

УДК 674.817

**В. А. Кузьмин¹, Л. В. Радкевич¹, З. Пастори², И. К. Божелко³, И. Г. Федосенко³,
Л. Ю. Дубовская⁴, А. А. Коновалова³, О. В. Мелешко³**

¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

²Университет Шопрона, Венгрия

³Белорусский государственный технологический университет

⁴Белорусская государственная академия искусств

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОБЗОР)

В этой статье обобщены некоторые результаты исследований и перспективы промышленного применения, связанные с корой деревьев. Кора деревьев является побочным продуктом лесного хозяйства и в настоящее время ее использование незначительно. Однако кора обладает хорошими физическо-механическими свойствами и доступна в больших количествах. Целью данного исследования являлся анализ возможности использования коры в качестве одного из компонентов теплоизоляционных материалов. Результаты анализа показывают, что теплоизоляционные материалы, изготовленные из коры, могут достигать коэффициента теплопроводности 0,042–0,065 Вт/(м·К). Улучшение теплоизоляционных свойств панелей может быть достигнуто за счет изменения качественного и количественного состава композиций, ориентации частиц и т. д. Армирование и термическая обработка коры дополнительно повышают устойчивость к поглощению воды и набуханию готовых изделий. Пористость и гидроксильные группы фенольных соединений, способных связывать формальдегид, обеспечивают экологичность использования продуктов из коры. Кроме того, за счет содержания в коре природных смол, термоизоляционные панели на ее основе могут быть изготовлены без использования связующих. Содержание цезия-137 в коре деревьев, произрастающих на загрязненных радионуклидами территориях, может быть уменьшено в 10 раз за счет добавления извести в композиции при изготовлении изделий. Кора деревьев обладает лучшими звукоизоляционными свойствами, чем ДСП и МДФ, ОСБ.

Ключевые слова: кора деревьев, свойства коры, использование коры, анализ коры, теплоизоляционные материалы.

Для цитирования: Кузьмин В. А., Радкевич Л. В., Пастори З., Божелко И. К., Федосенко И. Г., Дубовская Л. Ю., Коновалова А. А., Мелешко О. В. Использование коры в производстве теплоизоляционных строительных материалов (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 177–186. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-19.

**V. Kuzmin¹, L. Radkevich¹, Z. Pásztor², I. Bazhelka³, I. Fedosenko³,
L. Dubovskaya⁴, A. Kanavalava³, V. Mialeshka³**

¹A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of National Academy of Science of Belarus

²University of Sopron, Hungary

³Belarusian State Technological University

⁴Belarusian State Academy of Arts

USE OF BARK IN THE PRODUCTION OF THERMO INSULATING BUILDING MATERIALS (REVIEW)

This article summarizes some of the research results and industrial application prospects related to tree bark. Tree bark is a by-product of forestry and is currently of little use. However, the bark has good physical-mechanical properties and is available in large quantities. The purpose of this study was to analyze the possibility of using the bark as one of the components of thermal insulation materials. The results of the analysis show that thermal insulation materials made from bark can achieve a thermal conductivity coefficient of 0.042–0.065 W/(m·K). Improving the thermal insulation properties of panels can be achieved by changing the qualitative and quantitative composition of the compositions, particle orientation, etc. Reinforcement and heat treatment of the bark further increase the resistance to water absorption and swelling of finished products. The porosity and hydroxyl groups of phenolic compounds capable of binding formaldehyde ensure the environmental friendliness of the use of bark products. In addition, due to the content of natural resins in the bark, thermal insulation panels based on it can be made without the use of binders. The content of Cesium-137 in the bark of trees growing in areas contaminated with radionuclides can be reduced by 10 times by adding lime to the composition in the manufacture of products. The bark of trees has better soundproofing properties than chipboard and MDF, OSB.

Keywords: tree bark, bark properties, bark use, bark analysis, thermal insulation materials.

For citation: Kuzmin V., Radkevich L., Pászory Z., Bazhelka I., Fedosenko I., Dubovskaya L., Kanavalava A., Mialeshka V. Use of bark in the production of thermo insulating building materials (review). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 1 (264), pp. 177–186. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-19 (In Russian).

Введение. Мировое годовое производство круглого леса по данным FAO Statistics в среднем за 2014–2018 годы оценивается в 3,9 млрд м³. Доля белорусского леса в этом объеме составляет менее 1%. Тем не менее если в среднем кора составляет около 10% от производимого круглого леса, то для нашей страны объемы отходов коры могут достигать до 2 млн м³/год.

Кора является отходом лесопереработки и образуется в процессе окорки – операции, которая осуществляется на всех типах лесопромышленных складов [1]. Сегодня в Беларуси те производства, у которых нет возможности перерабатывать отходы, вывозят кору в отвалы. Из обременительного отхода кора может стать экономически выгодным ресурсом благодаря содержанию в ней особых химических компонентов, уникальной структуры и физико-механических характеристик.

