

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7303

УДК 674.81\*667\*738.2

*Статья*

## **Исследование влияния и распределения порошкообразного гидролизного лигнина в древесном наполнителе на эксплуатационные и эстетические характеристики пластика без применения связующего**

**Артёмов Артём Вячеславович**

*кандидат технических наук, доцент, Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация), [artemovav@m.usfeu.ru](mailto:artemovav@m.usfeu.ru)*

**Бурындин Виктор Гаврилович**

*доктор технических наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация), [buryndinvg@m.usfeu.ru](mailto:buryndinvg@m.usfeu.ru)*

**Ершова Анна Сергеевна**

*аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация), [ershovaas@m.usfeu.ru](mailto:ershovaas@m.usfeu.ru)*

**Захаров Павел Сергеевич**

*аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация), [zaharovps@m.usfeu.ru](mailto:zaharovps@m.usfeu.ru)*

*Получена: 25 августа 2023 / Принята: 30 ноября 2023 / Опубликовано: 14 декабря 2023*

---

**Аннотация:** В данной работе изучены композиции, изготовленные в различных соотношениях из порошкообразного гидролизного лигнина и древесных наполнителей (опилки сосны и берёзы). Исследуемые композиции предлагаются к использованию с целью получения пластика без связующих веществ. Обнаружено влияние содержания гидролизного лигнина на эксплуатационные и эстетические свойства получаемого пластика при его распределении в древесном наполнителе с последующей пьезотермической обработкой. Были установлены рациональные композиции исходного пресс-сырья, обеспечивающие необходимое соотношение эксплуатационных показателей, таких как прочность при изгибе и водопоглощение за 24 ч. Оценка эстетических показателей изготовленных материалов была выполнена с использованием сканографий

и с помощью анализа получаемых цветовых моделей. Результаты анализа цветowych и бинарных изображений образцов из различных композиций, как лицевой поверхности, так и внутреннего продольного среза, показали, что не получается достигнуть полной дифференциации порошкообразного гидролизного лигнина в древесном наполнителе. Механическое распределение колерующего агента в полученной композиции не позволяет получать однотонные цветные изделия. Установлено, что неравномерность распределения оказывает влияние на эксплуатационные свойства получаемого пластика.

**Ключевые слова:** пластики; отходы деревообработки; гидролизный лигнин; эксплуатационные свойства; пигмент; цветовая характеристика

---

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7303

Article

## The influence and distribution of powdered hydrolytic lignin in wood filler on the operational and aesthetic characteristics of binderless plastic

**Artyom Artyomov**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), [artemovav@m.usfeu.ru](mailto:artemovav@m.usfeu.ru)*

**Viktor Buryndin**

*D. Sc. in engineering, professor, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), [buryndinvg@m.usfeu.ru](mailto:buryndinvg@m.usfeu.ru)*

**Anna Ershova**

*Ph. D. student, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), [ershovaas@m.usfeu.ru](mailto:ershovaas@m.usfeu.ru)*

**Pavel Zakharov**

*Ph. D. student, Ural State Forest Engineering University (Russian Federation), [zaharovps@m.usfeu.ru](mailto:zaharovps@m.usfeu.ru)*

*Received: 25 August 2023 / Accepted: 30 November 2023 / Published: 14 December 2023*

---

**Abstract:** This study explored compositions of powdered hydrolysis lignin and wood fillers (pine and birch sawdust) made in various proportions. The studied compositions were proposed for use in the production of binderless plastic. The influence of hydrolysis lignin content on the operational and aesthetic properties of the resulting plastic was revealed when it was distributed within the wood filler followed by piezothermal treatment. Rational compositions of the pre-densified raw materials were determined to achieve the desired balance of performance indicators such as bending strength and water absorption during 24 hours. Aesthetic evaluation of the materials was performed using scanned images and analysis of obtained color models. The analysis of color and binary images of top surface and internal longitudinal cross-sections of samples made of various compositions revealed challenges in achieving complete differentiation of powdered hydrolysis lignin within the wood filler. Such circumstances of mechanical distribution of the coloring agent in the composition prevent the

attainment of monochrome colored products. This non-uniform distribution throughout the product volume also impacts the operational properties of the resulting plastic.

**Keywords:** plastics; woodworking waste; hydrolysis lignin; performance properties; pigment; color characteristics

---

## 1. Введение

Сегодня для придания цветовых оттенков материалам на основе древесных композитов широко используются красители (колоранты) и пигменты [1—3].

Красители представляют собой добавки в виде веществ, которые растворяются в полимерной композиции и достигают соответствующего цветового оттенка будущего изделия. Пигменты являются мелкодисперсными порошками, которые только механически распределяются в композиции, образуя двухфазную систему с полимером или наполнителем.

При производстве полимерно-композиционных материалов на основе термопластичных полимеров (такие как ПЭ, ПВХ, ПП) обычно используются полимеры нужного цветового оттенка с добавлением соответствующего красителя для достижения необходимой окраски и улучшения внешнего вида получаемого изделия [4—6].

В качестве наполнителя для получения древесных композиционных материалов используют различное лигноцеллюлозное сырьё (древесина в виде опилок и муки, растения в виде плодовых оболочек, волокна или костры, отходы текстиля и макулатуры), которое при различных способах и условиях переработки может влиять на конечную цветовую окраску получаемого изделия.

Установлена [7] возможность однородного окрашивания порошковыми неорганическими пигментами (2,5 % от общего 100 %-го состава пресс-материала) полимерного композиционного материала на основе жидких резольных фенолоформальдегидных смол и дисперсного волокнистого наполнителя, полученного механической переработкой отходов фибрового производства целлюлозно-бумажной промышленности. Изготовленные образцы изучаемого композита имели чёрный, малиновый и зелёный цвета с гладкой блестящей фактурой их поверхности.

В работе [8] приведены спектральные кривые отражения наиболее часто используемых бумаги и картонов различных сортов и производителей. Все изученные спектральные кривые имеют одинаковый характер изменения интенсивности отражения от длины волны, при этом они не совпадают друг с другом. Это свидетельствует о том, что изменения цветового оттенка готовой продукции (мелованная бумага, картон с мелованными слоями, бумага ВХИ) относятся исключительно к технологии их изготовления [9].

