В работе [44] M. S. Alqahtani и др. синтезировали наночастицы лигнина с использованием технологии смешивания с лимонной кислотой для улучшения системы пероральной доставки природного соединения куркумина, который является малорастворимым природным соединением с ограниченной биодоступностью. Их исследования доказали, что лигниновые наночастицы улучшают куркумин, обладают высокой стабильностью, более высоким поглощением клетками, медленным высвобождением, повышенной проницаемостью (в пять раз) и повышенной биодоступностью (до десяти раз).

P. Figueiredo и др. [45] получили пептидно-функционализированные наночастицы лигнина из фосфофорина дентина для увеличения клеточного поглощения различными типами раковых клеток. Исследователи пришли к выводу, что функционализированные лигниновые наночастицы продемонстрировали большую приверженность к поглощению клетками с улучшенной стабильностью и антипролиферативным эффектом для трех типов линий раковых клеток.

Наночастицы лигнина, их композиты и производные также нашли широкое применение в

производстве экологически чистого топлива. Было проведено много исследований по производству водорода, синтез-газа, биогаза, биодизеля и биоугля из лигнина и его производных. Pei и др. [46] получили газообразный водород путем газификации лигнина в сверхкритической воде. Их анализ показал, что при контролируя температуру стенки трубы, газификация на основе лигнина может привести к более высокому образованию водорода. Аналогичные результаты были также получены исследованиях, в котором использовался нанокатализатор лигнина для улучшения производства водорода. Kang и др. [47] проанализировали производство углеводородного угля с использованием лигнина, целлюлозы, D-ксилозы и древесной муки и пришли к выводу, что лигнин можно эффективно использовать для производства твердого топлива и адсорбента при контроле режимных параметров.

Другое важное применение лигнина и его производных отмечено в устройствах хранения энергии, что отмечено в работе M. H. Sipponen и др. [48]. Результаты их исследований доказали жизнеспособность нанокapsул на основе лигнина для устройств хранения тепловой энергии.

Также материалы на основе лигнина показали улучшенные свойства в вопросах антикоррозионных покрытий, высокой механической и термической прочности. Так Frollini и др. синтезировали теплоизоляционную структурную пену с использованием лигнина, что существенно минимизировало теплопроводность [49]. Согласно их исследованиям, целлюлозные волокна на основе лигнина действуют как армирующий агент, усиливая воздействие фенольных матриц до 35 раз.

Zheng и др. доказали, что используемые лигниновые покрытия улучшают огнестойкость материалов подложки. Их исследование показало, что сульфированный лигнин обладает лучшими характеристиками, чем крафт-лигнин, что обеспечивает полезность лигниновых материалов в качестве антипирена [50].

Lee и др. использовали сферические частицы лигнина при приготовлении солнцезащитного крема для защиты от ультрафиолета [51]. Они подчеркнули, что включение сферических наночастиц лигнина дает солнцезащитный крем с более высокими факторами защиты от солнца и исключительными факторами защиты от ультрафиолетового излучения. Они также заявили, что включение наночастиц лигнина светлого цвета могут улучшить эстетический аспект солнцезащитного крема.

Проведенный анализ свидетельствует о широком круге исследований в области изучения и применения натуральных полимеров растительного происхождения для производства биоразлагаемых композитных материалов, что особенно актуально в условиях современных реалий и жестких требований к повышению экологичности промышленного производства

Заключение

Вопросы утилизации пластиковых отходов определяют вектор исследований, направленных на поиск решений использования биоразлагаемых композитных материалов. Разработка композитных материалов на основе биополимеров, полученных из растительных отходов, является перспективным решением замены синтетических пластиков. Биополимеры являются альтернативой используемым пластикам нефтяного происхождения, а отходы агролесомелиорации дают возможность воспользоваться богатыми источниками натуральных волокон и наполнителей. Такие биокompозиты обладают многообещающими свойствами, такими как полная биоразлагаемость, возобновляемость и высокая экологичность производства. Тем не менее, существуют трудности, связанные с использованием полностью экологически чистых композитов. Во-первых, плохие механические свойства экологически чистых композитов из-за того, что биополимерные матрицы также обладают низкими механическими свойствами. Во-вторых, присущая его компонентам способность к биологическому разложению делает большинство экологически чистых композитов пригодными только для применений с коротким сроком службы, таких как экологичная упаковка и биомедицинские применения. Для преодоления указанных недостатков необходимы разработки новых способов обработки и научные исследования в области применения новых добавок.

