

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.81

DOI: 10.53374/1993-0135-2024-2-63-72

Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. XLII, № 2. С. 63–72

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕЙ И АНТИСЕПТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ В ВИДЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛАСТИКОВ БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНОГО ПРЕСС-СЫРЬЯ*

А. В. Артёмов, В. Г. Буриндин, А. С. Ершова

Уральский государственный лесотехнический университет
Российская Федерация, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

В настоящее время отходы производства в виде гидролизного лигнина и лигносульфонатов от предприятий целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности являются крупнотоннажными отходами, которые требуют проработки решений по их утилизации и применению в качестве вторичного источника сырья. Предлагаются различные решения, одно из которых рассматривает гидролизный лигнин как компонент для получения древесных и композиционных материалов. Данным исследованием было установлено влияние добавки в виде гидролизного лигнина к древесному пресс-сырью на физико-механические свойства пластика без связующих веществ (ПБС), в том числе водо- и биостойкость. Показано, что введение в пресс-композицию на основе древесного наполнителя (древесная мука) гидролизного лигнина, увеличиваются показатели водостойкости ПБС, полученного методом горячего прессования в закрытых пресс-формах. Определены рациональные значения получения ПБС на основе древесного наполнителя с добавлением 40 % масс. гидролизного лигнина с высокими эксплуатационными свойствами. Изучена динамика изменения показателей водостойкости (водопоглощение и разбухание) и биостойкости ПБС по отношению к почво-грунту за 90 суток. Установлено, что при экспозиции 90 суток ПБС с гидролизным лигнином в водной среде и почво-грунте, наблюдается минимальная динамика снижения показателей водостойкости и потери массы. Результаты микроскопирования и визуальная оценка образцов ПБС показали, что первоначальные процессы деструкции изучаемого материала протекают за счет избыточного водонасыщения древесного наполнителя с последующим его разрушением. Использование гидролизного лигнина для древесного пресс-сырья можно рассматривать как гидрофобизирующую и антисептическую добавку для получения материалов на основе ПБС.

Ключевые слова: пластики, древесная мука, гидролизный лигнин, гидрофобизатор, антисептик, физико-механические свойства.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 63–72

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYDROPHOBIZING AND ANTISEPTIC ADDITIVES IN THE FORM OF HYDROLYSIS LIGNIN ON THE PERFORMANCE PROPERTIES OF PLASTICS WITHOUT THE ADDITION OF BINDERS BASED ON WOOD PRESS RAW MATERIALS

A. V. Artemov, V. G. Buryndin, A. S. Ershova

The Ural State Forest Engineering University
37, Sibirskiy trakt, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
E-mail: artemovav@m.usfeu.ru

Currently, production waste in the form of hydrolyzed lignin and lignosulfonates from pulp and paper and hydrolysis industries is large-tonnage waste that requires solutions for their disposal and use as a secondary source of raw materials. Various solutions are proposed, one of which considers hydrolytic lignin as a component for the production of wood and composite materials. This study established the effect of an additive in the form of hydrolytic lignin to wood press raw materials on the physical and mechanical properties of plastic without resins (PWR), including water and biostability. It is shown that the introduction of hydrolyzed lignin into the press composition based

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

on wood filler (wood flour) increases the water resistance of PWR obtained by hot pressing in closed molds. Rational values of obtaining PWR based on wood filler with the addition of 40 % by weight of hydrolyzed lignin with high performance properties have been determined. The dynamics of changes in the indicators of water resistance (water absorption and swelling) and biostability of PWR in relation to the soil for 90 days has been studied. It was found that when exposed to 90 days of PWR with hydrolyzed lignin in the aquatic environment and soil, there is a positive dynamics of a decrease in water resistance and weight loss. The results of microscopy and visual evaluation of the samples of PWR showed that the initial processes of destruction of the studied material proceed due to excessive water saturation of the wood filler with its subsequent destruction. The use of hydrolytic lignin for wood press raw materials can be considered as a hydrophobic and antiseptic additive for obtaining materials based on PWR.

Keywords: *plastics, wood flour, hydrolysis lignin, hydrophobizer, antiseptic, physical and mechanical properties.*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетов государственной политики в области охраны окружающей среды является использование наилучших доступных технологий (НДТ) при обращении с отходами производства и потребления, суть которых заключается в максимальном использовании исходного сырья и материалов, а также в сокращении образования отходов путем их использования в качестве вторичного источника сырья. Для хозяйствующих субъектов, которые характеризуются максимальным вкладом в загрязнение окружающей среды, нормирование своего негативного воздействия осуществляется на принципах НДТ и применение энерго- и ресурсосберегающих технологий является обязательным.

Согласно действующим нормативным положениям к таким субъектам можно отнести предприятия целлюлозно-бумажного комплекса (производство целлюлозы и древесной массы, бумаги и картона), гидролизной промышленности (производство спиртов). Для данных предприятий характерно образование основного многотоннажного отхода в виде гидролизного лигнина. Основные направления по минимизации данного вида отхода – это либо его обезвреживание путем сжигания, либо его размещение на специально оборудованных для данных целей сооружениях. И в том, и в другом случае имеется не соответствие требованиям национальной политики в области рационального природопользования и экологической безопасности.

Сегодня ряд научных направлений предлагают различные пути по вопросу утилизации гидролизного лигнина и лигносульфонатов от предприятий целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности [1-4].

Широкое распространение получило применение лигнинсодержащих веществ в качестве наполнителя с целью получения различных композиционных материалов, как с применением синтетических полимерных материалов, так и на основе полимеров природного происхождения [5-8].

В работе [9] отмечается низкое водопоглощение и высокая ударная вязкость композитов с гидролизным лигнином и полиэтиленом (ПЭНД). Отмечается, что данные свойства материала являются важнейшим конкурентным преимуществом. Для опытно-промышленной апробации рекомендуется композит следующего состава: гидролизный лигнин – 30 %, ПЭНД – 68,0 %, компатибилизатор – 0,5 %, стеариновая кислота – 0,75 %, окисленный полиэтилен – 0,75 %.

