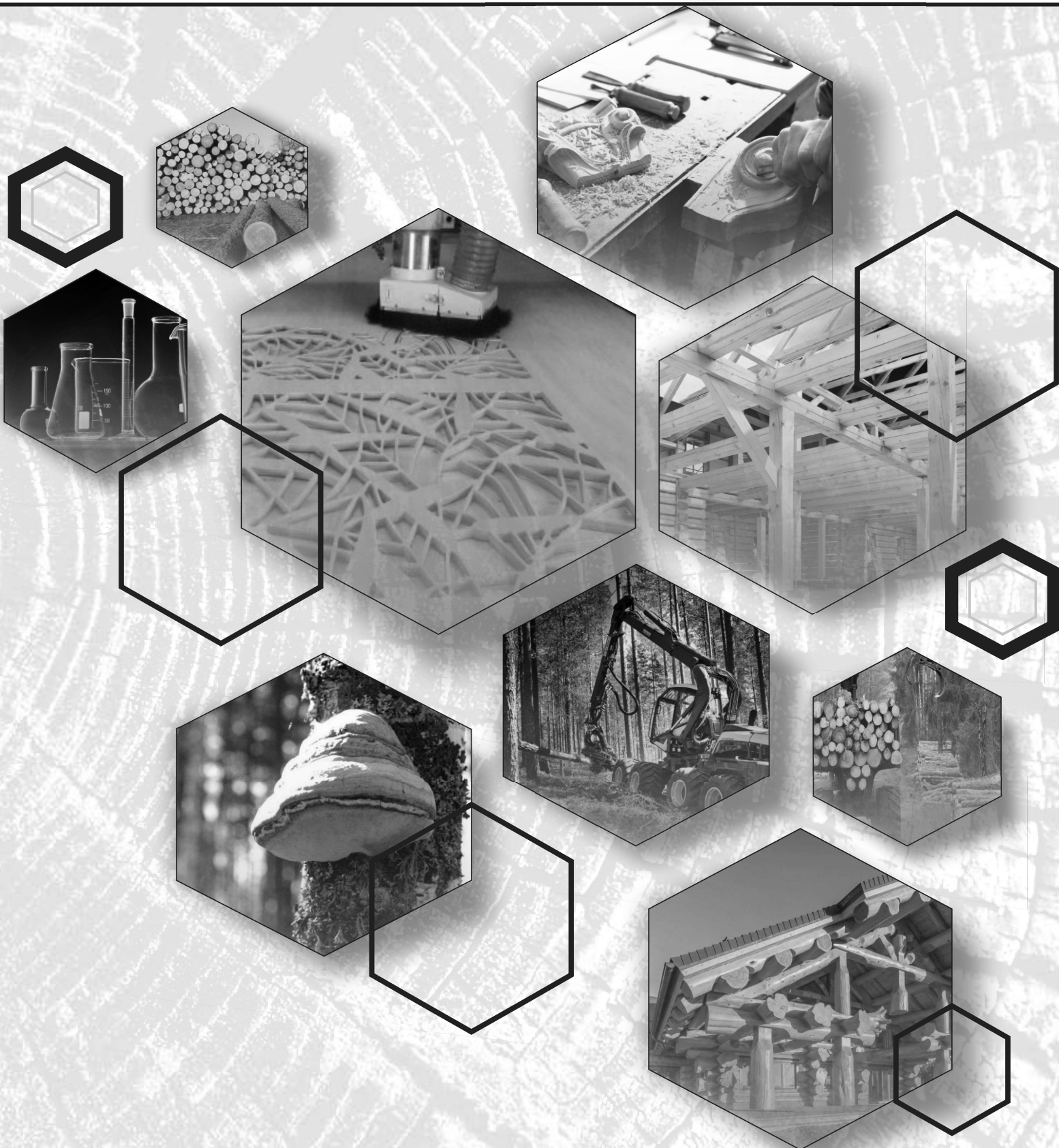


Дерево

ISSN 0011-9008

1/2022

обрабатывающая промышленность



ДЕРЕВО —

ISSN 0011-9008

обрабатывающая 1/2022 промышленность

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., профессор

Czech University of Life Sciences Prague,
Faculty of Forestry and Wood Sciences,
Czech Republic

Торопов Александр Степанович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

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»



Зам. главного редактора
ответственный за
международную ред. коллегию
Štefan Barcik, Prof. ing., Ph.D.