Анализ существующих исследований показал, что множество природных полимеров растительного происхождения успешно используются в качестве матриц или армирующих волокон в производстве биополимерных композитных материалов. Композиты, полученные с добавлением природных полимеров и волокон, существенно изменяли характеристики композитных материалов, демонстрируя высокую антимикробную активность, увеличение прочности материалов на разрыв, отличную адгезию, хорошую устойчивость к старению и лучшие механические свойства. Перечисленные достоинства обуславливают расширение сфер применения биокompозитов с использованием натуральных полимеров

растительного происхождения, как показал проведенный обзор. Дальнейшей целью исследований в этой области является сосредоточение на разработке технологий массового производства полимерной экологичной биокompозитной продукции с высокой экономической эффективностью.

Литература

1. Geyer R, Jambeck JR, Law KL (2017) Production, use, and fate of all plastics ever. *Sci Adv* 3(7): E1700782.
2. Karan H, Funk C, Grabert M, Oey M, Hankamer B (2018) Review green bioplastics as part of a circular bioeconomy. *Trends Plant Sci* 24(3):237.
3. Сабирова, Г.А. Производство композиционных материалов на основе биоразлагаемых компонентов / Г.А. Сабирова, Н.Р. Галяветдинов, Р.Р. Сафин // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 55. – С.181-184.
4. Nevárez LM, Casarrubias LB, Canto OS, Celzard A, Fierro V, Gómez RI, Sánchez GG (2011) Biopolymers-based nanocomposites: membranes from propionated lignin and cellulose for water purification. *Carbohydr Polym* 86:732–741.
5. Mulinari DR, da Silva MLCP (2008) Adsorption of sulphate ions by modification of sugarcane bagasse cellulose. *Carbohydr Polym* 74:617–620.
6. Aspinall G (2014) *The polysaccharides*, vol 2. Academic Press, London.
7. Cha D, Chinnan M (2004) *Crit Rev Food Sci Nutr* 44(4):223–237.
8. Stamboulis A, Baillie C, Garkhail S, Van Melick H, Peijs T (2000). *Appl Compos Mater* 7(5–6):273–294.
9. Van Beilen J, Poirier Y (2007) *Crit Rev Biotechnol* 25(11):217–231.
10. Bugnicourt E, Cinelli P, Lazzeri A, Alvarez V (2014) *Budapest Univ Technol Econ* 8(11):791 –808.
11. Misra S, Valappil S, Roy I, Boccaccini A (2006) *Biomacromol* 7(8):2249–2258.
12. Погодина Я.Д., Сафина А.В. «Исследования в области промышленного применения лигнина» // Научно-исследовательские публикации. - 2022. – № 2. – С. 44-46.
13. Khezerlou A., Tavassoli M., Alizadeh Sani, M., Mohammadi K., Ehsani A., McClements, D. J. (2021). Application of Nanotechnology to Improve the Performance of Biodegradable Biopolymer-Based Packaging Materials. *Polymers*, 13 (24), 4399.
14. Appelqvist I, Debet M (1997) *Food Rev Int* 13(2):163–224.
15. Souza AC, Goto GEO, Mainardi JA, Coelho ACV, Tadini CC (2013) Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT* 54:346–352.
16. Utami R, Khasanah LU, Manuhara GJ, Ayuningrum ZK (2019) Effects of cinnamon bark essential oil (*Cinnamomum burmannii*) on characteristics of edible film and quality of fresh beef. *Pertanika J Trop Agric Sci*.
17. Syafiq R, Sapuan SM, Zuhri MYM, Ilyas RA, Nazrin A, Sherwani SFK, Khalina A (2020) Antimicrobial activities of starch-based biopolymers and biocomposites incorporated with plant essential oils: a review. *Polymers* 12:2403.
18. Погодина Я.Д., Сафина А.В. «Эффективность применения биополимеров на основе растительного сырья в производстве пищевых пленок» // Сборник научных статей 10-й Международной научно-практической конференции «Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях» — 2022. – С. 219-222.
19. Heux L, Dinand E, Vignon M (1999) *Carbohydr Polym* 40(2):115–124.
20. Yaradoddi JS, Banapurmath NR, Ganachari SV, Soudagar MEM, Mubarak NM, Hallad S, Hugar S, Fayaz H (2020) Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Sci Rep* 10:21960.
21. Polman EM, Gruter GJM, Parsons JR, Tietema A (2021) Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: a review. *Sci Total Environ* 753:141953.
22. Azmin SNHM, Nor MSM (2020) Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre. *J Bioresour Bioprod* 5:248–255.
23. Torres F, Arroyo J, Alvarez R (2018) *Polym Plast Technol Eng* 58(8):1 –14.
24. Sánchez-García M, Hilliou L, Lagarón J (2010) *J Agric Food Chem* 58(11):12847–12857.
25. Savadekar N, Karande V, Vigneshwaran N, Bharimalla A, Mhaske S (2012) *Int J Biol Macromol* 51(5):1008–1013.