В другой работе [10] были разработаны смеси полипропилена (ПП) и лигносульфоната натрия (LGNa)

для оценки потенциального получения легкого, теплоизоляционного и огнестойкого материала. Смеси были получены путем смешивания и оценивались с помощью физических, морфологических, термических испытаний, испытаний на теплопроводность и воспламеняемость. Полученные результаты свойств были сопоставлены с контрольными (чистыми) образцами. Результаты показали, что при увеличении содержания LGNa с 10 до 40 масс.% образуется гетерогенная смесь с большим количеством разнородных структур. Кроме того, было установлено, что добавление LGNa не влияет на плотность и коэффициент теплопроводности композитов из исследуемых смесей. Однако при содержании LGNa в смеси более 20 масс.%, показатели термо- и огнестойкости значительно снижаются. В целом отмечается, что имеется потенциал для использования лигносульфоната в качестве реакционноспособного компонента в различных полимерных смесях.

В исследовании [11] описывается применение двухкомпонентных наполнителей на основе лигнина и полиэтилена низкой плотности (ПВД) с получения пленочного материала. Изучались композиты ПВД и наполнителей в количестве 5 масс.% двухфазных систем MgO и MgO-лигнин с различным количеством лигнина. Было установлено, что наилучшее совмещение ПВД и наполнителя MgO-лигнина наблюдались в случае композиции в соотношении 1: 5.

В эксперименте [12] в качестве исходных компонентов для исследований композита использовали полиэтилен высокой плотности (ПЭ), полиэтилен с привитым малеиновым ангидридом (ПМА) в качестве связующего компонента и гидролизный лигнин. Результаты термогравиметрических анализов образцов полученного пластика, показали, что его термодеструкция проходит в одну стадию, что свидетельствуется об однородной структуре полученного материала и равномерным распределением частиц лигнина по всему объему образца. Физико-механические анализы полученных образцов лигно-органопластиков показали высокие значения сопротивления разрыву и модуля упругости по сравнению с контрольным образцом чистого полиэтилена.

Исследовано [13] получение лигнопенополиуретанов на основе отходов технических гидролизных лигнинов, как свежеполученных, так и пролежавших в отвалах длительное время. Установлено, что получаемые материалы обладают высокими теплоизолирующими свойствами, которые соответствуют стандартам теплоизолирующих материалов. Было установ-

лено, что длительное хранение технического гидролизного лигнина при атмосферных условиях, не оказывает существенного влияния на физико-механические свойства получаемых лигнопенополиуретанов.

Были получены [14] композитные наночастицы (NPS), состоящие из лигнина и различных производных полисахаридов (PS). При синергетическом подходе PS действует как биосовместимая матрица, которая образует наночастицы NPS, в то время как лигнин является функциональным соединением с терапевтическим потенциалом (например, антиоксидантным, антимикробным, противовирусным).

Авторы [14] считают, что крафт-лигнин (KL) может быть отличным наполнителем для композитов, поскольку он обладает механическими и термическими свойствами и снижает стоимость и массу получаемых изделий. Так, например, термопластичные эластомерные пленки (TPS) были получены литьем с использованием диметилсульфоксида (DMSO) в качестве растворителя и добавок с 2, 4 и 8 % KL. Образцы пленок TPS и композиций с KL также были проанализированы на биодegradацию. Было установлено, что увеличение процентного содержания KL приводит к увеличению гидрофобности. Полученные образцы композитов показали непрерывный и прогрессирующий процесс биодegradации, полностью разлагаясь в течение 10 дней. Наилучшие результаты в большинстве тестов были получены для пленок TPS с содержанием 4 % KL.

В ходе работы [16] был проведен сравнительный анализ физико-механических свойств композитного материала на основе полигидроксibuтирата (ПГБ) с двумя видами наполнителей: древесной мукой и гидролизным лигнином. Результаты выполненной работы показали, что введение наполнителей в полимерную матрицу ПГБ оказывает значительное влияние на основные характеристики вязкоупругости композитов. Выявлено, что введение в матрицу до 40 масс.% измельченного лигнина и древесной муки, вызывает повышение на 25–40 % динамического модуля упругости. Такой же характер носят и данные по пределу прочности на растяжение. При дальнейшем повышении количества наполнителя, модуль упругости снижается. При этом результаты исследований композитов на ударную вязкость выявили, что наличие в составе композита наполнителей снижает ударную вязкость, независимо от вида и количества наполнителя.

В работе [17] изучались физико-механические свойства полимерных композиционных материалов на основе поливинилхлорида, отходов производства флизелиновых обоев и древесной муки. Совместное использование отходов производства флизелиновых обоев и древесной муки в качестве наполнителя позволяет повысить физико-механические свойства по сравнению с образцами, содержащими только один из типов наполнителя. Предлагается использование отходов производства флизелиновых обоев в качестве частичной замены древесной муки в качестве наполнителя при производстве полимерных композиционных материалов на основе поливинилхлорида.

Также авторы [18] отмечают, что древесная мука является классическим наполнителем при заполнении биокомпозита, однако требует правильной подготов-

ки сырья и его стоимость весьма высока. В этой связи актуальным становится наполнение биоразлагаемого композиционного материала гидролизным лигнином, отходы которого на гидролизном производстве достаточно большие и практически не утилизируются.

Другое направление исследований посвящено использованию лигнина с целью модификации смол для получения древесно-композиционных материалов [19].

Было изучено [20] влияние модификации фенолформальдегидных смол (ФФС) карбонизированным гидролизным лигнином (35 % растворы реагентов марки S-Drill™ BND95 и S-Drill™ CL производства ООО «СинерджиКом», республика Беларусь) на физико-механические свойства фанеры. Применение изучаемых рецептур позволяют уменьшить влагопоглощение на 12,3 % и 6,5 % и объемное разбухание на 6,2 % и 10,8 %, увеличить предел прочности на 31,3 % и 26,5 % для S-Drill™ BND95 и S-Drill™ CL соответственно. Также было установлено, что использование карбонизированного гидролизного лигнина в качестве модификатора ФФС позволяет получать фанеру класса эмиссии E0.

Также предложено [21] использование продуктов окислительной деструкции гидролизного лигнина в виде поверхностно-активных веществ на основе поликарбоксилатного лигнина S-Drill™ CL (марка А) с целью повышения эффективности карбамидоформальдегидной смолы (КФС) для древесных плит. Использование кислой модификации лигниновых реагентов в качестве ускорителя отверждения позволяет обеспечить повышение производительности плитных производств до 9 % путем увеличения пресс-фактора за счет снижения времени желатинизации величину от 20 до 50 %, снизить расход КФС при сохранении требуемого уровня физико-механических показателей древесных плит.