В другом исследовании [10] с целью идентификации микропластика (пластиковых фрагментов) в окружающей среде (в водной толще, донных отложениях, почвах, льдах) предлагается использование липофильного красителя Нильский красный. Применение данного красителя в сочетании с флуоресцентной микроскопией хорошо подходит для визуального отделения пластика от биологических остатков.

В процессе получения композиционных материалов используемый наполнитель (в большинстве случаев древесный) может подвергаться воздействиям технологических факторов, которые могут вызывать изменения его внешнего вида, и, как следствие, может сказываться на конечном цветовом оттенке получаемого изделия.

Например, на сегодняшний день растительный наполнитель широко применяется в 3D-печати [11], [12]. В работе [13] представлены результаты исследований, которые показали, что температура печати на 3D-принтере оказывает влияние на ряд физических свойств формируемого материала, а также на его цвет. Авторы связывают изменение цвета с деструкцией самого древесного вещества при высокой температуре.

Данное предположение подтверждается работой [14]. Было выяснено, что термическое воздействие на древесину в интервале температур от 160 до 210 °С без доступа кислорода приводит к значительному изменению цветовых свойств материала: повышение температуры обработки вызывает заметное потемнение древесины. И это, в конечном счёте, ведёт к изменению эксплуатационных и цветовых характеристик получаемого композита.

Также для прогнозирования цвета итогового изделия авторами работы [15] была предложена регрессионная математическая модель, которая выведена в результате цветового анализа композитов на основе PLA и базируется на цветовом коде RYB. Предложенная математическая модель, задавая температуру обработки древесного наполнителя, позволяет прогнозировать интенсивности красного, жёлтого и синего составляющих для последующего визуального представления цвета конечного композитного состава.

В работе [16] измерение цвета предлагается даже для прямого химического анализа. Исследование проводилось с использованием УФ-облучения древесных поверхностей, и авторы высказывают предположение о том, что измерение цвета является достоверным инструментом для оценки изменений химической структуры поверхности древесины.

Получение пластика без связующих веществ (ПБС) на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья возможно только при его пьезотермической обработке в пространственно-замкнутых условиях. Исходя из анализа литературных данных, на цветовой оттенок получаемого материала на основе ПБС могут повлиять следующие условия и технологические факторы получения:

- Влажность исходного пресс-сырья при получении пьезотермопластиков (ПТП) [17].

ПТП, запрессованные при оптимальной влажности для принятого давления (и прочих оптимальных условиях), имеют тёмный цвет по всей площади, за исключением узкой светлой кромки по периферии: светлая кромка (зона брикета). Снижение влажности исходного материала приводит к сокращению размера потемневшей части плиты [17].

- Прессование между плоско-параллельными плитами при получении лигноуглеводных древесных пластиков (ЛУДП) [18].

Отпрессованные ЛУДП имеют центральную кондиционную часть более тёмного цвета (от светло-коричневого до тёмно-коричневого цвета) и светлую кромку по периферии — некондиционную часть плиты. При прессовании плит в открытых пресс-формах материал периферийной части плиты подвергается только температурной обработке [19].

- Производство цветных плиток из древесных опилок без введения связующего и красителей [20—24]. Получение данных изделий заключается в предварительной обработке перед прессованием древесного наполнителя в виде опилок специальными

химическими реактивами (в зависимости от цвета, который необходимо придать получаемой плитке). Перечень химических реактивов и получаемый цвет готового изделия представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Химические вещества для получения цветных плиток без связующих

**Table 1.** Chemicals for the production of colored binderless tiles

№ п/п	Наполнитель	Химический реагент	Цвет получаемого пластика	Источник литературы
1	Древесные опилки	3 %-й водный раствор гидрохинона с добавлением 10 %-го раствора серной кислоты	Чёрно-коричневый	[19]
2	Смесь опилок лиственных и хвойных пород	3 %-й водный раствор сернокислого гидросиламина	Тёмно-коричневый	[20]
3	Смесь опилок лиственных и хвойных пород	3 %-й водный раствор сернокислого гидрозина с добавлением до 2 %-го технического фурфурола	Ярко-оранжевый	[21]
4	Смесь опилок лиственных и хвойных пород	5 %-й водный раствор солянокислого анилина	Жёлто-коричневый	[22]
5	Древесные опилки	3 %-й водный раствор солянокислого анилина с добавлением до 2 %-го технического фурфурола	Ярко-красный (от светло-красного до тёмно-красного)	[23]
6	Смесь опилок лиственных и хвойных пород	3 %-й водный раствор сернокислого гидросиламина с добавлением до 2 %-го технического фурфурола	Светло-жёлтый	[24]

Использование химических реагентов при производстве ПБС оказывает воздействие не только на конечный продукт (эксплуатационные свойства, в т. ч. цветовой оттенок), но и позволяет проводить процесс получения ПБС в более благоприятных условиях прессования (при более низкой температуре и давлении прессования).

Однако использование химических модификаторов приводит к удорожанию получаемого пластика, усложняет технологический процесс получения. В связи с этим возникает потребность в поиске иных способов модификации древесного пресс-сырья с целью получения высокоэксплуатационных материалов, при этом обладающих определёнными эстетическими свойствами и характеристиками — цветом и текстурой. В то же время это не должно приводить к ухудшению эксплуатационных свойств и удорожанию получаемого материала.

Наиболее перспективным сырьём для рассматриваемой задачи может являться отход в виде гидролизного лигнина. Гидролизный лигнин является крупнотоннажным отходом целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности и широко применяется

при получении композиционных материалов [25—27], в т. ч. ПБС, где используется в качестве модификатора [28], [29].

Целью данной работы являлось изучение влияния на физико-механические (эксплуатационные) свойства и цветовые (эстетические) характеристики ПБС на основе древесного наполнителя с добавкой мелкодисперсного гидролизного лигнина, выступающего одновременно модификатором и колерующим агентом.