26. Zarina S, Ahmad I (2014) *BioResources* 10(1):256–271.
27. Kim J, Netravali A (2010) *J Biobased Mater Bioenergy* 4(4):338–345.
28. Liu W, Misra M, Askeland P, Drzal L, Mohanty A (2005) *Polymer* 46(8):2710–2721.
29. Mohamed SA, El-Sakhawy M, El-Sakhawy MAM (2020) Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging. Mohamed SA, El-Sakhawy M, El-Sakhawy MAM (2020) Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: a review.
30. Rodrigues DC, Cunha AP, Brito ES, Azeredo HM, Gallão MI (2016) Mesquite seed gum and palm fruit oil emulsion edible films: Influence of oil content and sonication. *Food Hydrocoll* 56:227–235.
31. Chiumarelli M, Hubinger MD (2014) Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocoll* 38:20–27.
32. Murty V, De S (1982) *Rubber Chem Technol* 55(2):287–308.
33. Varghese S, Kuriakose B, Thomas S, Koshy A (1994) *J Adhes Sci Technol* 8(3):235–248.
34. Geethamma V, Joseph R, Thomas S (1995) *J Appl Polym Sci* 55(4):583–594
35. Haseena A, Dasan K, Unnikrishnan G, Thomas S (2005) *Prog Rubber Plast Recycl Technol* 21(3):155–181.
36. Lopattananon N, Panawarangkul K, Sahakaro K, Ellis B (2006) *J Appl Polym Sci* 102(2):1974–1984.
37. Da Silva Pinto C, Arizaga G, Wypych F, Ramos L, Satyanarayana K (2009) *Compos Part A Appl Sci Manuf* 40(5):573–582.
38. Bassas-Galià M, Adolfo Gonzaleza F, Micaux VG, Umberto Piantinia S, Schintke MZ, Mathieu M (2015) Chemical modification of polyhydroxyalkanoates (PHAs) for the preparation of hybrid biomaterials. *Chimia (Aarau)*.
39. Zhang X, Luo R, Wang Z, Deng Y, Chen GQ (2009) Application of (R)-3-hydroxyalkanoate methyl esters derived from microbial polyhydroxyalkanoates as novel biofuels. *Biomacromol* 10:707–711.
40. Bond-Watts BB, Bellerose RJ, Chang MCY (2011) Enzyme mechanism as a kinetic control element for designing synthetic biofuel pathways. *Nat Chem Biol* 7:222–227.
41. Ren Q, Ruth K, Thöny-Meyer L, Zinn M (2010) Enantiomerically pure hydroxycarboxylic acids: current approaches and future perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol* 87:41–52.
42. Reddy, M.M. Biobased plastics and bionanocomposites: current status and future opportunities / M.M. Reddy, S. Vivekanandhan, M. Misra, S.K. Bhatia, A.K. Mohanty // *Progress in Polymer Science*. – 2013. – № 38. – P. 1653–1689.
43. Ayilimis, N. Properties of biocomposite films from PLA and thermally treated wood modified with silver nanoparticles using leaf extracts of oriental sweetgum / N. Ayilimis, E. Yuttas, A. Durmus, F. Ozdemir // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – № 29. – P. 1–12.
44. Alqahtani MS, Alqahtani A, Al-Thabit A, Roni M, Syed R (2019) Novel lignin nanoparticles for oral drug delivery. *J Mater Chem B* 7:4461–4473.
45. Figueiredo P, Sipponen MH, Lintinen K, Correia A, Kiriazis A, Yli-Kauhaluoma J et al (2019) Preparation and characterization of dentin phosphophoryn-derived peptide-functionalized lignin nanoparticles for enhanced cellular uptake. *Small* 15:1901427.
46. Pei JCGLL, Xin AG (2007) Experimental investigation on hydrogen production by gasification of lignin in supercritical water. *Acta Energiæ Solaris Sinica* 9.
47. Kang K, Azargohar R, Dalai AK, Wang H (2015) Noncatalytic gasification of lignin in supercritical water using a batch reactor for hydrogen production: an experimental and modeling study. *Energy Fuels* 29:1776–1784.
48. Sipponen MH, Henn A, Penttilä P, Österberg M (2020) Lignin-fatty acid hybrid nanocapsules for scalable thermal energy storage in phase-change materials. *Chem Eng J* 124711.
49. In: Wallenberger FT, Weston NE (eds) *Natural fibers, plastics and composites*. Springer US, Boston, MA, pp 193–225.
50. Zheng C, Li D, Ek M (2019) Improving fire retardancy of cellulosic thermal insulating materials by coating with bio-based fire retardants. *Nordic Pulp Paper Res J* 34:96–106.
51. Lee SC, Yoo E, Lee SH, Won K (2020) Preparation and application of light-colored lignin nanoparticles for broad-spectrum sunscreens. *Polymers* 12:699.
52. Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G., Halitov R.A., Petrov V.I. [The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste] В сборнике: *Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015*. 2015. С. 7414929.

53. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Галяветдинов Н.Р., Иманаев Р.М. Исследование совмещенной сушки - пропитки массивных капиллярно-пористых коллоидных материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2006. – № 6. – С. 78.

54. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Воронин А.Е., Зиатдинов А.Р., Сабиров А.Т. Установка для переработки отходов древесных производств // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского – 2009. – № 5 (19) – С. 82-87.

55. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Белякова Е.А. Имитация древесины мореного дуба термомодифицированием // Дизайн. Материалы. Технология. – 2010. – № 3 (14) – С. 95-98.

56. Safin R.R., Voronin A.E., Shaikhutdinova A.R., Nazipova F.V., Kaynov P.A. [Method of rational use of waste of timber industries] В сборнике: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM – 2015. – Sofia, 2015. С. 699.

©Сафина А.В. – канд. техн. наук, доцент кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), e-mail: alb_saf@mail.ru; Погодина Я.Д. – магистрант кафедры архитектуры и дизайна изделий из древесины ФГБОУ ВО «КНИТУ», e-mail: pogodinayana2000@mail.ru.
UDC 691.175

REVIEW OF RESEARCH IN THE FIELD OF APPLICATION OF NATURAL BIOPOLYMERS OF PLANT ORIGIN

A.V. Safina, Ya.D. Pogodina

The article provides an overview of modern trends in the use of polymers from plant raw materials in the production of biocomposites, taking into account the latest achievements of scientific research. The creation of new biodegradable composite materials based on natural polymers of plant origin is an urgent area of research for scientists around the world. The use of natural polymers as matrices or reinforcing fibers significantly improves the physico-chemical properties of composites. various types of natural polymers are considered, their possibilities in the direction of changing the properties of composites and the scope of application are analyzed. It has been established that polysaccharides play an important role in food reservation and are used in the food industry. proteins can improve the production of artificial tissues or implants for tissue regeneration. the use of natural rubber in the production of biocomposite materials shows good resistance to aging. Polyester-based composites such as polyhydroxyalkanoate, polyhydroxybutyrate and polylactide have found application in the medical industry for the production of self-absorbable suture materials, as sources for the production of biofuels and biodegradable packaging. The addition of lignin as a biopolymer shows its good effectiveness as an adsorbent and nanocatalyst to improve the oral drug delivery system. Lignin nanoparticles, their composites and derivatives are also widely used in the production of environmentally friendly fuels and as devices for storing thermal energy.

Keywords: biopolymers, vegetable raw materials, composites, polysaccharides, proteins, natural rubber, polyesters, lignin.