С целью повышения связующей способности жидких технических лигносульфонатов была осуществлена их модификация карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) и карбамидоформальдегидной смолой: жидкой (КФЖ) и малотоксичной (КФС) [22]. Установлено, что наибольшая связующая способность при прессовании металлобрикетов достигается при использовании КФС с расходом 5 массовых процентов к техническому лигносульфонату.

В работе [23] указывается, что в состав гидролизного лигнина и микологически разрушенной древесины входят соединения, содержащие полярные функциональные группы и основными экстрактивными веществами микологически разрушенной древесины являются соединения фенольной природы. Эти соединения могут выступать в роли сшивающих агентов при пиролизной обработке лигнина.

При пьезотремической обработке лигнинцеллюлозосодержащего сырья следует набухание и развитие склеивающих свойств лигнина [24].

При получении пьезотермопластиков (пластики без связующих веществ (ПБС)) из комбинированного пресс-материала (из древесных частиц и гидролизного лигнина смешанных в различных соотношениях) можно получать материал высокой прочности и водопорности [25]. Так, за 24 часа водопоглощение пластиков, изготовленных из 100 % березовых опилок,

составило 38 %, а пластиков, изготовленных из 100 % гидролизного лигнина – 13 %; разбухание по толщине – 28 % и 6 % соответственно. За 20 суток водопоглощение пластиков, изготовленных из 100 % березовых опилок, составило 44 %, а пластиков, изготовленных из 100 % гидролизного лигнина – 15 %; разбухание по толщине – 34 % и 7 % соответственно. Из приведенных данных следует, что гидролизный лигнин, добавленный в пресс-материал, значительно уменьшает водопоглощение и разбухание ПБС.

Показана [26] возможность получения ПБС с использованием модификатора в виде активированного лигнина методом кавитации. Путем модификации древесных частиц активированным лигнином можно улучшить такие показатели, как прочность при изгибе, водопоглощение и разбухание. Был рассчитан оптимальный режим прессования для получения ПБС исходя из условий минимального водопоглощения и разбухания по объёму и максимальных прочностных показателей: расход активированного лигнина – 40 %; температура прессования – 185 °С; время охлаждения под давлением – 10 мин.

Предлагается [27] получение ПБС на основе биоактивированного активным илом и модифицированного кавитационным гидролизным лигнином древесного сырья. Был подобран рациональный режим биоактивации древесного пресс-сырья для получения ПБС с добавлением лигнина, исходя из условий получения максимальных прочностных показателей и показателя водостойкости: содержание лигнина – 30 %; расход иловой смеси – 20 %; продолжительность активации – 20 сут.; влажность пресс-сырья – 10 %.

Таким образом, на основании ранее выполненных исследований, гидролизный лигнин и лигнинсодержащие отходы более целесообразно считать важнейшим сырьевым источником для производства древесных пластиков, в том числе и ПБС. При этом добавка гидролизного лигнина к древесному наполнителю

будет придавать повышенные показатели по водо- и биостойкости, т. е. будет выступать одновременно как гидрофобизатор и антисептик.

Целью данной работы являлось исследование влияния добавки гидролизного лигнина к наполнителю в виде древесной муки в качестве гидрофобизатора и антисептика для получения ПБС с повышенными показателями по водо- и биостойкости, а также изучение влияния различного содержания лигнина в пресс-композициях на эксплуатационные свойства получаемого пластика.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве исследуемых компонентов пресс-сырья для получения ПБС были использованы древесная мука (ДМ) и гидролизный лигнин (ГЛ), характеристика которых представлена в табл. 1.

Рецептура пресс-композиций, технологические режимы и условия получения образцов представлены в табл. 2.

На основании принятых композиций и режимов изготовления, методом горячего компрессионного прессования были получены образцы ПБС в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 2,5 мм. Образцы-диски ПБС по каждой композиции были получены в пяти параллельных опытах ($n = 5$).

После кондиционирования образцов в комнатных условиях (в течение 24 ч) проводились испытания их на физико-механические свойства на поверенном оборудовании по аттестованным методикам (ГОСТ 10634–88, ГОСТ 4650–2014, ГОСТ 4670–2015).

Оценка водо- и биостойкости осуществлялась в течение 90 сут. (контрольные и промежуточные испытания проводились после 0, 30 и 60 сут. экспозиций). После экспозиции 30, 60 и 90 сут. образцы изымались из соответствующей среды испытаний, при необходимости обрабатывались (промывка, просушка при комнатной температуре в течение суток).

Таблица 1
Характеристика исходных компонентов пресс-сырья

Обозначение	Свойства			Содержание	
	Вид сырья	Размер фракции	Исходная влажность, %	Лигнин (ГОСТ 11960), %	Целлюлоза (Кюршнера-Хоффера), %
ДМ	ГОСТ 16361-87 «Мука древесная. Технические условия», марка ДМ-180	180 мкм	6,0	35,0	25,5
ГЛ	Отходы гидролизного производства (г. Тавда Свердловской обл.)	0,7 мм	3,4	не опред.	не опред.

Таблица 2
Рецептура и режимы получения образцов ПБС

№ композиции	Содержание, масс.%,		Влажность, %	Удельное давление прессования, кгс/см ²	Температура прессования, °С	Продолжительность, мин	
	ДМ	ГЛ				прессования	охлаждения под давлением
1	100	0	12	630	180	10	10
2	80	20	12	630	180	10	10
3	60	40	12	630	180	10	10
4	40	60	12	630	180	10	10
5	20	80	12	630	180	10	10
6	0	100	12	630	180	10	10

Далее образцы подвергались испытаниям: определялись масса и толщина, рассчитывались показатели водопоглощения по объему и разбухания по толщине, проводилась визуальная оценка и микрофотографирование лицевой поверхности изучаемых образцов ПБС.

Испытания на водостойкость осуществлялись путем выдержки образцов в дистиллированной воде с показателем pH $7,9 \pm 0,5$ ед. и температурой 21 ± 2 °С. Испытания на биостойкость осуществлялись путем выдержки образцов в почво-грунте со средней влажностью 60 ± 5 % и температурой 20 ± 2 °С.