Technical university in Zvolen,
Faculty of environmental and
manufacturing technology,
Slovakia

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»

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

Гаспарян Гарик Давидович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»

Григорьев Игорь Владиславович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВО «Арктический государственный
агротехнологический университет»

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

Романов Евгений Михайлович, д.с.-х.н., профессор
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический
университет»

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

Семенов Юрий Павлович, д.т.н., профессор
ФГБОУ ВПО «Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана»

Dr. prof. Vlado Goglia
University of Zagreb, Croatia
Dr. prof. Ruzica Beljo Lucic
University of Zagreb, Croatia
Dr. prof. Nencho Delijski
University of Forestry, Bulgaria
Dr. prof. Ladislav Dzurenda
Technical University, Slovakia
Dr. prof. Etele Csanady
University of West Hungary

Dr. prof. Alfred Teischinger
BOKU University of Natural Resources and Applied Life Sciences,
Austria

Marian Babiak, PhD, Dr.h.c.prof.RNDR.
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Dr. PhD Monica Sarvasova Kvietkova
Czech University of Life Sciences Prague,
Czech Republic

Адрес редакции:
117303, Москва, ул. Малая
Юшуньская, д. 1, корп. 1,

journal_woodworking@mail.ru
www.dop1952.ru

© «Редакция журнала
«Деревообрабатывающая
промышленность», 2022

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

СОДЕРЖАНИЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Лесоинженерное дело

Ахтямов Э.Р., Кручинин И.Н., Побединский В.В., Кручинина Е.И., Чижов А.А.

Разработка требований к применению добавок из вспученного вермикулита для строительства лесовозных дорог на территориях северного, приполярного и полярного урала 3

Жалко М.Е., Бургонутдинов А.М., Бурмистрова Д.Д., Ченушкина С.В., Данилов В.В.

Разработка методов повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог, работающих в сложных природно-климатических условиях 10

Жалко М.Е.

Повышение морозоустойчивости дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог 18

Физико-механические процессы в деревообработке

Лукаш А.А., Глотова Т.И., Малышева Н.П., Пустрова Н.П., Чернышев О.Н.

Экспресс-метод определения себестоимости продукции при расчете технико-экономических показателей деревообрабатывающих цехов 24

Разумов Е.Ю., Байгильдеева Е.И., Сафина А.В., Сафин Р.Г.

Получение бетулина высокой степени очистки 33

Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Хабибуллина А.Р., Байгильдеева Е.И.

Физико-механические характеристики композиционных материалов из древесины березы, гидролизованной в присутствии перекиси водорода 41

Лукаш А.А., Глотова Т.И., Романов В.А., Феллух А., Чернышев О.Н.

Определение прочности склеивания при нормальном отрыве для разработки новых клеевых составов 55

Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б., Арсланова Г.Р., Валеев К.В., Зиятдинова Д.Ф., Гурьянов Д.А.

Математическое описание процесса экстракции фенольных соединений 62

Артёмов А.В., Ершова А.С., Бурындин В.Г., Савиновских А.В.

Изучение изменений прочностных показателей пластиков без связующего по потери массы при биоразложении 71

Сафина А.В., Абдуллина Д.Р., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Тимербаев Н.Ф., Валеев К.В.

Моделирование процесса извлечения бетулина из бересты березы 80

Химическая технология древесины

Строганова М.С., Жильникова Н.А.

Методика оценки самоочищающей способности водоема при влиянии стоков сульфат-целлюлозного производства 90

Чирков Д.Д., Захаров П.С., Шкуро А.Е., Ершова А.С.

Термомеханическая активация наполнителей для древесно-минеральных полимерных композиционных материалов 103

УДК 674.81

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛАСТИКОВ БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО ПО ПОТЕРИ МАССЫ ПРИ БИОРАЗЛОЖЕНИИ

А.В. Артёмов, А.С. Ершова, В.Г. Бурындин, А.В. Савиновских

Данное исследование посвящено установлению зависимости изменения прочностных показателей (прочности при изгибе) пластиков без связующего (ПБС) в зависимости от потери массы при экспозиции в почво-грунте на биоразлагаемость. Были получены зависимости «прочность при изгибе – потеря массы» для ПБС на основе опилок сосны и шелухи пшеницы при экспозиции образцов в течение 30 суток в почво-грунте. С целью подтверждения полученных закономерностей были проведены испытания на биоразложение по отношению к почво-грунту в течение 90 суток пластиков полученных на основе древесного (опилки сосны, лиственницы и березы) и недревесного растительного (шелуха пшеницы, костра конопли и биомасса борщевика) сырья. Полученные результаты показали, что использование полученных зависимостей «потери массы – прочность при изгибе» рекомендуется применять с целью прогнозирования прочности при изгибе ПБС только на основе древесного сырья и при экспозиции в почво-грунте до 30 суток.

Ключевые слова: лигноуглеводные материалы, пластик, биоразложение, прочность при изгибе, потеря массы

Введение

Изделия из древесины и пластики на ее основе широко применяются в строительстве. Они используются как стеновой материал, для изготовления дверей, полов, потолков, а также отделанные декоративными материалами древесные пластики применяются для внутренней облицовки зданий.

В условиях закрытого доступа при прямом контакте с железобетонными или кирпичными стенами, под влиянием выпадающего конденсата древесные материалы увлажняются. Это способствует развитию на них грибной флоры. Кроме грибов повреждения древесных материалов вызывают насекомые.

Одним из наиболее распространенных способов защиты древесных материалов от биоповреждений является использование химических соединений (лакокрасочные материалы, антисептики, антипирены и проч.), обладающих, в том числе биоцидным действием [1].