References

1. Geyer R, Jambeck JR, Law KL (2017) Production, use, and fate of all plastics ever. Sci Adv 3(7): E1700782.
2. Karan H, Funk C, Grabert M, Oey M, Hankamer B (2018) Review green bioplastics as part of a circular bioeconomy. Trends Plant Sci 24(3):237.
3. Sabirova, G.A. Production of composite materials based on biodegradable components / G.A. Sabirova, N.R. Galyavetdinov, R.R. Safin // Actual problems of the forest complex. – 2019. – No. 55. – pp.181-184.
4. Nevárez LM, Casarrubias LB, Canto OS, Celzard A, Fierro V, Gómez RI, Sánchez GG (2011) Biopolymers-based nanocomposites: membranes from propionated lignin and cellulose for water purification. Carbohydr Polym 86:732–741.
5. Mulinari DR, da Silva MLCP (2008) Adsorption of sulphate ions by modification of sugarcane bagasse cellulose. Carbohydr Polym 74:617–620.
6. Aspinall G (2014) The polysaccharides, vol 2. Academic Press, London.
7. Cha D, Chinnan M (2004) Crit Rev Food Sci Nutr 44(4):223–237.
8. Stamboulis A, Baillie C, Garkhail S, Van Melick H, Peijs T (2000). Appl Compos Mater 7(5–6):273–294.

9. Van Beilen J, Poirier Y (2007) *Crit Rev Biotechnol* 25(11):217–231.
10. Bugnicourt E, Cinelli P, Lazzeri A, Alvarez V (2014) *Budapest Univ Technol Econ* 8(11):791–808.
11. Misra S, Valappil S, Roy I, Boccaccini A (2006) *Biomacromol* 7(8):2249–2258.
12. Pogodina Ya.D., Safina A.V. [Research in the field of industrial application of lignin] *Nauchno-issledovatel'skie publikacii* [Research publications]. 2022. №. 2. pp. 44–46. (In Russ.).
13. Khezerlou A., Tavassoli M., Alizadeh Sani, M., Mohammadi K., Ehsani A., McClements, D. J. (2021). Application of Nanotechnology to Improve the Performance of Biodegradable Biopolymer-Based Packaging Materials. *Polymers*, 13 (24), 4399.
14. Appelqvist I, Debet M (1997) *Food Rev Int* 13(2):163–224.
15. Souza AC, Goto GEO, Mainardi JA, Coelho ACV, Tadini CC (2013) Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT* 54:346–352.
16. Utami R, Khasanah LU, Manuhara GJ, Ayuningrum ZK (2019) Effects of cinnamon bark essential oil (*Cinnamomum burmannii*) on characteristics of edible film and quality of fresh beef. *Pertanika J Trop Agric Sci*.
17. Syafiq R, Sapuan SM, Zuhri MYM, Ilyas RA, Nazrin A, Sherwani SFK, Khalina A (2020) Antimicrobial activities of starch-based biopolymers and biocomposites incorporated with plant essential oils: a review. *Polymers* 12:2403.
18. Pogodina Ya.D., Safina A.V. [The effectiveness of the use of biopolymers based on plant raw materials in the production of food films] – *Sbornik nauchnykh statej 10-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Novye konceptual'nye podhody k resheniyu global'noj problemy obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti v sovremennykh usloviyah»* [Collection of scientific articles of the 10th International Scientific and Practical Conference «New conceptual approaches to solving the global problem of food security in modern conditions»] – 2022. pp. 219–222. (In Russ.).
19. Heux L, Dinand E, Vignon M (1999) *Carbohydr Polym* 40(2):115–124.
20. Yaradoddi JS, Banapurmath NR, Ganachari SV, Soudagar MEM, Mubarak NM, Hallad S, Hugar S, Fayaz H (2020) Biodegradable carboxymethyl cellulose based material for sustainable packaging application. *Sci Rep* 10:21960.
21. Polman EM, Gruter GJM, Parsons JR, Tietema A (2021) Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: a review. *Sci Total Environ* 753:141953.
22. Azmin SNHM, Nor MSM (2020) Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre. *J Bioresour Bioprod* 5:248–255.
23. Torres F, Aroyo J, Alvarez R (2018) *Polym Plast Technol Eng* 58(8):1–14.
24. Sánchez-García M, Hilliou L, Lagarón J (2010) *J Agric Food Chem* 58(11):12847–12857.
25. Savadekar N, Karande V, Vigneshwaran N, Bharimalla A, Mhaske S (2012) *Int J Biol Macromol* 51(5):1008–1013.
26. Zarina S, Ahmad I (2014) *BioResources* 10(1):256–271.
27. Kim J, Netravali A (2010) *J Biobased Mater Bioenergy* 4(4):338–345.
28. Liu W, Misra M, Askeland P, Drzal L, Mohanty A (2005) *Polymer* 46(8):2710–2721.
29. Mohamed SA, El-Sakhawy M, El-Sakhawy MAM (2020) Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging. Mohamed SA, El-Sakhawy M, El-Sakhawy MAM (2020) Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: a review.
30. Rodrigues DC, Cunha AP, Brito ES, Azeredo HM, Gallão MI (2016) Mesquite seed gum and palm fruit oil emulsion edible films: Influence of oil content and sonication. *Food Hydrocoll* 56:227–235.
31. Chiumarelli M, Hubinger MD (2014) Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocoll* 38:20–27.
32. Murty V, De S (1982) *Rubber Chem Technol* 55(2):287–308.
33. Varghese S, Kuriakose B, Thomas S, Koshy A (1994) *J Adhes Sci Technol* 8(3):235–248.
34. Geethamma V, Joseph R, Thomas S (1995) *J Appl Polym Sci* 55(4):583–594
35. Haseena A, Dasan K, Unnikrishnan G, Thomas S (2005) *Prog Rubber Plast Recycl Technol* 21(3):155–181.
36. Lopattananon N, Panawarangkul K, Sahakaro K, Ellis B (2006) *J Appl Polym Sci* 102(2):1974–1984.
37. Da Silva Pinto C, Arizaga G, Wypych F, Ramos L, Satyanarayana K (2009) *Compos Part A Appl Sci Manuf* 40(5):573–582.