Согласно программе развития деревообрабатывающего и мебельного производства концерна «Беллесбумпром» на период до 2025 года, одним из стратегических направлений развития отрасли является повышение эффективности использования всей массы заготовленной древесины, включая древесные отходы. В данной статье обобщены результаты исследований по использованию коры в составе теплоизоляционных панелей. Эти результаты можно применить при создании устойчивого, экономически эффективного, деревоперерабатывающего комплекса.

Основная часть. Использование коры в качестве компонента теплоизоляционной плиты все еще находится на начальной стадии разработки. На кафедре ТДП БГТУ проводят лабораторные исследования, устанавливая оптимальный фракционный состав наполнителя и состав компонентов материала, допустимые размеры изделий [2] и т. д. Из литературных источников известно, что для производства теплоизоляционных плит применяются разные виды деревьев. Так, для использования в качестве наполнителя были исследованы свойства коры ели (*Picea abies*), сосны (*Pinus sylvestris*) и лиственницы (*Larix decidua*), собранных в Верхней Австрии и Зальцбурге [3], а также свойства коры криптомерии (*Cryptomeria japonica*) [4]. Определены основные характеристики коры ели черной (*Picea mariana*) и осины (*Populus tremuloides*), собранной в провинции Квебек, Канада [5]. Изучены физико-механические свойства волокон, полу-

ченных из коры эвкалипта (*Eucalyptus globulus*), произрастающего на территории Чили [6]. Исследованы теплофизические и акустические характеристики модифицированной коры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из европейской части России [7].

Теплопроводность является важным параметром, влияющим на оценку использования коры в качестве теплоизоляционных материалов.

Теплоизоляционные свойства коры ели были определены при создании экспериментальной стены из ориентированно-стружечных плит, наполненных частицами коры размером 8–30 мм. Измерения показали, что кора ели обладает относительно низкой теплопроводностью и высокой теплоемкостью, что делает материал пригодным для вдуваемых изоляционных материалов [8].

Данилов В. и Айзенштадт А. в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала исследовали кору сосны обыкновенной, предварительно смешанную с базальтом. Коэффициент теплопроводности такого материала составил 0,0651 Вт/(м·К) [7].

В другом исследовании изучали влияние коэффициента теплопроводности прессованных панелей, изготовленных из хвойных и лиственных деревьев. Щепка коры лиственных пород имела меньшую теплопроводность. Самая низкая была у щепы коры белой акации – 0,0613 Вт/(м·К). Также на измельченной коре белой акации установили, что размер фракций незначительно влияет на коэффициент теплопроводности, например для самой мелкой фракции он составил 0,042 Вт/(м·К) [9].

Проведенные исследования показали, что существенное влияние на теплопроводность оказывает ориентация частиц коры в изделии. Прессованные теплоизоляционные плиты, изготовленные из коры лиственницы, сканировали при помощи промышленного рентгеновского компьютерного томографа. Было обнаружено, что панели с горизонтально ориентированными частицами имеют на 13% более низкую теплопроводность (статистически высоко значимая), чем панели с вертикально ориентированными частицами [10].

В работе [4] были определены теплоизоляционные свойства плит с наполнителем из коры криптомерии. Коэффициенты теплопроводности образцов крупной и мелкой фракций

составили 0,073 и 0,076 Вт/(м·К) соответственно. Для сравнения использовалась изоляционная плита из экструдированного полистирола STYROFOAM, теплопроводность которой составила 0,045 Вт/(м·К).

Физико-механические свойства. Волокон в коре гораздо меньше, чем в древесине, что влияет на прочность готовых изделий. Было изучено влияние вида, размера и содержания волокон в композитах, включающих кору осины, ели и полиэтилен высокой плотности, на показатели изгиба и растяжения образцов теплоизоляционных панелей. Несмотря на то, что показатели большинства исследованных механических свойств для полимерно-корьевого композита были ниже, чем для контрольного древесно-полимерного, все-таки некоторые из них, такие как прочность на растяжение и деформация при разрушении, были постоянно выше для композитов с корой по сравнению с композитами с древесиной [5].

Исследованы механические свойства изоляционных плит из частиц коры лиственницы (*Larix decidua* Mill.) [11], скрепленных таниновой смолой. Было установлено, что для выполнения требований соответствующего стандарта необходимо уплотнение наполнителя более 400 кг/м³.

При исследовании влияния ориентации частиц в композитах для изоляционных панелей на модуль разрыва и упругости установлено, что горизонтальная или вертикальная укладка частиц в панелях не оказывает на них существенного влияния [12].

С целью улучшения механических свойств изоляционных плит применяли термическую модификацию частиц коры и армирование, т. е. покрытие поверхности панелей, например, стекловолокном или бумагой.

Термическая модификация. Известно, что при термообработке улучшаются размерная стабильность и устойчивость к дереворазрушающим организмам, но снижаются некоторые прочностные свойства образцов [13]. На результаты, достигаемые во время термической обработки, влияют несколько переменных: порода деревьев, конструкция установки для термической модификации, продолжительность и температура обработки, варианты среды (окислительная, нейтральная или их смесь) [14–17].