Так в работе [2] выполнен статистический анализ полученных результатов в ходе исследований, определяющих возможность применения раствора, содержащего наноразмерные частицы серебра, в качестве биоцида для древесины, используемой в жестких условиях эксплуатации (повышенная влажность и температура). Результаты анализа показали высокую эффективность обработки древесины сосны и осины, относя исследуемый препарат к числу невымываемых защитных средств, что дает возможность получения экологически чистой, биозащищенной, дешевой древесины с большим эксплуатационным ресурсом, что крайне актуально в жестких условиях эксплуатации.

Кроме того возможно использование частиц наносеребра с целью получения с антимикробными свойствами биокompозитных пленок на основе полимолочной кислоты и термически обработанной древесной муки [3].

Один из способов защиты изделий на основе древесного сырья – это термомодификация последнего [4]. Установлено, что термомодифицированная древесина более чем обычная древесина, устойчива к биоповреждениям, таким как бурая трещиноватая гниль и плесень. Улучшение биостойкости связано со снижением гемцеллюлозы, так как многие грибки используют её сахарозные составляющие в качестве своей питательной среды [5].

Использование же самой биостойкой древесины (например, лиственницы), обладающей естественной стойкостью к воздействию дереворазрушающих грибов *Coniophora puteana* и *Gloeophyllum seriarium*, позволяет получать фанеры и LVL с увеличенной прочностью и долговечностью [6].

Один из критериев использования химических реагентов для защиты изделий на основе древесины – это не ухудшение физико-механических показателей изготавливаемых материалов [1].

Полученные в работе [7] данные позволяют говорить об отсутствии отрицательного влияния глубокой пропитки древесины огнезащитными составами на ее прочностные свойства, что определяет

целесообразность проведения дальнейших исследований, направленных на выявление особенностей влияния различных антипиренирующих составов на показатели элементов деревянных конструкций.

Применение парафиновой эмульсии при производстве композиционной фанеры позволяет препятствовать сорбции воды, повышая её водостойкость [8], а использование кремнеорганических веществ – при получении ДВП [9].

Получение пластиков без добавления связующих (ПБС) осуществляется путем термопезообработки различных видов древесного и недревесного растительного сырья [10].

Такое сырьё для ПБС как древесная мука и опилки, плодовые оболочки злаков, волокна льна и конопли относятся к материалам, подвергающимся деструкции микробно-ферментативным путем [11-13].

В работе [14] при микроскопии образцов ПБС после 21 суток экспозиции в активном грунте на 100% образцов выявлены признаки роста плесневых грибов. Множественные крупные колонии плесневых грибов в разной фазе зрелости обнаружили на 62% ПБС.

Авторы [15-17], с целью повышения биостойкости материалов на основе ПБС, предлагают использовать различные химические добавки, такие как гидрофобизаторы, антисептики и модификаторы.

На сегодня существует более 200 различных методов испытаний разнообразных промышленных и строительных материалов на биостойкость. Наибольшая испытаний на биостойкость определяется методом визуальной оценки, а также проверкой некоторых физико-технических параметров исследуемых изделий, таких как убыль веса, прочность на разрыв и сжатие, удельное объемное и поверхностное сопротивление, tg угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость и т.д., которые могут изменяться при биологических повреждениях [18].

Отмечено [19], что существующие методы исследования биостойкости нельзя считать объективными, они требуют дополнений и уточнений, так как кроме стандартных тест-культур, истинными деструкторами материалов являются и другие микроскопические грибы.

В частности для изделий на основе древесины лиственницы под воздействием грибов *Coniophora putearia* и *Gloeophyllum seriatum* при помощи экспериментально полученных величин потерь массы вычислена константа разложения и теоретическое время полуразложения половину той массы образца, которую гриб способен разложить [20].

Исходя из выше сказанного, в работе поставлена цель – исследование биоразлагаемости ПБС по отношению к почво-грунту для установления зависимости изменения прочности образцов от потери массы при их экспозиции за установленное время, а также сравнительный анализ биоразлагаемости образцов на основе сосновых опилок и шелухи пшеницы с материалами ПБС на основе другого древесного и недревесного растительного сырья.

Методика проведения экспериментальных исследований

В качестве исходного сырья использовались древесные опилки сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и шелуха пшеницы (*Triticum*). В качестве объектов сравнения принято сырьё на основе древесного (опилки лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), опилки березы (*Betula*)) и недревесного растительного сырья (костра конопли технической (*Cannabis sativa* L.), биомасса борщевика Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi* Manden)).

Фракционный состав сырья – 0,7 мм. Влажность исходного пресс-сырья – 12 %.

Морфологические и химические показатели исходного пресс-сырья представлены в табл.1.

Таблица 1 – Морфологические и химические показатели пресс-сырья

№	Сырье	Источник образования	Показатель, %	
			Лигнин (ГОСТ 11960)	Целлюлоза (Кюришера-Хоффера)
1	Опилки сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>)	Отходы пилорамы	31	45
2	Шелуха пшеницы (<i>Triticum</i>)	Отходы растительных остатков	21	21
3	Опилки лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>)	Отходы пилорамы	38	36
4	Опилки березы (<i>Betula</i>)	Отходы пилорамы	32	43
5	Костра конопли технической (<i>Cannabis sativa</i> L.)	Отходы растительных остатков	27	28
6	Биомасса борщевика Сосновского (<i>Heracleum Sosnowskyi</i> Manden)	Отходы растительных остатков	26	34

Методом горячего компрессионного прессования в закрытой пресс-форме были изготовлены образцы ПБС в виде дисков диаметром 90 мм и толщиной 3 мм.