## 2. Материалы и методы

В качестве исходного сырья использовалось пресс-сырьё на основе древесного наполнителя (ДН) в виде отходов деревообработки [сосновые опилки (СО) и берёзовые опилки (БО)] и гидролизного лигнина (ГЛ). Для выполнения исследования и возможности оценки влияния добавки гидролизного лигнина на свойства ПБС были получены образцы ПБС из составленного ряда композиций из различных соотношений «древесный наполнитель — гидролизный лигнин». Рецептура пресс-композиций, технологические режимы и условия получения образцов представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Рецептура и режимы получения образцов плиток без связующих

**Table 2.** Formulation and modes of obtaining samples of binderless tiles

№ композиции	Содержание, масс.%,		Влажность, %	Давление прессования, МПа	Температура прессования, °С	Продолжительность, мин	
	ДН	ГЛ				прессования	охлаждения под давлением
1	100	0	12	40	180	10	10
2	80	20	12	40	180	10	10
3	60	40	12	40	180	10	10
4	40	60	12	40	180	10	10
5	20	80	12	40	180	10	10
6	0	100	12	40	180	10	10

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. Полученные образцы перед испытаниями подвергались кондиционированию в комнатных условиях в течение 24 ч.

Испытания на физико-механические свойства (плотность, прочность при изгибе, водопоглощение по объёму за 24 ч) осуществлялись на поверенном оборудовании (разрывная машина модели «РМ-5-1») в соответствии с ГОСТ 10634-88, ГОСТ 4650-2014.

Изучение изменения цветовой окраски лицевой поверхности полученных образцов ПБС осуществлялось с помощью сканографий. Сканографии были получены с помощью планшетного сканера с CCD-матрицей при разрешении 300 dpi.



Анализ цветовых моделей полученных изображений осуществлялся с помощью программы для обработки растровых изображений (программа для графического дизайна CorelDRAW Graphics Suite 2020) и онлайн сервисов для обработки растровых изображений с целью подбора красок и колеров (<https://whatcolor.ru/>). Для выполнения анализа произвольно выбирались не менее 5 точек (размер точки анализа принимался от 16 до 50 px), для которых выполнялось определение цветовой модели (RGB), шестнадцатеричного кода цвета и устанавливалась доля преобладающего (доминирующего) цвета в изучаемом образце.

Обработка и анализ изображений с целью установления распределения частиц пигмента в древесном наполнителе производились с использованием программы ImageJ (программное обеспечение с открытым исходным кодом для обработки и анализа научных изображений).

### 3. Результаты и обсуждение

Статистически обработанные результаты испытаний на физико-механические свойства полученных образцов ПБС представлены на рисунке 1. Так как показатели прочности при изгибе и водопоглощении зависят от плотности образцов ПБС, они были приведены к единой плотности по зависимостям, представленным в работе [30]. За единую плотность была принята плотность образцов ПБС, полученных только на основе древесного наполнителя.

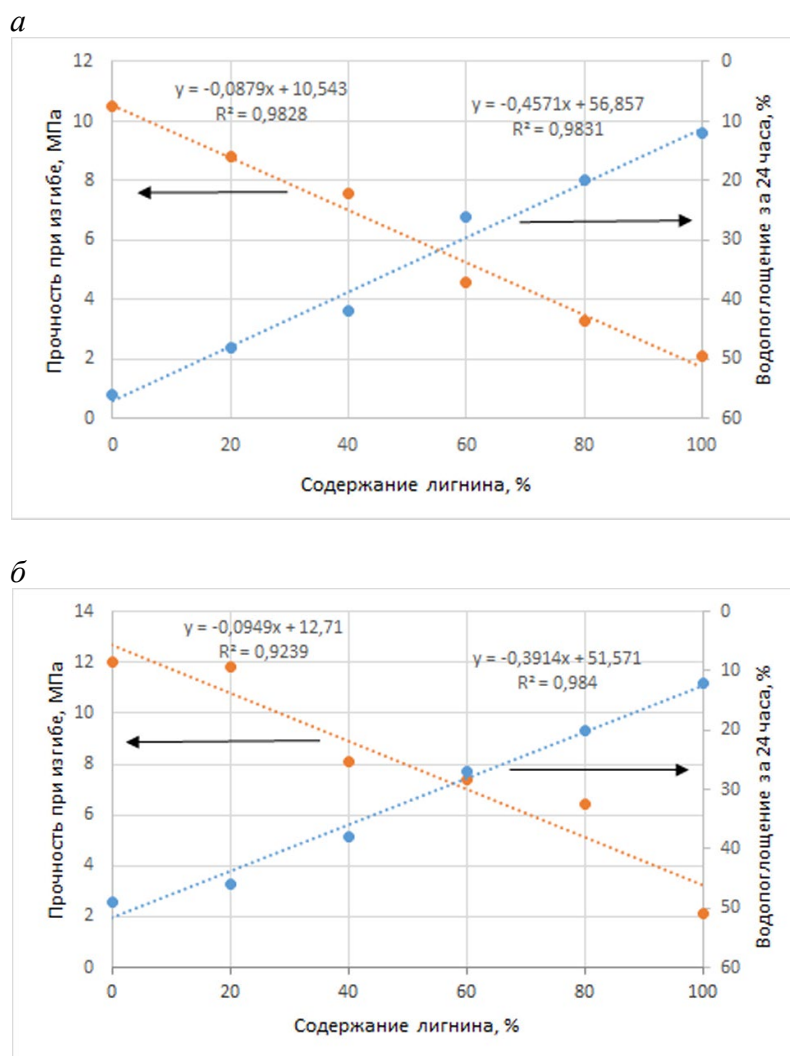
С целью определения рационального содержания гидролизного лигнина в древесном наполнителе для получения ПБС с физико-механическими свойствами, которые бы сочетали в себе относительно высокие показатели по прочности при изгибе и минимальное водопоглощение, была выполнена математическая структурная оптимизация с использованием полученных уравнений зависимостей (см. рисунок 1).