Полученные результаты испытаний на физико-механические свойства (в том числе и на водо- и биостойкость) во всех параллельных опытах ($n = 5 \div 12$) были подвергнуты статистической обработке на грубые промахи по Q-критерию [28].

В качестве почво-грунта был принят грунт для рассады (ТУ 0392-001-59264059-03). Выбор использования грунта для рассады в качестве среды испытаний на биостойкость осуществлялся из следующих соображений. Применительно к материалам ПБС только на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья (опилки древесины, шелуха пшеницы) использование активного грунта, подготовленного по ГОСТ 9.060–75 для испытаний на микробиологическое разрушение, является неоднозначным, так как деструкция данных материалов происходит не более чем за 30 сут. [29], вместо установленных ГОСТ Р 54530–2011 сроков в 180 сут. Поэтому на первоначальном этапе изучения влияния гидролизного лигнина в качестве гидрофобизирующей и антисептической добавки осуществлялось в более «мягких» условиях (экспозиция в почво-грунте на основе грунта для рассады) с целью сопоставления с ранее выполненными результатами испытаний на биостойкость с использованием различных гидрофобизаторов и антисептиков [30–31].

Визуальная оценка изменения внешнего вида образцов проводилась при помощи микрофотографирования лицевой поверхности. Микрофотографирование проводилось при увеличении 1:400 с помощью микроскопа «Микромед 3».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Физико-механические свойства полученных образцов ПБС на основе древесного наполнителя с добавлением гидролизного лигнина представлены в табл. 3.

Результаты испытаний на водо- и биостойкость образцов ПБС при экспозиции их в водной среде и в почво-грунте представлены в табл. 4.

Результаты микрофотографирования исходных пресс-композиций и лицевой поверхности полученных образцов ПБС по различным рецептурам представлены на рис. 1.

Результаты микрофотографирования лицевой поверхности образцов ПБС после испытаний на водо- и биостойкость представлены на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. На основании данных табл. 3 можно сделать следующие выводы:

– с увеличением содержания гидролизного лигнина в исходном древесном пресс-сырье наблюдается снижение прочностно-пластических показателей, получаемых ПБС: прочность при изгибе снижается на 87,5 %, модуль упругости при изгибе – на 51,4 %, упругость – на 23,5 %;

– с увеличением содержания гидролизного лигнина в древесном пресс-сырье наблюдается увеличение показателей водостойкости, получаемых ПБС: водопоглощение по объему снижается на 69,6 %, разбухание по толщине – на 84,6 %.

Таблица 3
Физико-механические свойства ПБС основе древесной муки и гидролизного лигнина

Показатель	№ композиции					
	1	2	3	4	5	6
Плотность, кг/м ³	1001	960	956	951	920	914
Прочность при изгибе, МПа	16,5	11,8	10,0	8,7	8,5	2,8
Твердость (по вдавливанию шарика), МПа	17,9	17,8	17,8	17,7	17,7	17,6
Модуль упругости при изгибе (по прогибу образца), МПа	6727	4422	4298	3710	3301	3268
Число упругости, %	68,3	65,0	64,2	55,7	53,0	52,5
Водопоглощение по объему за 24 часа, %	46	41	27	27	25	14
Разбухание по толщине за 24 часа, %	26,3	26,1	15,8	13,2	7,4	4,3

Таблица 4
Результаты испытаний на водо- и биостойкость ПБС основе древесной муки и гидролизного лигнина

№ композиции	Продолжительность выдержки, сут											
	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
	Показатель водостойкости, %						Показатель биостойкости, %					
	вдвопоглощение по объему			разбухание по толщине			изменение массы			изменение толщины		
1	20,6	27,4	32,3	16,9	12,9	15,3	12,1	19,8	33,6	17,8	6,1	8,3
2	19,3	24,2	27,2	16,6	9,5	13,2	11,1	17,7	27,8	16,9	5,3	7,4
3	17,9	20,3	22,6	13,4	8,8	10,9	7,5	10,1	25,1	10,4	4,6	6,0
4	15,6	16,9	18,4	10,6	7,9	9,9	5,9	6,4	15,2	8,3	3,1	5,3
5	13,2	15,2	16,5	9,5	7,1	9,7	4,1	5,1	9,3	6,5	2,9	4,7
6	12,8	13,8	14,9	7,8	6,3	6,2	3,3	4,3	5,2	5,5	2,3	3,1

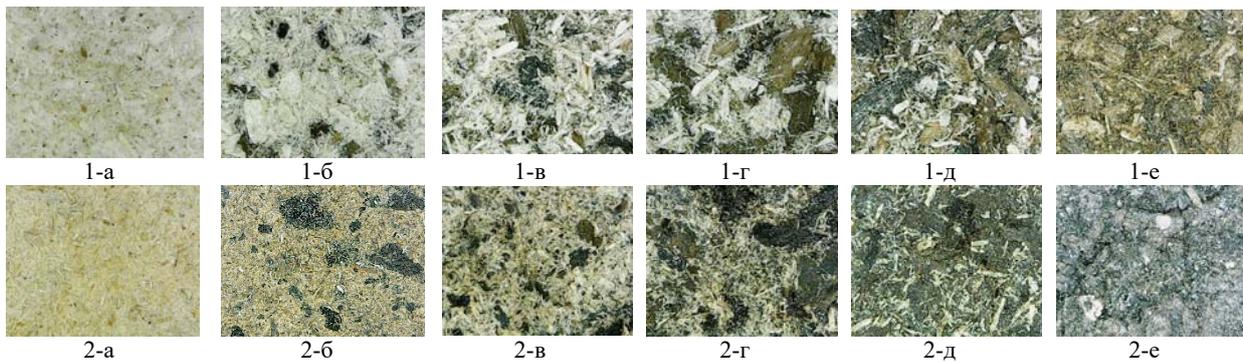


Рис. 1. Результаты микрофотографирования:
1 – пресс-композиция; 2 – лицевой поверхности ПБС;
а) пресс-композиция (ПК) № 1; б) ПК № 2; в) ПК № 3; г) ПК № 4; д) ПК № 5; е) ПК № 6