Условия прессования:

- давление – 40 МПа;
- температура – 180 °С (для древесного сырья) и 160 °С (для недревесного растительного сырья);
- продолжительность прессования – 10 мин;
- продолжительность охлаждения под давлением – 10 мин;
- продолжительность кондиционирования – 24 ч.

Для депонирования образцов в почве, из полученных пластиков, подготавливались образцы в виде полосок шириной 20 мм. Исследуемые образцы ПБС помещались в контейнер с грунтом на глубину от 5 см в горизонтальном положении.

В качестве почвогрунта был принят грунт для рассады (ТУ 0392-001-59264059-03). После внесения образцов в грунт, производилось его засевание семенами трав. Для засева использовалась травосмесь используемая для биологического этапа рекультивации нарушенных земель (ГОСТ Р 57446-2017).

Экспозиция образцов в грунте осуществлялась при комнатной температуре (20 ± 2 °С) и влажности грунта 40 ± 5 %. После экспозиции образцы изымались из грунта, промывались и высушивались при комнатной температуре в течение суток. Для высушенных образцов осуществлялась оценка их физико-механических свойств.

Испытания образцов на физико-механические свойства проводились по аккредитованным методикам (ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010)) и на поверенном оборудовании (разрывная машина марки «РМ-5-1»).

Микроскопирование поверхности образцов и бокового среза после экспозиции осуществлялось с помощью микроскопа «Микромед 3» при увеличении 1:400.

Результаты

У полученных образцов пластика были определены физико-механические свойства. Значения физико-механических показателей образцов ПБС приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения физико-механические показателей образцов ПБС

№ п/п	Исходное пресс-сырьё	Обозначение пластика	Физико-механические свойства	
			Плотность, кг/м³	Модуль упругости при изгибе, МПа
1	Опилки сосны обыкновенной	ПБСс	1075	1211
2	Шелуха пшеницы	ПБСП	1165	1182
3	Опилки лиственницы сибирской	ПБСЛ	1123	3260
4	Опилки березы	ПБСб	1035	885
5	Костра конопли технической	ПБСК	1049	2343
6	Биомасса борщевика Сосновского	ПБСбс	1025	---

По показателю модуля упругости при изгибе ПБС можно косвенно судить о физико-механических свойствах полученных материалов, которые оказались приемлемыми для дальнейших испытаний [21].

Результаты физико-механических свойств после испытаний образцов на биоразлагаемость по отношению к почво-грунту за 30 суток представлены в табл.3.

Таблица 3 – Результаты изменения массы образцов ПБС при выдержке в почво-грунте (30 суток)

№	Пластик	Контроль	Время выдержки, сут			
			7	14	21	30
1	ПБСс	+0,006	+8,6	-4,3	-10,0	-15,4
2	ПБСП	+0,004	+41,4	-14,2	-21,8	-21,9

На основании табл.3 можно сделать следующие выводы.

1. Для образцов ПБСс и ПБСП наблюдается первичное увеличение массы в первые 7 суток. Первоначальное увеличение массы можно объяснить впитыванием избыточной влаги из грунта. Наибольшие первичное водопоглощение наблюдаются у ПБСП – масса увеличивается на 41,4%. У ПБСс данный показатель намного меньше и составляет всего 8,6 %.

2. После первичного водонасыщения образцов в первоначальное время после 7 суток наблюдается снижение массы образцов, скорее всего, за счет своей деструкции. Это снижение наблюдается за все оставшееся время (до 30 суток). Наибольшее падение массы у образцов ПБСП – 21,9%, тогда как у ПБСс – 15,4%.

Результаты изменения прочности при изгибе при экспозиции ПБС в почво-грунте представлены в табл.4.

Таблица 4 – Результаты изменения прочности при изгибе образцов ПБС при выдержке в почво-грунте (30 суток)

№	Пластик	Контроль	Время выдержки, сут			
			7	14	21	30
1	ПБСс	7,1	1,7	1,2	0,8	0,5
2	ПБСП	8,4	1,1	0,9	0,8	0,3

На основании табл.4 можно сделать следующие вывод, что для образцов ПБСс и ПБСП наблюдается снижение прочности при изгибе за 30 сут выдержке образцов в грунте. При этом падение прочности у ПБСс составило практически 93 %, у ПБСП – 96 %.

Полученные зависимости потери массы и прочности при изгибе от времени выдержки в грунте были аппроксимированы с помощью различных функций и представлены в табл.5.