Определение рационального содержания лигнина выполнялось по возможно допустимому снижению показателя прочности при изгибе. Для древесно-композиционных материалов предельная остаточная величина прочности при изгибе от исходной (начальной) величины составляет 80—90 % [31], [32]. Используя полученные уравнения и принятое допустимое снижение прочности при изгибе на 20 %, были определены следующее рациональное содержание гидролизного лигнина в древесном наполнителе и прогнозируемые свойства:

- На основе БО: содержание гидролизного лигнина составляет 25 %, прочность при изгибе — 8,4 МПа, водопоглощение за 24 ч — 45 %.
- На основе СО: содержание лигнина составляет 26 %, прочность при изгибе — 10,2 МПа, водопоглощение за 24 ч — 41 %.
- Результаты анализа цветовых характеристик полученных изображений представлены в таблице 3.
- Анализ точек размером 50 px позволяет получать информацию о преобладающем цвете лицевой поверхности образцов более 50 %. При анализе точек с минимальным размером 16 px приводит к идентификации цвета с минимальной

долей. Это можно объяснить тем, что размеры частиц наполнителя и пигмента соответствуют определённым размерам.

- Для установления размера частиц пигмента и его распределения на поверхности образца при его получении сканографии были обработаны с целью получения бинарных изображений.




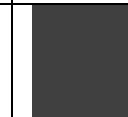
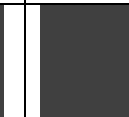
















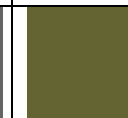
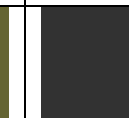



**Рисунок 1.** Физико-механические свойства ПБС на различном древесном наполнителе в зависимости от содержания пигмента (гидролизного лигнина): *a* — на основе БО; *б* — на основе СО

**Figure 1.** Physical and mechanical properties of PWR made with various wood fillers depending on the pigment content (hydrolytic lignin): (a) birch sawdust-based; (b) pine sawdust-based

**Таблица 3.** Анализ цветовых характеристик сканографий образцов ПБС на основе различных древесных наполнителей и содержания ГЛ








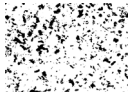
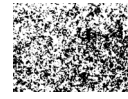
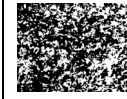
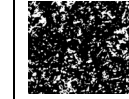

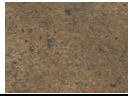



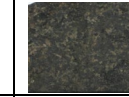

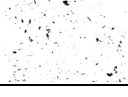



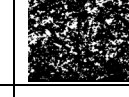
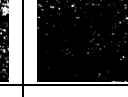
**Table 3.** Analysis of color characteristics of PWR sample scans made with various wood fillers and hydrolytic lignin content

Наполнитель, размер точки (px)	Показатели	Содержание «наполнитель ÷ пигмент», %					
		100÷0	80÷20	60÷40	40÷60	20÷80	0÷100
БО, 16	Шестнадцатеричный код цвета	#a09070	#807060	#505040	#404040	#404040	#404040
	Шаблонный цвет						
	Доля цвета, %	38	49	42	57	52	94
БО, 50	Шестнадцатеричный код цвета	#969664	#646464	#646432	#323232	#323232	#323232
	Шаблонный цвет						
	Доля цвета, %	100	72	53	68	60	98
СО, 16	Шестнадцатеричный код цвета	#807050	#908060	#706050	#404040	#404040	#404030
	Шаблонный цвет						
	Доля цвета, %	47	30	52	34	73	63
СО, 50	Шестнадцатеричный код цвета	#966464	#969664	#646464	#646432	#323232	#323232
	Шаблонный цвет						
	Доля цвета, %	100	95	80	60	79	100

Результаты бинарной обработка полученных цветных изображений представлены в таблице 4.

**Таблица 4.** Анализ цветовых характеристик сканографий образцов ПБС на основе различных древесных наполнителей и содержания ГЛ

**Table 4.** Analysis of color characteristics of PWR sample scans made with various wood fillers and hydrolytic lignin content

Наполнитель	Показатели	Содержание «наполнитель ÷ пигмент», %					
		100÷0	80÷20	60÷40	40÷60	20÷80	0÷100
БО	Сканография						
	Бинарное изображение						
	Доля частиц наполнителя, %	99,6	84,2	60,3	38,4	20,6	2,1
	Средний размер частиц пигмента*/наполнителя**, рх	28*	38*	55*	62**	39**	22**
СО	Сканография						
	Бинарное изображение						
	Доля частиц наполнителя, %	99,6	81,0	60,0	39,9	19,6	2,1
	Средний размер частиц пигмента*/наполнителя**, рх	28*	37*	52*	61**	40**	22**

Полученные данные по доле частиц наполнителя и добавки пигмента бинарных изображений с помощью программы ImageJ показали высокую сходимость их изначального содержания. Незначительные расхождения композиций со 100 %-м содержанием наполнителя или добавки можно обосновать содержанием в древесном наполнителе коры древесины (композиция № 1 и № 6) и определённой доли небольших вмятин и углублений (композиция № 6).

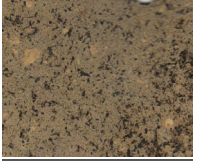


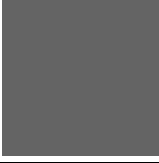
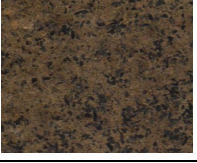
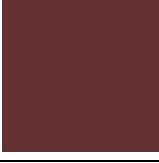
По размеру частиц можно судить о том, насколько точно будет определён цвет исследуемой поверхности: чем меньше размером точка анализа сканографии поверхности образца, тем более точно будет определён цвет. При анализе растрового изображения поверхности ПБС на основе порошкообразного наполнителя и пигмента, которые образуют неравномерную цветовую поверхность (см. таблицу 4) и требуют обобщённую картину для общего формирования цветовой модели (см. таблицу 3), возможно использование точек большего размера. Рекомендуемый размер точек анализа должен быть не меньше размеров самих частиц наполнителя и/или пигмента.