38. Bassas-Galià M, Adolfo Gonzalez F, Micaux VG, Umberto Piantinia S, Schintke MZ, Mathieu M (2015) Chemical modification of polyhydroxyalkanoates (PHAs) for the preparation of hybrid biomaterials. *Chimia (Aarau)*.
39. Zhang X, Luo R, Wang Z, Deng Y, Chen GQ (2009) Application of (R)-3-hydroxyalkanoate methyl esters derived from microbial polyhydroxyalkanoates as novel biofuels. *Biomacromol* 10:707–711.
40. Bond-Watts BB, Bellerose RJ, Chang MCY (2011) Enzyme mechanism as a kinetic control element for designing synthetic biofuel pathways. *Nat Chem Biol* 7:222–227.
41. Ren Q, Ruth K, Thöny-Meyer L, Zinn M (2010) Enantiomerically pure hydroxycarboxylic acids: current approaches and future perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol* 87:41–52.
42. Reddy, M.M. Biobased plastics and bionanocomposites: current status and future opportunities / M.M. Reddy, S. Vivekanandhan, M. Misra, S.K. Bhatia, A.K. Mohanty // *Progress in Polymer Science*. – 2013. – № 38. – P. 1653–1689.
43. Ayrlmis, N. Properties of biocomposite films from PLA and thermally treated wood modified with silver nanoparticles using leaf extracts of oriental sweetgum / N. Ayrlmis, E. Yuttas, A. Durmus, F. Ozdemir // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – № 29. – P. 1–12.
44. Alqahtani MS, Alqahtani A, Al-Thabit A, Roni M, Syed R (2019) Novel lignin nanoparticles for oral drug delivery. *J Mater Chem B* 7:4461–4473.
45. Figueiredo P, Sipponen MH, Lintinen K, Correia A, Kiriazis A, Yli-Kauhaluoma J et al (2019) Preparation and characterization of dentin phosphophoryn-derived peptide-functionalized lignin nanoparticles for enhanced cellular uptake. *Small* 15:1901427.
46. Pei JCGLL, Xin AG (2007) Experimental investigation on hydrogen production by gasification of lignin in supercritical water. *Acta Energetica Solaris Sinica* 9.
47. Kang K, Azargohar R, Dalai AK, Wang H (2015) Noncatalytic gasification of lignin in supercritical water using a batch reactor for hydrogen production: an experimental and modeling study. *Energy Fuels* 29:1776–1784.
48. Sipponen MH, Henn A, Penttilä P, Österberg M (2020) Lignin-fatty acid hybrid nanocapsules for scalable thermal energy storage in phase-change materials. *Chem Eng J* 124711.
49. In: Wallenberger FT, Weston NE (eds) *Natural fibers, plastics and composites*. Springer US, Boston, MA, pp 193–225.
50. Zheng C, Li D, Ek M (2019) Improving fire retardancy of cellulosic thermal insulating materials by coating with bio-based fire retardants. *Nordic Pulp Paper Res J* 34:96–106.
51. Lee SC, Yoo E, Lee SH, Won K (2020) Preparation and application of light-colored lignin nanoparticles for broad-spectrum sunscreens. *Polymers* 12:699.
52. Tuntsev D.V., Safin R.R., Hismatov R.G., Halitov R.A., Petrov V.I. [The mathematical model of fast pyrolysis of wood waste] In the collection: *Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015*. 2015. pp. 7414929.
53. Safin R.R., Safin R.G., Galyavetdinov N.R., Imanaev R.M. Investigation of combined drying-impregnation of massive capillary-porous colloidal materials // *Bulletin of Kazan Technological university*. - 2006. – No. 6. – p. 78.
54. Safin R.R., Razumov E.Yu., Voronin A.E., Ziatdinov A.R., Sabirov A.T. Installation for processing wood production waste // *Issues of modern science and practice*. V.I. Vernadsky University – 2009. – № 5 (19) – Pp. 82–87.
55. Safin R.R., Khasanshin R.R., Razumov E.Yu., Belyakova E.A. Imitation of stained oak wood by thermomodification // *Design. Materials. Technology*. – 2010. – № 3 (14) – Pp. 95–98.
56. Safin R.R., Voronin A.E., Shaikhutdinova A.R., Nazipova F.V., Kaynov P.A. [Method of rational use of waste of timber industries] В сборнике: *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM – 2015*. – Sofia, 2015. C. 699.