Таблица 5 – Результаты аппроксимации зависимости потери массы и прочности при изгибе от времени выдержки в почво-грунте образцов ПБС

Вид пластика	Зависимость	Уравнение линии тренда	Величина достоверности аппроксимации
ПБСс	Линейная	$y = 0,0477x + 1,2818$	$R^2 = 0,9828$
	Экспоненциальная	$y = 1,2054e0,0477x$	$R^2 = 0,9168$
ПБСП	Линейная	$y = 0,0077x + 0,7821$	$R^2 = 0,537$
	Экспоненциальная	$y = 0,7138e0,011x$	$R^2 = 0,3807$

Величина достоверности аппроксимации R^2 :

- для ПБСс разных видов зависимости практически не имеет большого различия: наименьшее значение этой величины имеет экспоненциальная зависимость, наибольшее – линейная. Для обеих функций коэффициент имеет значимое значение ($R^2 \geq 0,92$);

- для ПБСП наибольшее значение зависимости имеет линейная зависимость, при этом величина значимости имеет невысокое значение ($R^2 < 0,92$).

В виду трудности описания и расчета экспоненциальной функции и невысоких величин достоверности, для описания зависимостей (прочность при изгибе) от потери массы возможно использования линейной.

Были получены следующие уравнения зависимости «потери массы – прочность при изгибе»:

- ПБСс: $y = 0,0477x + 1,2818$, $R^2 = 0,9828$;

- ПБСП: $y = 0,0077x + 0,7821$, $R^2 = 0,537$.

С целью подтверждения возможности использования полученных уравнений для прогнозируемой оценки прочности при изгибе от потери массы для ПБС в зависимости от продолжительности экспозиции их в почво-грунте, была выполнена экспозиция образцов из различного древесного (ПБСл, ПБСб) и недревесного растительного (ПБСк, ПБСбс) сырья в почво-грунте в течение 90 суток с последующей оценкой изменения их массы и прочности при изгибе.

Полученные расчетные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными и представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты, сопоставленные расчетных значений с экспериментальными данными

№	Плас- тик	Показатель	Время выдержки, сут					
			7	14	21	30	60	90
1	ПБСс	Изменение массы, %	+6,2	-0,2	-0,3	-1,6	-7,9	-49,4
		Прочность при изгибе (расчетная), МПа	1,6	1,3	1,3	1,2	0,9	—
		Прочность при изгибе (экспериментальная), МПа	1,7	1,2	1,2	0,5	0,3	---
		Расхождение фактического результата от расчётного, %	+5,9	-8,3	-8,3	-140,0	-200,0	НД
2	ПБСл	Изменение массы, %	+2,3	-2,5	-3,8	-5,2	-6,4	-13,8
		Прочность при изгибе (расчетная), МПа	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	0,6
		Прочность при изгибе (экспериментальная), МПа	1,5	1,2	1	0,9	0,9	0,5
		Расхождение фактического результата от расчётного, %	+6,7	0,0	-10,0	-11,1	-11,1	-20,0
3	ПБС б	Изменение массы, %	+4,7	-1,4	-2,9	-6,3	-9,7	-36,2
		Прочность при изгибе (расчетная), МПа	1,5	1,2	1,1	1,0	0,8	—
		Прочность при изгибе (экспериментальная), МПа	1,6	1,2	1	0,8	0,5	---
		Расхождение фактического результата от расчётного, %	+6,3	0,0	-10,0	-25,0	-60,0	НД
4	ПБС п	Изменение массы, %	+27,1	-14,5	-19,4	-24,3	-30,2	-55,6
		Прочность при изгибе (расчетная), МПа	1,0	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4
		Прочность при изгибе (экспериментальная), МПа	1,1	0,8	0,7	0,3	0,2	---
		Расхождение фактического результата от расчётного, %	+9,1	+12,5	+14,3	-100,0	-150,0	НД
5	ПБСк	Изменение массы, %	+8,1	-8,1	-14,8	-23,3	-28,2	-37,7
		Прочность при изгибе (расчетная), МПа	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
		Прочность при изгибе (экспериментальная), МПа	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	---
		Расхождение фактического результата от расчётного, %	-14,3	0,0	-16,7	-50,0	-100,0	НД
6	ПБС бс	Изменение массы, %	+16,0	-2,9	-14,2	-15,0	-24,3	-35,4
		Прочность при изгибе (расчетная), МПа	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5
		Прочность при изгибе (экспериментальная), МПа	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3
		Расхождение фактического результата от расчётного, %	-12,5	-14,3	-16,7	-16,7	-20,0	-66,7

Примечание: «—» – было получено отрицательное значение; «---» – образцы не были непригодны либо были разрушены в ходе испытаний; «НД» – нет данных.

На основании таблицы 6 можно сделать следующие выводы:

1. Для всех образцов ПБС наблюдается аналогичное (см.табл.3) первичное увеличение массы в первые 7 суток. Наибольшие первичное водонасыщение наблюдаются у ПБС на основе недревесного растительного сырья – от 8,1 до 27,1 %. Для ПБС на основе древесного сырья начальное водонасыщение образцами в меньше и составляет порядком от 2,3 до 3,2 %.