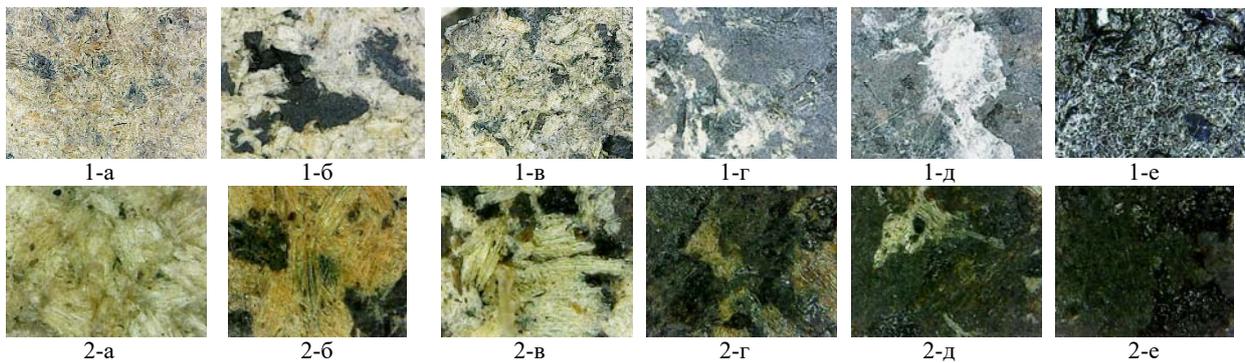


Рис. 2. Результаты микрофотографирования лицевой поверхности ПБС после испытаний 90 суток:
1 – на водостойкость; 2 – на биостойкость;
а) пресс-композиция (ПК) № 1; б) ПК № 2; в) ПК № 3; г) ПК № 4; д) ПК № 5; е) ПК № 6

Таким образом, добавка гидролизованного лигнина в пресс-композицию к наполнителю на основе древесного сырья, позволяет повысить показатели водостойкости ПБС, но при этом получаемый материал будет иметь более низкие показатели по прочности и пластичности. Это обусловливается, во-первых, свойствами самой добавки в виде гидролизованного лигнина, за счет его аморфной структуры и гидрофобности, а во-вторых, увеличением содержания целлюлозы древесного наполнителя, не позволяющего получать более упругий материал.

2. На основании данных табл. 4 можно сделать следующие выводы:

- добавка гидролизованного лигнина к древесному пресс-сырью позволяет уменьшить водопоглощение по объему и разбухание по толщине образцов ПБС при выдержке их в водной среде до 90 суток. Так, снижение водопоглощения при отсутствии добавки составляет 32,3 %, при содержании 40 масс.% гидролизованного лигнина в древесном наполнителе – 22,6 %, а при содержании 80 масс.% – 16,5 %. Изменение потери массы образцов ПБС в почво-грунте в зависимости от содержания гидролизованного лигнина аналогичны. Так, убыль массы образцов при отсутствии добавки составляет 33,6 %, при содержании 40 масс.% гидролизованного лигнина в древесном наполнителе – 25,1 %, а при содержании 60 масс.% – 15,2 %.

- добавка гидролизованного лигнина к древесному пресс-сырью позволяет снизить показатель разбуха-

ния и изменение толщины образцов ПБС при выдержке в водной среде и почво-грунте до 60 суток соответственно. При выдержке более 60 суток у данных показателей наблюдается обратная тенденция – происходит их увеличение. Данные изменения продиктованы морфологической трансформацией материала (увеличение пористости, появлением трещин и проч.) и как следствие «вторичным набуханием» материала.

Таким образом, выдержка ПБС уже за 60 суток в водной среде и почво-грунте приводит к необратимым процессам видоизменения и деформации материала ПБС. Добавка гидролизованного лигнина позволяет существенно замедлить данные процессы.

3. На основании данных рис. 1 можно сделать следующие выводы:

- при получении композиции не удастся достигнуть одинаковую степень распределения частиц наполнителей, так как они не имели единообразный размер фракции и формы частиц;

- при получении ПБС не удастся достигнуть монолитности материала, имеющего микротрещины и неоднородные включения.

Таким образом, разнородный размер фракций и форм частиц древесного наполнителя и гидролизованного лигнина, не позволяют осуществлять полноценное структурообразование пластика, и как следствие это сказывается на качестве получаемого материала и прочностно-пластических показателях.

4. На основании данных рис. 2 можно сделать следующие выводы:

– наблюдается изменение внешней и внутренней структуры материала после 90 суток выдержки в водной среде. Образцы после испытаний на водостойкость более подвержены химическому воздействию в виде ослизнения и омыления и, как следствие, проявлением «вторичного» разбухания – увеличения линейных размеров. При этом большие изменения затрагивает древесный наполнитель из-за наличия гидрофильных соединений легкогидролизуемых полисахаридов;

– наблюдается изменение внешней и внутренней структуры материала после 90 суток выдержки в почво-грунте. После испытаний на биостойкость, образцы были подвержены физико-механическому воздействию, которое проявлялось корежением и расслоением, вызванное напряжением внутри самого материала за счет начального водонасыщения влагой из грунта и параллельным воздействием на него уплотненной структуры почво-грунта;

Таким образом, выдержка ПБС 90 суток в водной среде и почво-грунте приводит к изменению внешней и внутренней структуры материала, при этом большому воздействию подвергается наполнитель на основе древесины. Первоначальные процессы деструкции ПБС в почво-грунте обусловлены избыточным водонасыщением древесного наполнителя, приводящие к внутренним напряжениям и разрывам связей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного данного исследования работы было установлено влияние гидролизного лигнина в виде добавки к древесному пресс-сырью на физико-механические свойства ПБС, в том числе водо- и биостойкость.

Наличие гидролизного лигнина в древесном наполнителе повышает водостойкость и снижает биоразлагаемость ПБС по отношению к почво-грунту за 90 суток.

На основании выполненных исследований предлагается рациональная рецептура получения ПБС на основе древесного наполнителя с добавлением 40 масс.% гидролизного лигнина.