С целью исследований возможного распределения частиц колерующей добавки по всему объёму пресс-материала были получены сканографии внутреннего среза поверхности образцов материала.

Результаты сканографий лицевой и задней поверхностей, а также внутреннего среза по всей поверхности образца ПБС представлены в таблице 5.

**Таблица 5.** Графические изображения поверхностей и внутреннего среза поверхности образцов ПБС (БО, композиция № 3)

**Table 5.** Graphic images of the surface and the inner surface cut of the samples of PWR (birch sawdust, composition No. 3)

Поверхность образца	Сканография (рх 50)	Цветовая модель	Шестнадцатеричный код цвета	Доля преобладающего цвета, %
Внешняя (лицевая)			#646432	54
Внутренняя			#64646	72
Внешняя (задняя)			#643232	100

Наблюдается изменение цветовой окраски по всей толщине образцов ПБС, которое можно объяснить различной насыпной плотностью древесного наполнителя и гидролизного лигнина. Так, например, для древесных опилок она составляла в пределах  $160 \div 220 \text{ кг/м}^3$ , а для гидролизного лигнина —  $320 \text{ кг/м}^3$ . За счёт различной насыпной плотности порошкообразных составляющих пресс-сырья происходит разное распределение частиц по всему объёму получаемых материалов на основе ПБС. При этом внутри самого материала не наблюдается совместного «плавления» частиц древесины и лигнина и образования монолитного материала. Это говорит о том, что при заданных параметрах пьезотермической обработки данные компоненты пресс-сырья не вступают в химическое взаимодействие между собой, а происходит физическое «спекание» и образуется двухфазная система. Изменение окраски происходит благодаря потемнению древесины (за счёт термической деструкции её компонентов) и механического распределения частиц в наполнителе колерующего агента.

На основании полученного шестнадцатеричного кода цвета были определены цветовые модели в формате RGB и выполнена их аппроксимация с целью выявления корреляционной зависимости интенсивности цвета лицевой поверхности ПБС от содержания ГЛ в древесном наполнителе. Уравнения зависимостей и результаты аппроксимации представлены в таблице 6.

**Таблица 6.** Установленные зависимости влияния пигментной добавки (ГЛ) на цветовую окраску ПБС

**Table 6.** The dependences of the effect of a pigment additive (hydrolytic lignin) on the color coloration of PWR

Наполнитель, размер точки (px)	Цвет		
	R	G	B
БО, 16	$Y = 142,03e^{-0,01x}$	$Y = 127,74e^{-0,009x}$	$Y = 100,13e^{-0,006x}$
	$R^2 = 0,8357$	$R^2 = 0,8487$	$R^2 = 0,7142$
БО, 50	$Y = 136,53e^{-0,012x}$	$Y = 136,53e^{-0,012x}$	$Y = 93,612e^{-0,008x}$
	0,8571	0,8571	0,6857
СО, 16	$Y = 143,18e^{-0,009x}$	$Y = 123,05e^{-0,008x}$	$Y = 92,246e^{-0,007x}$
	0,8036	0,7978	0,7381
СО, 50	$Y = 162,4e^{-0,011x}$	$Y = 131,32e^{-0,008x}$	$Y = 111,27e^{-0,009x}$
	0,8232	0,5786	0,7902





Полученные уравнения имеют достаточно высокий коэффициент аппроксимации, что допускает использование данных уравнений для прогнозирования цветового оттенка при использовании в определённой пропорции гидролизного лигнина к древесному наполнителю.

С целью подтверждения полученных закономерностей были получены образцы ПБС с рациональными свойствами (см. рисунок 1) и произведены оценка и сопоставление расчётных и экспериментальных показателей по цветовым моделям и физико-механическим характеристикам. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Согласно таблице 7, наблюдается существенное расхождение показателей по цвету В (для БО расхождение составляет 35 %, для СО — 23 %). Такое смещение в сторону жёлтого цвета объясняется наибольшим содержанием наполнителя — чистые древесные опилки преимущественно оттенков жёлтого цвета (см. таблицу 3) — и неоднородностью компонентов композиции, не обеспечивающих гомогенизацию пресс-сырья (см. таблицу 5).

**Таблица 7.** Расчётные и экспериментальные характеристики ПБС, полученные по рациональной композиции

**Table 7.** Calculated and experimental characteristics of PWR obtained by using a rational composition

Наполнитель	Содержание добавки, %	Показатели	Расчётные		Экспериментальные		
БО	25	R	101	#65654d Нефритовый с сильными оттенками елового и авокадо 	100	#646432 Авокадо 	
		G	101		100		
		B	77		50		
		Прочность при изгибе, МПа		8,4		8,6	
		Водопоглощение за 24 ч, %		45		48	
СО	26	R	122	#7a6a58 Почти нефритовый с оттенками какао и елового 	122	#7a6644 Светлое авокадо с сильными оттенками какао и нефрита 	
		G	106		102		
		B	88		68		
		Прочность при изгибе, МПа		10,2		9,2	
		Водопоглощение за 24 ч, %		41		35	

#### 4. Заключение

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Возможно использование гидролизного лигнина в качестве цветового пигмента для улучшения декоративных характеристик с целью получения отделочных и декоративных изделий на основе ПБС. Такой подход позволяет получать готовые материалы с определённой номенклатурой цветовых гамм без использования дорогостоящей стадии химической обработки исходного пресс-сырья. С помощью стандартных компьютерных программ и свободных приложений и утилит (*free software*) было оценено визуальное представление цвета, полученных образцов ПБС на основе древесного сырья с различным содержанием гидролизного лигнина.

2. Показано, что добавка гидролизного лигнина выполняет функции пигмента при получении ПБС. Из-за низкой смешиваемости не удаётся получать материал, имеющий единообразную и монотонную поверхность. Это объясняется тем, что гидролизный лигнин не выступает как полноценный химический модификатор (не происходит глубокого химического взаимодействия между ним и древесным наполнителем). Изменение содержания гидролизного лигнина в древесном наполнителе ведёт к изменению цветовых характеристик получаемого ПБС.