©Safina A.V. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: alb_saf@mail.ru.; Pogodina Ya.D. – Master's student of the Department of Architecture and Design of Wood Products of the Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: pogodinayana2000@mail.ru.



8 декабря в Санкт-Петербурге состоялся **I Федеральный форум по цифровизации и ИТ в лесопромышленном комплексе Smart Forest 2022**, организованный Информационной группой ComNews.

Форум прошел при поддержке генерального партнера - Группы «Илим» и отраслевых стратегических партнеров: Segezha Group, Компания «Свежа», Группа компаний «Вологодские лесопромышленники», Акционерное общество «Волга», Объединенные бумажные фабрики (Компания ОБФ), Пермская целлюлозно-бумажная компания и ООО «Карелия Палп».

Бронзовым спонсором форума выступило ПАО «Сбербанк», спонсорами сессий: АО «Газпром космические системы», Cloud (ООО «Облачные технологии»), компании IBS и ТУРБО. В статусе «При участии» - компании «Технологии Доверия», ООО «КИТ Софит» и Selectel.

В рамках форума состоялась выставка цифровых технологий, генеральными участниками выставки стали компании НОРБИТ, «ИндаСофт», ЗАО «Джи Ти Эн Ти», ТУРБО и «Автоскоп-сервис», представивший комплекс SatDrive.

Форум состоялся при поддержке **Федерального агентства лесного хозяйства**. Также поддержку форуму оказали отраслевые союзы и ассоциации: Ассоциация «Русский лес», Приморская ассоциация лесопромышленников и экспортеров леса (ПАЛЭК), Уральский Союз лесопромышленников, Ассоциация «Кластер лесоперерабатывающей промышленности» (Ассоциация «Леспром»), Национальное Лесное Агентство Развития и Инвестиций (НЛАРИ), Союз лесопромышленников Республики Коми, Агентство WhatWood, Ассоциация деревянного домостроения, Санкт-Петербургский клуб ИТ-директоров «SPb CIO Club», Клуб IT&Digital директоров, Франко-русская торгово-промышленная палата (CCI France Russie), Некоммерческое Партнерство РУССОФТ и Ассоциация участников отрасли центров обработки данных.

Открыла форум пленарная сессия, модератором которой выступил **Леонид Коник**, генеральный директор – главный редактор, ComNews. Перед дискуссией с докладом выступил

Александр Поздняков, старший вице-президент по операционной деятельности, Группа «Илим» с темой: «Задачи производства, которые решают ИТ-технологии в наш специфический момент кризиса».

Тема пленарной дискуссии: «**Лесопромышленный комплекс на пути к «Индустрии 4.0»**». В обсуждении приняли участие: **Ирина Пирогова**, вице-президент по информационным технологиям, Группа «Илим», **Игорь Козлов**, вице-президент по информационным технологиям и автоматизации процессов, ПАО «Сегежа групп», **Анатолий Насонов**, директор по информационным технологиям, АО «Группа компаний «Вологодские лесопромышленники», **Виталий Житнюк**, директор по развитию инноваций, руководитель R&D-центра, SFT Group, **Кирилл Веревошкин**, руководитель проекта, GREENIndustry, **Андрей Суница**, ведущий инженер, АО «Соликамскбумпром». Эксперты

обсудили потенциал внедрения передовых технологий в отрасли и что изменилось в программах развития ИТ в предприятиях ЛПК за последний год.