2. После первичного водонасыщения образцов наблюдается аналогичная картина (см.табл.3): происходит снижение массы всех образцов ПБС и это снижение наблюдается за все оставшееся время экспозиции (90 суток). Снижение массы у образцов ПБС на основе древесного сырья находится в интервале от 13,8 до 49,4 %, для ПБС на основе недревесного растительного сырья – от 35,4 до 55,6 %.

Заключение

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Первичное влагонасыщение (первые сутки экспозиции в почво-грунте) и последующая деструкция ПБС для образцов на основе недревесного растительного сырья идет более интенсивней, чем у образцов

на основе древесного сырья. Это связано в первую очередь с самим составом исходного сырья, а именно наличием в недревесном растительном сырье большого количества гидрофильных соединений (водорастворимых пентазанов). Второй фактор влияния – это получение образцов на данном пресс-сырье в более «мягких» условиях – при температуре прессования 160 °С, которая не обеспечивают полноценного структуроформирования пластика.

2. После 90 суток экспозиции в почво-грунте большинство образцов были не пригодны для испытаний на прочность при изгибе. В среднем наибольшее снижение прочности при изгибе наблюдается у образцов ПБС на основе древесного сырья (73 %), чем у ПБС на основе недревесного растительного сырья (67%). Это связано с самим составом недревесного растительного пресс-сырья, а именно наличием большого количества пластичных полимеров, таких как гемицеллюлозы.

3. Согласно табл.6 при экспозиции в почво-грунте до 30 суток расхождение фактического значения прочности при изгибе от расчётного для всех видов исследуемых ПБС составляет не более 20 %. При экспозиции более 30 суток наблюдается уже большие значения расхождений, которые достигают до 200 %.

Это связано с деструктивными процессами после 30 суток выдержки, которые приводят к образованию свищей и трещин в полости пластика (см.рис.1), и как следствию изменению толщины испытываемых образцов.

Результаты изменения линейных размеров (толщины) образцов ПБС представлены в табл.7.

Таблица 7– Результаты изменения толщины образцов ПБС при экспозиции в почво-грунте (90 суток)

№	Пластик	Контроль	Время экспозиции, сут					
			7	14	21	30	60	90
1	ПБСс	+0,02	+35,9	+48,3	+37,5	+56,6	+76,1	+52,5
2	ПБСб	-0,01	+10,6	+20,1	+22,4	+26,2	+23,4	+8,8
3	ПБСл	-0,03	+17,0	+19,2	+23,3	+26,9	+37,8	+3,5
4	ПБСП	+0,04	+30,8	+33,0	+22,7	+36,9	+54,6	+76,0
5	ПБСбс	-0,02	+80,5	+90,7	+86,5	+121,0	+126,9	+103,1
6	ПБСк	-0,01	+64,5	+57,5	+38,4	+94,8	+117,6	+68,1

Увеличение линейных размеров (толщины) после экспозиции образцов 90 суток в почво-грунте у образцов ПБС на основе древесного сырья находится в интервале от 3,5 до 52,5 %, для ПБС на основе недревесного растительного сырья – от 68,1 до 103,1 %. Максимальное увеличение толщины у ПБСбс – 130,1%, минимальное – ПБСл – 3,5 %.



а)



б)



в)



г)

Рис.1. Результаты микроскопирования образцов ПБС в срезе: а – ПБСб, б – ПБСл, в – ПБСбс, г – ПБСк после экспозиции в почво-грунте (90 суток)

Таким образом, использование полученных закономерностей «потери массы – прочность при изгибе» рекомендуется применять с целью прогнозирования прочности при изгибе ПБС только на основе древесного сырья и при экспозиции в почво-грунте до 30 суток.

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

Литература

1. Биоповреждение и защита древесины и бумаги / Е.Л. Пехташева, А.Н. Неверов, Г.Е. Заиков, С.А. Шевцова, Н.Е. Темникова // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15, № 8. С. 192–199.
2. Стенина, Е. И. Исследование возможностей применения коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра в качестве биоцида для древесины в жестких условиях эксплуатации / Е. И. Стенина, Т.

Ю. Чеснокова // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 1(192). – С. 152-155.

3. Ayrlimis, N. Properties of biocomposite films from PLA and thermally treated wood modified with silver nanoparticles using leaf extracts of oriental sweetgum / N. Ayrlimis, E. Yuttas, A. Durmus, F. Ozdemir // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – № 29. – P. 1-12.

4. Кайнов, П.А. Исследование биостойкости термомодифицированной древесины в условиях воздействия дереворазрушающих грибов / П.А. Кайнов, Р.Р. Хасаншин, С.В. Ахмадиева // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2012. – Т. 15. – № 15. – С. 233-235.

5. Хасаншин, Р.Р. Исследование биостойкости термически модифицированной древесины / Р.Р. Хасаншин // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17. – № 10. – С. 66-68.

6. The decay resistance and durability of wood and wood products from larch (LARIX SIBIRICA) / V. A. Soloviev, M. A. Chubinsky, A. N. Chubinsky [et al.] // *Mycology and Phytopathology*. – 2019. – Vol. 53. – No 3. – P. 156-161. – DOI 10.1134/S0026364819030061.