3. Цветовой анализ растровых изображений сканографий с анализом точек с размером 50 рх позволяет с высокой степенью вероятности предопределять долю доминирующего цвета исследуемого материала. Для оценки и установления цветовых моделей не рекомендуется анализ сканографий с размером точек менее 50 рх, т. к. отсутствует возможность получения однозначной цветовой модели из-за размера частиц наполнителя и пигмента и присутствия структурно-механического фактора.

4. Установленные закономерности влияния пигментной добавки (ГЛ) на цветовую окраску ПБС на основе древесного наполнителя позволяют с высокой степенью спрогнозировать не только цветовой оттенок получаемого изделия, но и его физико-механические свойства. Однако данные зависимости не учитывают исходный цвет древесного наполнителя, его начальную влажность и условия его пьезотермической обработки. Для удобства прогнозирования цвета конечного изделия на основе ПБС необходима разработка методики прогнозирования цвета в зависимости от содержания в пресс-композиции гидролизного лигнина, которая позволит определять конечную цветовую гамму.

## Список литературы

1. Юрченко В. В., Хлебородова В. А. Анализ модифицирующих добавок, применяемых в композиционных материалах с наполнителем из отходов древесины и термопластичных полимеров // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2018. № 48. С. 39—45. EDN LBTVB.
2. Nanocolorants: A novel class of colorants, the preparation and performance characterization / Zh. Hu, M. Xue, Q. Zhang [et al.] // *Dyes and Pigments*. 2008. Vol. 76, no. 1. P. 173—178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.08.026>.
3. Bashkirova K. A., Gazeev M. V., Sviridov A. V. Features of planning an experiment to develop a new paint and varnish composition for the formation of protective and decorative coatings on wood products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, 15—16 октября 2021 г. Yekaterinburg, 2022. P. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012065. EDN BMMKZR.
4. Becker D. Coloring of Plastics // *Color Trends and Selection for Product Design*. 2016. P. 195—198. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39395-9.00040-2>.
5. Кузьмин А. М., Водяков В. Н., Котина Е. А. Модификация термопластичных композитов с растительным наполнителем минеральными тонкодисперсными частицами // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 2. С. 74—77. EDN XVFSST.



6. Константинова С. А., Щелоков В. М., Воскобойников И. В. Получение целлюлозосодержащего полимерного суперконцентрата для производства древесно-полимерных композиционных материалов // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2012. № 8. С. 117—124. EDN NRIJLX.
7. Гусев Е. В., Набойщикова Н. А., Агеева Т. А. Закономерности изменения физико-механических свойств композитов на основе жидких фенолоформальдегидных смол и дисперсно-волокнутого наполнителя // Российский химический журнал. 2022. Т. 66, № 2. С. 22—27. DOI: 10.6060/rcj.2022662.4. EDN IQEFHC.
8. Тарасов Д. А., Тягунов А. Г. Анализ спектров отражения печатных бумаг и картонов // Полиграфия: технология, оборудование, материалы: Материалы IX научно-практич. конф. с междунар. участием, Омск, 15—16 мая 2018 г. / Минобрнауки России, ОмГТУ; Ред. коллегия: С. Н. Литунов (науч. ред.), И. А. Сысуев (отв. ред.), В. М. Вдовин. Омск: ОмГТУ, 2018. С. 129—134. EDN XRGDNB.
9. Вураско А. В., Агеев М. А., Агеев А. Я. Технологии получения, обработки и переработки бумаги и картона / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. гос. лесотехн. ун-т. Изд. 2-е, доп. и перераб. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2021. 276 с. EDN BOLFHQ.
10. Особенности применения красителя Нильский красный для идентификации частиц пластика в природных объектах / Е. В. Иванова, А. В. Гузева, А. Е. Лапенков [и др.] // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 4 (24). С. 36—42. DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10032. EDN CSUQUD.
11. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective / X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou [et al.] // Composites Part B: Engineering. 2017. Vol. 110. P. 442—458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>.
12. COLOR3D — Multicolored 3D printing of wood composites by submicron structuring / Y. Li, S. Kluck, N. Nekoonam [et al.] // Additive Manufacturing. 2023. Vol. 75. P. 103723. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103723>.
13. Говядин И. К., Чубинский А. Н. Исследование влияния температуры на 3D-принтере на свойства древесно-полимерной нити // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 229. С. 231—242. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.229.231-242. EDN HIDXJC.
14. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood / A. Sikora, F. Kačík, M. Gaff [et al.] // Journal of Wood Science. 2018. No. 64. P. 406—416. DOI: 10.1007/s10086-018-1721-0.
15. Математическая модель прогнозирования цветовых характеристик древесно-наполненных композитов на основе PLA / Г. А. Сабирова, Н. Р. Галаветдинов, Р. З. Хайруллин [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 1. С. 82—89. EDN QXOKMF.
16. Modeling color and chemical changes on normal and red heart beech wood by reflectance spectrophotometry, Fourier Transform Infrared spectroscopy and hyperspectral imaging / G. Bonifazi, L. Calienno, G. Capobianco [et al.] // Polymer Degradation and Stability. 2015. Vol. 113. P. 10—21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.001>.
17. Минин А. Н. Технология термопьезопластиков. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 296 с.
18. Плитные материалы и изделия из древесины и других одревесневевших остатков без добавления связующих / А. С. Аккерман, В. Н. Антакова, В. Е. Бабайлов [и др.]; Под ред. В. Н. Петри. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 360 с.