Следующую сессию «Цифровизация ЛПК в новых реалиях» провел **Виталий Липский**, генеральный директор, **Национальное лесное агентство развития и инвестиций**. Свои доклады в рамках сессии представили: **Анатолий Ширинкин**, руководитель проектов, **ГБУ ПК «Центр информационного развития Пермского края»** с темой: «Умный лес для лесопользователей», **Андрей Дмитриев**, управляющий директор дирекции трансформации клиентов **СИБ, ПАО «Сбербанк»** с темой: «Сбер – не только финансовый, но и технологический партнер», **Дмитрий Антоненко**, руководитель направления, **Cloud (ООО «Облачные технологии»)** с темой: «Cloud-native подход к цифровизации производственных компаний», **Александр Горбачев**, директор по продукту, **ТУРБО** с темой «Миграция с западной системы управления активами», **Юлия Бабкина**, руководитель проекта «Спутниковый интернет», **АО «Газпром космические системы»** с темой: «Спутниковая связь и аэрокосмические технологии для оптимизации затрат и времени», **Алексей Никитин**, руководитель направления по применению БАС в ГРР, Центр технологий беспилотных авиационных систем, **ООО «Газпромнефть-Цифровые решения»** с темой: «Применение результатов аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования при производстве геологоразведочных работ в лесном фонде», **Светлана Казакова**, менеджер проекта, **Компания «Свежа»** с темой: «Цифровая Свежа». Кросс-функциональный проект» и **Павел Юрченко**, вице-президент по лесобеспечению и лесной стратегии, **Группа «Илим»** с темой: «Цифровые двойники: процессы и объекты».

Продолжение сессии «Цифровизация ЛПК в новых реалиях» провел **Руслан Гулевич**, директор по развитию цифровых технологий, **Группа «Илим»**.

Спонсором сессии выступила компания **IBS**. С докладами выступили: **Ирина Пирогова**, вице-президент по информационным технологиям, **Группа «Илим»** с темой: «ИТ-стратегия кризиса»,

Эрнест Сюч, генеральный директор, **ООО «ИндаСофт»** с темой: «Санкционно-устойчивые MES-решения в ЦБП», **Артур Хисамиев**, начальник отдела управления производственными активами, **IBS** с темой: «Система управления промышленными активами (EAM) на платформе 1С: Предприятие 8», **Михаил Нитишинский**, генеральный директор, **ООО «КИТ Софит»** с темой: «Презентация PN Control - Снижение аварийных простоев оборудования за счет автоматизации сервисного контроля. Элемент мобильного ТОиР», **Михаил Чекулаев**, менеджер по развитию бизнеса, **ООО «Селектел»** с темой: «Внедрение ИТ-решений в лесопользовании», **Анатолий Насонов**, директор по информационным технологиям, **АО «Группа компаний «Вологодские лесопромышленники»** с темой: «Внедрение ERP на предприятиях ЛПК», **Иван Польшинский**, советник генерального директора по вопросам лесобеспечения, **ООО «Пермская целлюлозно-бумажная компания»** с темой: «Применение цифровых технологий в лесной отрасли (использование БПЛА и LiDAR)».

Завершила деловую программу форума панельная дискуссия Foresight: **Прогноз цифровизации ЛПК**. Модератором сессии выступил **Иван Козлов**, глава, **Санкт-Петербургский клуб ИТ-директоров «SPb CIO Club»**.

В дискуссии приняли участие: **Сергей Меркулов**, директор по цифровой трансформации, **ПАО «Сегежа групп»**, **Ирина Пирогова**, вице-президент по информационным технологиям, **Группа «Илим»**, **Анастасия Кабаева**, исполнительный директор технологической практики, **Технологии Доверия**, **Артём Кузнецов**, бизнес-руководитель проектов, **Strategy Partners**, **Анатолий Насонов**, директор по информационным технологиям, **АО «Группа компаний «Вологодские лесопромышленники»** и **Кирилл Веревошкин**, руководитель проекта, **GREENindustry**.

Эксперты обсудили, какие из технологий «Индустрии 4.0» получают свое развитие в отрасли и в какой срок, а также самые большие препятствия для прогресса в цифровизации ЛПК.

ИГ ComNews благодарит всех партнеров, спикеров и участников форума Smart Forest 2022!