7. Физико-механические и пожароопасные свойства древесины с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами / Д. М. Нигматуллина, А. Б. Сивенков, Е. Ю. Полищук [и др.] // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2017. – Т. 26. – № 6. – С. 43-51. – DOI 10.18322/PVB.2017.26.06.43-51.

8. Угрюмов, С. А. Использование парафиновой эмульсии для повышения водостойкости композиционной фанеры с внутренним слоем на основе костры льна / С. А. Угрюмов // *Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник*. – 2007. – № 1. – С. 65-67.

9. Семенов, В. В. Гидрофобизация древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит кремнийорганическими мономерами и жидкостями / В. В. Семенов // *Химия растительного сырья*. – 2009. – № 4. – С. 177-181.

10. Плитные материалы и изделия из древесины и других одресневевших остатков без добавления связующих / В.Н.Петри [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 360 с.

11. Satyanarayana KG, Arizaga GGC, Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – an overview. *Progress in Polymer Science* 2009;34:982–1021.

12. Пехташева Е., Неверов А., Заиков Г. Биоциды и биоразложение органических и неорганических материалов. Биоповреждения и защита. – «LAP LAMBERT Academic Publishing», Saarbrücken, Deutschland, 2012. – 110 с.

13. Пехташева Е., Неверов А., Заиков Г. Биодеструкция и стабилизация природных и искусственных полимеров. Основные причины биоповреждений и способы их предотвращения. – «LAP LAMBERT Academic Publishing», Saarbrücken, Deutschland, 2012. – 248 с.

14. 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.

15. 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.

16. Использование сульфата меди для получения биостойких растительных пластиков / А. В. Савиновских, А. В. Артемов, А. Е. Шкуро [и др.] // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. – 2020. – № 3. – С. 61-81. – DOI 10.15593/2224-9400/2020.3.05.

17. Артемов, А. В. Влияние карбамида на физико-механические свойства пластика на основе сосновых опилок / А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. В. Савиновских // *Вестник Технологического университета*. – 2021. – Т. 24. – № 5. – С. 35-39.

18. Анализ методов оценки биостойкости промышленных материалов (критерии, подходы) / Д. В. Кряжев, В. Ф. Смирнов, О. Н. Смирнова [и др.] // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. – 2013. – № 2-1. – С. 118-124.

19. Исследование устойчивости к действию микроскопических грибов лакокрасочных материалов, используемых в строительстве, приборо- и машиностроении / Н. А. Аникина, В. Ф. Смирнов, Д. В. Кряжев [и др.] // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. – 2014. – № 2-1. – С. 100-105.

20. Чубинский, М. А. Кинетика разложения древесины лиственницы дереворазрушающими грибами / М. А. Чубинский // *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. 187-190.

21. Артемов, А. В. Модуль упругости при изгибе как показатель физико-механических свойств древесных пластиков без добавления связующих / А. В. Артемов, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1(49). – С. 67-71. – DOI 10.18324/2077-5415-2021-1-67-71.

© **Артёмов А.В.** – канд.техн.наук, доцент кафедры «Технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: artemovav@m.usfeu.ru; **Ершова А.С.** – аспирант кафедры «Технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: ershovaas@m.usfeu.ru; **Бурындин В.Г.** – д-р техн.наук, профессор кафедры «Технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: buryndinv@gmail.com; **Савиновских А.В.** – канд.техн.наук, доцент кафедры «Технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров», ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: savinovskihav@m.usfeu.ru.

UDC 674.81

STUDY OF CHANGES IN STRENGTH CHARACTERISTICS OF PLASTICS WITHOUT RESINS BY WEIGHT LOSS DURING BIODEGRADATION

A.V. Artyomov, A.S. Ershova, V.G. Bryndin, A.V. Savinovskih

This study is devoted to establishing the dependence of the change in strength parameters (bending strength) of plastics without resins (PWR) depending on the loss of mass during exposure in the soil on biodegradability. The dependences "flexural strength – mass loss" were obtained for PWR based on pine sawdust and wheat husk when the images were exposed for 30 days in the soil. In order to confirm the obtained patterns, biodegradation tests were carried out with respect to the soil for 90 days of plastics obtained on the basis of wood (sawdust of pine, larch and birch) and non-wood vegetable (wheat husk, hemp bonfire and borscht biomass) raw materials. The obtained results showed that the use of the obtained dependencies "mass loss - bending strength" is recommended to be used in order to predict the bending strength of PWR only on the basis of wood raw materials and when exposed to soil for up to 30 days.

Keywords: lignocarbon materials, plastic, biodegradation, bending strength, weight loss.