19. А. с. № 142413 А1 СССР, МПК В27N 3/02. Способ изготовления цветного древесного пластика из опилок без связующего: № 724027; заявл. 30.03.1961; опубл. 01.01.1961 / А. В. Чуйко, Е. С. Чуйко. EDN FDGOKQ.
20. А. с. № 142014 А1 СССР, МПК В27N 3/02. Способ изготовления цветного древесного пластика из опилок без связующего: № 724024; заявл. 30.03.1961; опубл. 01.01.1961 / А. В. Чуйко, Е. С. Чуйко. EDN KAIPYL.
21. А. с. № 142015 А1 СССР, МПК В27N 3/02. Способ изготовления цветных плиток из древесных опилок без связующего: № 724025; заявл. 30.03.1961; опубл. 01.01.1961 / А. В. Чуйко, Е. С. Чуйко. EDN WWQVSP.
22. А. с. № 142016 А1 СССР, МПК В27N 3/02. Способ изготовления цветного древесного пластика из опилок без связующего: № 724026; заявл. 30.03.1961; опубл. 01.01.1961 / А. В. Чуйко, Е. С. Чуйко. EDN OTVXCL.
23. А. с. № 142017 А1 СССР, МПК В27N 3/02. Способ изготовления цветных плиток из древесных опилок без введения связующего: № 724028; заявл. 30.03.1961; опубл. 01.01.1961 / А. В. Чуйко, Е. С. Чуйко. EDN SXIKIS.
24. А. с. № 142018 А1 СССР, МПК В27N 3/02. Способ изготовления цветных плиток из древесных опилок без связующего: № 724029; заявл. 30.03.1961; опубл. 01.01.1961 / А. В. Чуйко, Е. С. Чуйко. EDN GKUYFP.
25. Жуланова А. Е., Глушанкова И. С. Утилизация лигносульфонатов с получением композиционных строительных материалов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 134—139. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-134-139. EDN SPORXT.
26. 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.
27. Влияние лигнина на реакционную способность фенолформальдегидной смолы и свойства теплоизоляционного материала на её основе / И. В. Тычинкин, О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. 2022. № 8. С. 8—14. DOI: 10.31044/1813-7008-2022-8-8-14. EDN GHSXMQ.
28. Савиновских А. В., Артемов А. В., Бурындин В. Г. Влияние модификаторов на физико-механические свойства древесных пластиков без добавления связующих // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2016. Т. 20, № 3. С. 55—59. EDN WKNMON.
29. Гидрофобизация пластиков без связующих веществ гидролизным лигнином / А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, А. С. Ершова [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 1. С. 116—124. EDN SABZOC.
30. Исследование зависимости между физико-механическими свойствами древесных пластиков / М. С. Гарт, А. С. Ершова, А. В. Артемов [и др.] // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды XVII Междунар. Евразийского симпозиума, Екатеринбург, 13—16 сентября 2022 г. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2022. С. 140—146.
31. Хрулёв В. М., Мартынов К. Я. Долговечность древесностружечных плит. М., 1977. 168 с.
32. Тепловое старение изделий на основе древесных композиционных материалов / Т. С. Выдрина, А. В. Артемов, В. Г. Дедюхин [и др.] // Химия растительного сырья. 2007. № 2. С. 101—106. EDN IAPFVZ.

## References

1. Yurchenko V. V., Khleborodova V. A. Analysis of modifying additives used in composite materials with filler from wood waste and thermoplastic polymers. *Collection of scientific papers of the Donetsk Institute of Railway Transport*, 2018, no. 48, pp. 39—45. EDN LBBTVB. (In Russ.)
2. Hu Zh., Xue M., Zhang Q. [et al.]. Nanocolorants: A novel class of colorants, the preparation and performance characteriza-tion. *Dyes and Pigments*, 2008, vol. 76, no. 1, pp. 173—178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.08.026>.
3. Bashkirova K. A., Gazeev M. V., Sviridov A. V. Features of planning an experiment to develop a new paint and varnish composition for the formation of protective and decorative coatings on wood products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, October 15—16, 2021*. Yekaterinburg, 2022, pp. 012065. doi: 10.1088/1755-1315/949/1/012065. EDN BMMKZR.
4. Becker D. Coloring of Plastics. *Color Trends and Selection for Product Design*, 2016, pp. 195—198. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39395-9.00040-2>.
5. Kuzmin A. M., Vodiakov V. N., Kotina E. A. Modification of thermoplastic composites with vegetable filler with mineral fine particles. *Bulletin of the Technological University*, 2017, vol. 20, no.2, pp. 74—77. EDN XVFSST. (In Russ.)
6. Konstantinova S. A., Shchelokov V. M., Voskoboynikov I. V. Obtaining a cellulose-containing polymer superconcenter-ata for the production of wood-polymer composite materials. *Bulletin of the Moscow State University of Forests — Forest Bulletin*, 2012, no. 8, pp. 117—124. EDN NRIJLX. (In Russ.)
7. Gusev E. V., Naboyshikova N. A., Ageeva T. A. Regularities of changes in the physical and mechanical properties of composites based on liquid phenol-formaldehyde resins and dispersed fiber filler. *Russian Chemical Journal*, 2022, vol. 66, no. 2, pp. 22—27. doi: 10.6060/rcj.2022662.4. EDN IQEFHC. (In Russ.)
8. Tarasov D. A., Tyagunov A. G. Analysis of reflection spectra of printed papers and cartons. *Polygraphy: technology, equipment, materials: Materials of the IX Scientific and practical conference with international participation, Omsk, May 15—16, 2018. Ministry of Education and Science of Russia, OmSTU; Editorial Board: S. N. Litunov (scientific editor), I. A. Sysuev (editor-in-chief), V. M. Vdovin*. Omsk, Omsk State Technical University, 2018, pp. 129—134. EDN XRGDNB. (In Russ.)
9. Vurasko A. V., Ageev M. A., Ageev A. Ya. *Technologies for obtaining, processing and processing paper and cardboard. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forestry University. 2<sup>nd</sup> edition, supplemented and revised*. Yekaterinburg, Ural State Forestry University, 2021. 276 p. EDN BOLFHQ. (In Russ.)
10. Ivanova E. V., Guzeva A. V., Lapenkov A. E. [et al.]. Features of the use of the Nile red dye for the identification of plastic particles in natural objects. *Russian Journal of Applied Ecology*, 2020, no. 4 (24), pp. 36—42. doi: 10.24411/2411-7374-2020-10032. EDN CSUQUD. (In Russ.)
11. Wang X., Jiang M., Zhou Z. [et al.]. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 2017, vol. 110, pp. 442—458. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>.
12. Li Y., Kluck S., Nekoonam N. [et al.]. COLOR3D — Multicolored 3D printing of wood composites by submicron structuring. *Additive Manufacturing*, 2023, vol. 75, pp. 103723. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103723>.