Таким образом, добавка гидролизного лигнина можно рассматривать не только как модификатор, а как гидрофобная и антисептическая добавка к древесному наполнителю для получения ПБС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Lignin-derived (nano)materials for environmental pollution remediation: Current challenges and future perspectives / M. Sajjadi, H. Ghafari, F. Ahmadpoor, M. Nasrollahzadeh // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 178. P. 394–423. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.165. EDN UAGKGM.

2. Анализ результатов механоактивации технического гидролизного лигнина с использованием методов термографических исследований и лазерной дифракции / В. А. Петров, А. В. Александров, Т. Н. Александрова, А. П. Руденко // *Хвойные бореальной зоны*. 2018. Т. 36, № 2. С. 205–210. EDN VPHWLB.

3. Плотникова Г. П. Композиционный строительный материал с использованием отходов лесохимии в составе // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11, № 3(38). С. 452–461. DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-452-461. EDN GCEJHR.

4. Multifunctional lignin-based nanocomposites and nanohybrids / E. Lizundia, M. H. Sipponen, L. G. Greca [et al.] // *Green Chemistry*. 2021. Vol. 23, No 18. P. 6698–6760. DOI 10.1039/d1gc01684a. EDN UCHRYJ.

5. Теплоэффективные строительные материалы на основе полимерсиликатного вяжущего и гидролизного лигнина / Г. Н. Шибасева, Е. Е. Ибе, Ю. А. Холдаенко, В. А. Филимонова // *Инновации в жизнь*. 2017. № 3(22). С. 162–172. EDN XSEZMT.

6. Lignin as an additive for advanced composites / Y. Polat, E. Stojanovska, T. A. Negawo [et al.] // *Green Energy and Technology*. 2017. No. 9783319466095. P. 71–89. DOI 10.1007/978-3-319-46610-1_4. EDN YDUPUD.

7. Кузнецова Т. Н. Разработка теплоизоляционного материала на основе гидролизного лигнина из отходов ОАО «Тавдинский гидролизный завод» // *Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. В 2 т., Тюмень, 20–21 мая 2020 года. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 40–42. EDN FPTXBQ.

8. Lignin as Green Filler in Polymer Composites: Development Methods, Characteristics, and Potential Applications / M. R. Ridho, M. Rahmi Dn, E. W. Madyaratri [et al.] // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. P. 1363481. DOI 10.1155/2022/1363481. EDN BEIZVT.

9. Ступак Д. П., Шкуро А. Е., Артемов А. В. Получение и исследование свойств древесно-полимерных композитов с гидролизным лигнином // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2020. № 1. С. 72–80. EDN CNXUXS.

10. Assessment of morphological, physical, thermal, and thermal conductivity properties of polypropylene/lignosulfonate blends / M. Schneider, N. Finimundi, M. Podzorova [et al.] // *Materials*. 2021. Vol. 14, No 3. P. 1–10. DOI 10.3390/ma14030543. EDN OTZDXL.

11. Influence of MgO-lignin dual component additives on selected properties of low density polyethylene / K. Bula, G. Kubicki, A. Kubiak [et al.] // *Polymers*. 2020. Vol. 12, No 5. P. 1156. DOI 10.3390/POLYM12051156. EDN SXAAPK.

12. Пименов С. Д., Крутов С. М. Композиты на основе отходов биохимической промышленности и гидролизного лигнина и органических полимеров // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 13–15 апреля 2016 года* / под ред. В. М. Гедьо. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, 2016. С. 86–89. EDN VYHNWR.

13. Лигнопенополиуретаны на основе гидролизного лигнина / С. М. Крутов, Е. В. Ипатова, Д. С. Косяков [и др.] // *Журнал прикладной химии*. 2016. Т. 89, № 1. С. 128–133. EDN JWSDUI.

14. Composite nanoparticles derived by self-assembling of hydrophobic polysaccharide derivatives and lignin / M. Gericke, T. Heinze, J. Bergrath, M. Schulze // *Cellulose*. 2022. Vol. 29, No 7. P. 3613–3620. DOI 10.1007/s10570-022-04504-x. EDN LYWAJZ.

15. Improvements in thermal and mechanical properties of composites based on thermoplastic starch and Kraft Lignin / A. De S M De Freitas, A. P. Lemes, J. S. Rodrigues [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 184. P. 863–873. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.153. EDN HEXLLU.

16. Илалова Г. Ф., Галяветдинов Н. Р. Исследование физико-механических характеристик биоразлагаемых композиционных материалов с древесными наполнителями // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2022. № 62. С. 302–307. EDN СУМУКЕ.

17. Полимерные композиционные материалы на основе поливинилхлорида, отходов производства флизелиновых обоев и древесной муки / А. Е. Шкуро, Д. Д. Чирков, В. В. Глухих [и др.] // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2022. № 3. С. 112–119. EDN RTXCTQ.

18. Ilalova G., Safin R., Mukhametzyanov S., Gazizullina A. Hydrolysis as a basis for processing vegetable waste into bioplastics // *Energy Systems Environmental Impacts*. ESEI 2020. E3S Web of Conferences. P. 03009. EDN: ZMFUIX.

19. The role of lignin and lignin-based materials in sustainable construction – A comprehensive review / P. Jędrzejczak, T. Jesionowski, Ł. Kłapiszewski, M. N. Collins // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. Vol. 187. P. 624–650. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.125. EDN IVHACR.

20. Модификация фенолформальдегидных смол карбонизированным гидролизным лигнином для производства фанеры / И. К. Божелко, О. К. Леонovich, А. И. Медвецкий [и др.] // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 2022 года*. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2022. С. 201–203. EDN EBKGWL.

21. Использование продуктов окисления гидролизного лигнина в целях повышения эффективности связующих для древесных плит / А. Н. Гончар, В. А. Литвиненко, А. А. Кожемяко, Е. В. Дубоделова // *Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : материалы IV Международной научно-практической конференции, Кострома, 08–11 сентября 2021 года / отв. ред. А. А. Титунин, Т. Н. Вахнина*. Кострома : Костромской государственный университет, 2021. С. 75–77. EDN ALKOKN.

22. Журавлев И. С., Вураско А. В., Стоянов О. В. Химическая модификация лигносульфонатов для повышения связующих свойств // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17, № 15. С. 37–39. EDN STICKN.