References

1. Pehtasheva E.L., Neverov A.N., Zaikov G.E., Shevtsova S.A., Temnikova N.E. [Bio-damage and protection of wood and paper] Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University] 2012. Vol. 15. No. 8. pp. 192-199. (In Russ.)
2. Stenina E. I., Chesnokova T. Y. [Investigation of the possibilities of using a colloidal solution of nanoscale silver particles as a biocide for wood in harsh operating conditions] Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov [Works of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources] 2017. No. 1(192). pp. 152-155. (In Russ.)
3. Ayrimis, N. Properties of biocomposite films from PLA and thermally treated wood modified with silver nanoparticles using leaf extracts of oriental sweetgum / N. Ayrimis, E. Yuttas, A. Durmus, F. Ozdemir // Journal of Polymers and the Environment. – 2021. – № 29. – P. 1-12.
4. Kainov P.A., Khasanshin R.R., Akhmadieva S.V. [Investigation of the biostability of thermomodified wood under the influence of wood-destroying fungi] Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University] 2012. Vol. 15. No. 15. pp. 233-235. (In Russ.)
5. Khasanshin R.R. [Investigation of biostability of thermally modified wood] Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan Technological University] 2014. Vol. 17. No. 10. pp. 66-68. (In Russ.)
6. The decay resistance and durability of wood and wood products from larch (LARIX SIBIRICA) / V. A. Soloviev, M. A. Chubinsky, A. N. Chubinsky [et al.] // Mycology and Phytopathology. – 2019. – Vol. 53. – No 3. – P. 156-161.

7. Nigmatullina D. M., Sivenkov A. B., Polishchuk E. Y. [et al.] [Physico-mechanical and fire-hazardous properties of wood with deep impregnation with fire-protective compounds] *Pozharovzryvobezopasnost'* [Fire and explosion safety] 2017. Vol. 26. No. 6. pp. 43-51. (In Russ.)
8. Ugryumov S. A. [The use of paraffin emulsion to increase the water resistance of composite plywood with an inner layer based on flax bonfires] *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoj vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of Forests - Forest Bulletin] 2007. No. 1. pp. 65-67. (In Russ.)
9. Semenov V. V. [Hydrophobization of chipboard and fiberboard with organosilicon monomers and liquids] *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials] 2009. No. 4. pp. 1775-181. (In Russ.)
10. Petri V.N. [et al.] Plate materials and products made of wood and other desalinated residues without resins. [Moskva. Lesnaya promyshlennost'] Moscow. Forest industry. 1976. (In Russ.)
11. Satyanarayana KG, Arizaga GGC, Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – an overview. *Progress in Polymer Science* 2009;34:982–1021.
12. Pehtasheva E., Neverov A., Zaikov G. Biocides and biodegradation of organic and inorganic materials. Bio-damage and protection. Saarbrücken, Deutschland. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. (In Russ.)
13. Pehtasheva E., Neverov A., Zaikov G. Biodestruction and stabilization of natural and artificial polymers. The main causes of bio-injuries and ways to prevent them. Saarbrücken, Deutschland. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. (In Russ.)
14. Glukhikh V.V., Buryndin V.G., Artyomov A.V., Savinovskikh A.V., Krivonogov P.S., Krivonogova A.S. [Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential] // *Foods and Raw Materials*. 2020. Vol.8. No.1. pp. 149-154.
15. Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Buryndin V. G., Shkuro A. E. [Research of the influence of hydrophobic additives on the physico-mechanical properties of wood plastic material without resins] *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry] 2020. No. 2. pp. 50-55. (In Russ.)
16. Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Shkuro A. E. [et al.] [The use of copper sulfate for obtaining biostable plant plastics] *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Himicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology] 2020. No. 3. pp. 61-81. (In Russ.)
17. Artyomov A.V., Savinovskikh A.V., Buryndin V.G. [Influence of urea on the physical and mechanical properties of plastic based on pine sawdust] *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University] 2021. Vol. 24. No. 5. pp. 35-39. (In Russ.)
18. Kryazhev D. V., Smirnov V. F., Smirnova O. N. [et al.] [Analysis of methods for assessing the biostability of industrial materials (criteria, approaches)] *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky] 2013. No. 2-1. pp. 118-124. (In Russ.)
19. Anikina N. A., Smirnov V. F., Kryazhev D. V. [et al.] [Investigation of resistance to the action of microscopic fungi of paint and varnish materials used in construction, instrumentation and mechanical engineering] *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N.I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky] 2014. No. 2-1. pp. 100-105. (In Russ.)
20. Chubinsky M. A. [Kinetics of decomposition of larch wood by wood-destroying fungi] *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie : materialy nauchno-tekhnicheskoy konferencii* [In the collection: Forests of Russia: politics, industry, science, education. Materials of the scientific and technical conference] 2016. pp. 187-190. (In Russ.)
21. Artyomov A.V., Savinovskikh A.V., Buryndin V.G. [Flexural modulus of elasticity as an indicator of the physical and mechanical properties of wood plastics without resins] *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. [Systems. Methods. Technologies] 2021. No. 1 (49). pp. 67-71. (In Russ.).

© **Artyomov A.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: artemovav@m.usfeu.ru; **Yershova A.S.** – Postgraduate student of the Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing, USFEU, e-mail: ershovaas@m.usfeu.ru; **Burundin V.G.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing, USFEU, e-mail: buryndinv@m.usfeu.ru; **Savinovskikh A.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Technology pulp and paper industries and polymer processing, USFEU, e-mail: savinovskihav@m.usfeu.ru.