13. Govyadin I. K., Chubinsky A. N. Investigation of the effect of temperature on a 3D printer on the properties of a spring polymer thread. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2019, no. 229, pp. 231—242. doi: 10.21266/2079-4304.2019.229.231-242. EDN HIDXJC. (In Russ.)
14. Sikora A., Kačík F., Gaff M. [et al.]. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. *Journal of Wood Science*, 2018, no. 64, pp. 406—416. doi: 10.1007/s10086-018-1721-0.
15. Sabirova G. A., Galyavetdinov N. R., Khairullin R. Z., Mukhametzyanov Sh. R. Mathematical model for predicting the color characteristics of wood-filled composites based on PLA. *Woodworking industry*, 2021, no. 1, pp. 82—89. EDN QXOKMF. (In Russ.)
16. Bonifazi G., Calienno L., Capobianco G. [et al.]. Modeling color and chemical changes on normal and red heart beech wood by reflection spectrophotometry, Fourier Transform Infrared spectroscopy and hyperspectral imaging. *Polymer Degradation and Stability*, 2015, vol. 113, pp. 10—21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.001>.
17. Minin A. N. *Technology of thermopiezoplastics*. Moscow, Forest industry, 1965. 296 p. (In Russ.)
18. Akkerman A. S., Antakova V. N., Babailov V. E. [et al.]; Edited by V. N. Petri [et al.]. *Plate materials and products made of wood and other desalinated residues without the addition of binders*. Moscow, Forest industry, 1976. 360 p. (In Russ.)
19. Copyright certificate no. 142413 A1 of the USSR, IPC B27N 3/02. Method of manufacturing colored wood plastic from sawdust without binder: no. 724027; application 30.03.1961; publ. 01.01.1961. A. V. Chuiko, E. S. Chuiko. EDN FDGOKQ. (In Russ.)
20. Copyright certificate no. 142014 A1 USSR, IPC B27N 3/02. Method of manufacturing colored wood plastic from sawdust without binder: no. 724024; application 30.03.1961; publ. 01.01.1961. A. V. Chuiko, E. S. Chuiko. EDN KAIPYL. (In Russ.)
21. Copyright certificate no. 142015 A1 USSR, IPC B27N 3/02. Method of making colored tiles from sawdust without binder: no. 724025; application 30.03.1961; publ. 01.01.1961. A. V. Chuiko, E. S. Chuiko. EDN WWQVSP. (In Russ.)
22. Copyright certificate no. 142016 A1 USSR, IPC B27N 3/02. Method of manufacturing colored wood plastic from sawdust without binder: no. 724026; application 30.03.1961; publ. 01.01.1961. A. V. Chuiko, E. S. Chuiko. EDN OTVXCL. (In Russ.)
23. Copyright certificate no. 142017 A1 USSR, IPC B27N 3/02. A method for making colored tiles from sawdust without the introduction of a binder: no. 724028; application 30.03.1961; publ. 01.01.1961. A. V. Chuiko, E. S. Chuiko. EDN SXIKIS. (In Russ.)
24. Copyright certificate no. 142018 A1 USSR, IPC B27N 3/02. Method of making colored tiles from sawdust without binder: no. 724029; application 30.03.1961; publ. 01.01.1961. A. V. Chuiko, E. S. Chuiko. EDN GKUYFP. (In Russ.)
25. Zhulanova A. E., Glushankova I. S. Utilization of lignosulfonates to obtain composite building materials. *Theoretical and applied ecology*, 2022, no. 1, pp. 134—139. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-134-139. EDN CPORXT. (In Russ.)
26. Stupak D. P., Shkuro A. E., Artemov A. V. Obtaining and investigation of the properties of wood-polymer composites with hydrolyzed lignin. *Woodworking industry*, 2020, no. 1, pp. 72—80. EDN CNXUXS. (In Russ.)
27. Tychinkin I. V., Shishlov O. F., Glukhikh V. V. [et al.]. The influence of lignin on the reactivity of phenol-formaldehyde resin and the properties of thermal insulation material based on it. *Glues. Sealants. Technologies*, 2022, no. 8, pp. 8—14. doi: 10.31044/1813-7008-2022-8-8-14. EDN GHSXMQ. (In Russ.)

28. Savinovskikh A. V., Artemov A. V., Buryndin V. G. The influence of modifiers on the physico-mechanical properties of wood plastics without the addition of binders. *Bulletin of the Moscow State University of Forests — Lesnoy vestnik*, 2016, vol. 20, no. 3, pp. 55—59. EDN WKNMON. (In Russ.)
29. Artemov A. V., Buryndin V. G., Ershova A. S., Ladygina A. N. Hydrophobization of plastics without binders by hydrolysis lignin. *Woodworking industry*, 2023, no. 1, pp. 116—124. EDN SABZOC. (In Russ.)
30. Garth M. S., Ershova A. S., Artemov A. V. [et al.]. Investigation of the relationship between the physico-mechanical properties of wood plates. *Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: Proceedings of the XVII International Eurasian Symposium, Yekaterinburg, September 13—16, 2022*. Yekaterinburg, Ural State Forestry University, 2022, pp. 140—146 (In Russ.)
31. Khrulev V. M., Martynov K. Ya. *Durability of particle boards*. Moscow, 1977. 168 p. (In Russ.)
32. Vydrina T. S., Artemov A. V., Dedyukhin V. G., Buryndin V. G. Thermal aging of products based on wood composite materials. *Chemistry of plant raw materials*, 2007, no. 2, pp. 101—106. EDN IAPFVZ. (In Russ.)

© Артёмов А. В., Буриндин В. Г., Ершова А. С., Захаров П. С., 2023