23. Модифицирование гидролизного лигнина продуктами микелиза древесины / Г. Н. Кононов, А. Н. Веревкин, Ю. В. Сердюкова, В. Д. Зайцев // *Лесной вестник*. *Forestry Bulletin*. 2018. Т. 22. № 1. С. 78–83. DOI 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83. EDN XZXXGT.

24. Бабина М. Д., Попова Г. И., Перескокова И. И. Об использовании гидролизного лигнина в составе для изготовления древесноволокнистых плит // *Технология древесных плит и пластиков : межвузовский сборник / Уральский лесотехнический институт им. Ленинского комсомола*. 1982. Вып. IX. С. 155–160.

25. Минин А. Н. *Технология пьезотермопластиков*. М. : Лесная промышленность, 1965. 296 с.

26. Изучение влияния активации пресс-сырья активированным лигнином на свойства древесного пластика без добавления связующего / А. А. Окулова, А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник», Екатеринбург, 18–19 апреля 2013 года*. Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2013. С. 115–118. EDN DZKQOJ.

27. Отходы целлюлозно-бумажного комплекса – как сырьё для древесного пластика без связующего / А. С. Бусыгина, П. С. Кривоногов, А. В. Артемов [и др.] // *Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности : материалы V Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности», Пермь, 24–25 марта 2017 года / Министерство образования и науки Российской Федерации ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», ГП «Пермская целлюлозно-бумажная компания», АО «Соликамскбумпром», ООО «ЦБК «Кама», ОАО «Пиломатериалы» «Красный Октябрь»*. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. С. 186–192. EDN YTIFFHN.

28. Глухих В. В. *Прикладные научные исследования : учебник*. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 240 с.

29. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential / V. Glukhikh, P. Buryndin, A. Artyemov [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 149–154. DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154. EDN CWNANM.

30. Исследование влияния гидрофобизирующей добавки на физико-механические свойства древесного пластика без добавления связующего / А. В. Савиновских, А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. Е. Шкуро // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2020. № 2. С. 50–55. EDN ZFSDZH.

31. Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics / V. G. Buryndin, A. V. Artyemov, A. V. Savinovskih [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10, No. 1. P. 148–154. DOI 10.21603/2308-4057-2022-1-148-154. EDN GGSNKW.

REFERENCES

1. Lignin-derived (nano)materials for environmental pollution remediation: Current challenges and future perspectives / M. Sajjadi, H. Ghafari, F. Ahmadpoor, M. Nasrollahzadeh // *International Journal of Biological*

- Macromolecules. 2021. Vol. 178. P. 394–423. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.165. EDN UAGKGM.
2. Analiz rezul'tatov mekhanoaktivacii tekhnicheskogo gidroliznogo lignina s ispol'zovaniem metodov termograficheskikh issledovanij i lazernoj difrakcii / V. A. Petrov, A. V. Aleksandrov, T. N. Aleksandrova, A. P. Rudenko // Hvojnye boreal'noj zony. 2018. Vol. 36, No. 2. S. 205–210. EDN VPHWLB.
3. Plotnikova G. P. Kompozicionnyj stroitel'nyj material s ispol'zovaniem othodov lesohimii v sostave // Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2021. T. 11, № 3(38). S. 452–461. DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-452-461. EDN GCEJHR.
4. Multifunctional lignin-based nanocomposites and nanohybrids / E. Lizundia, M. H. Sipponen, L. G. Greca [et al.] // Green Chemistry. 2021. Vol. 23, No. 18. P. 6698–6760. DOI 10.1039/d1gc01684a. EDN UCHRYJ.
5. Teploeffektivnye stroitel'nye materialy na osnove polimersilikatnogo vyazhushchego i gidroliznogo lignina / G. N. Shibaeva, E. E. Ibe, Yu. A. Holdaenko, V. A. Filimonova // Innovacii v zhizn'. 2017. № 3(22). S. 162–172. EDN XSEZMT.
6. Lignin as an additive for advanced composites / Y. Polat, E. Stojanovska, T. A. Negawo [et al.] // Green Energy and Technology. 2017. No. 9783319466095. P. 71–89. DOI 10.1007/978-3-319-46610-1_4. EDN YDUPUD.
7. Kuznecova T. N. Razrabotka teploizolyacionnogo materiala na osnove gidroliznogo lignina iz otvalov OAO "Tavdinskij gidroliznyj zavod" // Novye tekhnologii – neftegazovomu regionu : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, V 2 t., Tyumen', 20–21 maya 2020 goda. Tyumen' : Tyumenskij industrial'nyj universitet, 2020. S. 40–42. EDN FPTXBQ.
8. Lignin as Green Filler in Polymer Composites: Development Methods, Characteristics, and Potential Applications / M. R. Ridho, M. Rahmi Dn, E. W. Madyaratri [et al.] // Advances in Materials Science and Engineering. 2022. Vol. 2022. P. 1363481. DOI 10.1155/2022/1363481. EDN BEIZVT.
9. Stupak D. P., A. E. Shkuro, A. V. Artemov Poluchenie i issledovanie svojstv drevesno-polimernyh kompozitov s gidroliznym ligninom // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2020. №1. S. 72–80. EDN CNXUXS.
10. Assessment of morphological, physical, thermal, and thermal conductivity properties of polypropylene/lignosulfonate blends / M. Schneider, N. Finimundi, M. Podzorova [et al.] // Materials. 2021. Vol. 14. No. 3. P. 1–10. DOI 10.3390/ma14030543. EDN OTZDXI.
11. Influence of MgO-lignin dual component additives on selected properties of low density polyethylene / K. Bula, G. Kubicki, A. Kubiak [et al.] // Polymers. 2020. Vol. 12, No. 5. P. 1156. DOI 10.3390/POLYM12051156. EDN SXAAPK.
12. Pimenov S. D., Krutov S. M. Kompozity na osnove othodov biokhimicheskoy promyshlennost' i gidroliznogo lignina i organicheskikh polimerov // Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie : materialy nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 13–15 aprelya 2016 goda / pod. red. V. M. Ged'o. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. S. M. Kirova, 2016. S. 86–89. EDN VYHNWR.
13. Lignopenopoliuretany na osnove gidroliznogo lignina / S. M. Krutov, E. V. Ipatova, D. S. Kosyakov [i dr.] // Zhurnal prikladnoj himii. 2016. T. 89, № 1. S. 128–133. EDN JWSDUI.
14. Composite nanoparticles derived by self-assembly of hydrophobic polysaccharide derivatives and lignin / M. Gericke, T. Heinze, J. Bergrath, M. Schulze // Cellulose. 2022. Vol. 29, No. 7. P. 3613–3620. DOI 10.1007/s10570-022-04504-x. EDN LYWAJZ.
15. Improvements in thermal and mechanical properties of composites based on thermoplastic starch and Kraft Lignin / A. De S M De Freitas, A. P. Lemes, J. S. Rodrigues [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 184. P. 863–873. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.153. EDN HEXLLU.
16. Ilalova G. F., Galyavetdinov N. R. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh karakteristik biorazlagaemykh kompozicionnykh materialov s drevesnymi napolnitelyami // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2022. № 62. S. 302–307. EDN CYMYKE.
17. Polimernye kompozicionnye materialy na osnove polivinilhlorida, othodov proizvodstva flizelinovykh oboev i drevesnoj muki / A. E. Shkuro, D. D. Chirkov, V. V. Gluhih [i dr.] // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2022. № 3. S. 112–119. EDN RTXCTQ.
18. Ilalova G., Safin R., Mukhametzyanov S., Gazizullina A. Hydrolysis as a basis for processing vegetable waste into bioplastics // in Energy Systems Environmental Impacts. ESEI 2020. E3S Web of Conferences. P. 03009. EDN: ZMFUIX.
19. The role of lignin and lignin-based materials in sustainable construction – A comprehensive review / P. Jędrzejczak, T. Jesionowski, Ł. Kłapiszewski, M. N. Collins // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. Vol. 187. P. 624–650. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.125. EDN IVHACR.
20. Modifikaciya fenolformal'degidnykh smol karbonizirovannym gidroliznym ligninom dlya proizvodstva fanery / I. K. Bozhelko, O. K. Leonovich, A. I. Medveckij [i dr.] // Lesnaya inzheneriya, materialovedenie i dizajn : materialy 86-j nauchno-tekhnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem), Minsk, 31 yanvarya – 12 2022 goda. Minsk: Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2022. S. 201–203. EDN EBKGWL.
21. Ispol'zovanie produktov okisleniya gidroliznogo lignina v celyah povysheniya effektivnosti svyazuyushchih dlya drevesnykh plit / A. N. Gonchar, V. A. Litvinenko, A. A. Kozhemyako, E. V. Dubodelova // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa : Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kostroma, 08–11 sentyabrya 2021 goda / Otv. redaktory A. A. Titunin, T. N. Vahnina. Kostroma : Kostromskoy gosudarstvennyj universitet, 2021. S. 75–77. EDN ALKOKN.
22. Zhuravlev I. S., Vurasko A. V., Stoyanov O. V. Himicheskaya modifikaciya lignosul'fonatov dlya povysheniya svyazuyushchih svojstv // Vestnik Kazan-

skogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17, № 15. S. 37–39. EDN STICKH.

23. Modificirovanie gidroliznogo lignina produktami mikoliza drevesiny / G. N. Kononov, A. N. Verevkin, Yu. V. Serdyukova, V. D. Zajcev // Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin. 2018. T. 22, № 1. S. 78–83. DOI 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83. EDN XZXXGT.

24. Babina M. D., Popova G. I., Pereskokova I. I. Ob ispol'zovanii gidroliznogo lignina v sostave dlya izgotovleniya drevesnovoloknistyh plit // Tekhnologiya drevesnyh plit i plastikov : mezhvuzovskij sbornik / Ural'skij lesotekhnicheskij institut im. Leninskogo komsomola. 1982. V. IX. S. 155–160.

25. Minin A. N. Tekhnologiya p'ezotermoplastikov. M. : Lesnaya promyshlennost', 1965. 296 s.

26. Izuchenie vliyaniya aktivacii press-syr'ya aktivirovannym ligninom na svoystva drevesnogo plastika bez dobavleniya svyazuyushchego / A. A. Okulova, A. V. Artemov, V. G. Buryndin, A. V. Savinovskih // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii : materialy IX Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov i aspirantov i konkursa po programme “Umnik”, Ekaterinburg, 18–19 aprelya 2013 goda. Ekaterinburg: federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya “Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet”, 2013. S. 115–118. EDN DZKQOJ.

27. Othody cellyulozno-bumazhnogo kompleksa – kak syr'yo dlya drevesnogo plastika bez svyazuyushchego / A. S. Busygina, P. S. Krivonogov, A. V. Artemov [i dr.] // Innovacii – osnova razvitiya cellyulozno-bumazhnoj i derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti : Materialy V Vserossijskoj otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferen-

cii “Perspektivy razvitiya tekhniki i tekhnologij v cellyulozno-bumazhnoj i derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti”, Perm', 24–25 marta 2017 goda / Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii FGBOU VO “Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet”, GP “Permskaya cellyulozno-bumazhnaya kompaniya”, AO “Solikamsk-bumprom”, OOO “CBK “Kama”, OAO “Pilomaterialy” “Krasnyj Oktyabr' ”. Perm' : Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, 2017. S. 186–192. EDN YTIFHN.

28. Gluhih V. V. Prikladnye nauchnye issledovaniya: uchebnik. Ekaterinburg : Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2016. 240 s.

29. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential / V. Glukhikh, P. Buryndin, A. Artyemov [et al.] // Foods and Raw Materials. 2020. Vol. 8, No. 1. P. 149–154. DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154.

30. Issledovaniye vliyaniya gidrofobiziruyushchey dobavki na fiziko-mekhanicheskiye svoystva drevesnogo plastika bez dobavleniya svyazuyushchego / A. V. Savinovskih, A. V. Artemov, V. G. Buryndin, A. E. Shkuro // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. 2020. № 2. S. 50–55.

31. Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics / V. G. Buryndin, A. V. Artyemov, A. V. Savinovskih [et al.] // Foods and Raw Materials. 2022. Vol. 10, No. 1. P. 148–154. DOI 10.21603/2308-4057-2022-1-148-154.

© Артёмов А. В., Буриндин В. Г.,
Ершова А. С., 2024

Поступила в редакцию 20.03.2023
Принята к печати 15.04.2024