В изоляционных панелях из коры, частицы которой предварительно термически обрабатывали в течение нескольких часов при температуре 180°C, модуль упругости и модуль разрыва увеличились на 100%, внутренняя связь на 27%, водопоглощение и набухание на 54 и 69% соответственно [18].

Армирование применяли для повышения прочности и жесткости средних слоев изоляционных плит на основе коры деревьев. Так, покрытие стекловолокном плит повлияло на физические свойства: относительную влажность, водопоглощение, разбухание [19]. Лучшие результаты механических свойств изоляционных плит, содержащих кору, были получены при комбинации коры, древесины (50%) и смолы [20].

Плотность. Известно, что плотность оказывает существенное положительное влияние на механические характеристики древесных плит, поскольку общепризнано, что чем выше плотность, тем выше механические свойства [11, 20]. Изоляционные плиты на основе коры толщиной 20 мм были изготовлены в соответствии с определенным начальным весом и заданной плотностью. При горячем прессовании плиты с заданной плотностью 350 кг/м³ имели среднее значение плотности 387,57 кг/м³, что почти на 11% было выше ожидаемого. Как и предполагалось, значения теплопроводности, а также свойства статического изгиба и внутреннего склеивания экспериментальных панелей были значительно увеличены за счет повышения плотности коры с 250 до 350 кг/м³. Плиты со средним значением плотности 250, 300 и 350 кг/м³ имели теплопроводность 0,059, 0,063 и 0,079 Вт/(м·К) соответственно [21].

Звукоизоляция. Исследование звукоизолирующей способности плиты, содержащей кору ели (с крупнозернистыми и мелкозернистыми частицами), показало, что она поглощает звук лучше, чем МДФ, ДСП или ОСП [22].

Экологичность. За счет ОН-групп фенольных соединений, содержащихся в составе коры деревьев, она может использоваться как поглотитель, например, формальдегида, при возможном загрязнении воздуха внутри помещений летучими органическими соединениями [23, 24]. Проведено всего несколько исследований, посвященных адсорбции формальдегида НСНО самой корой [25, 26]. Также было показано, что кора деревьев может быть использована в качестве биоиндикатора [27–29].

Кора различных пород деревьев эффективно используется для обнаружения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [30]. Для эффективного извлечения таких веществ путем адсорбции хорошо подходит кора тополя [31]. Благодаря своей уникальной структуре, пористой природе и высокому содержанию дубильных веществ кора может быть перспективным адсорбирующим материалом. В основном реакционную способность проявляют суберин и конденсированные танины, являющиеся важными составляющими коры дерева, однако

присутствующие в коре другие компоненты субстрата (в разных пропорциях), такие как воски, терпены, флавоноиды, алкалоиды и т. д., проявляют некоторую сорбционную активность [32–36]. Танин в коре, имеющий различные типы флаван-3-оловых звеньев [37, 38], может реагировать с парами формальдегида [39, 40]. Кору тополя можно использовать в качестве поглотителя избытка формальдегида, когда она находится в составе плит, склеенных формальдегидными клеями. Проведены исследования, где было показано, что кора тополя *Pannónia* (*Populus Eurametricana*) способна адсорбировать до 0,9 мг формальдегида на 1 г коры, при этом выбросы формальдегида составили 0,0036 мг/г, что значительно ниже, чем максимально возможное количество адсорбированного корой формальдегида [41]. В панелях, изготовленных из древесной стружки акации, добавление коры мимозы привело к снижению выделения панелями формальдегида [42]. Эксперимент показал, что присутствие коры в композите снижает выделение формальдегида в древесностружечных плитах, изготовленных из смеси коры ели (*Picea abies*) и сосны (*Pinus* sp.) с использованием карбамидоформальдегидной или меламиноформальдегидной смолы в основе клея [43].

Проведен ряд исследований, где в качестве связующего выступали естественные смолы коры деревьев. Более высокое содержание экстрактивных веществ в коре может способствовать связыванию частиц наполнителя вместе при прессовании коры под действием тепла [44]. Так, древесностружечные плиты были изготовлены из коры сосны без использования синтетических смол путем прессования при температуре до 230°C. Увеличение температуры прессования позволило повысить механические, физические и гигроскопические свойства изоляционных плит без введения связующих компонентов [45].

Обратной стороной экологичности использования коры деревьев, произрастающих на территории Республики Беларусь, может быть повышенное содержание радиоактивного нуклида цезия-137 ($Cs-137$), накапливающегося преимущественно в коре и верхних слоях древесины [46]. Департамент по ликвидации последствий катастрофы на чернобыльской АЭС сообщает, что зона радиоактивного загрязнения Беларуси на 2020 год составляла 16,3% общей площади страны. В контексте рассмотрения коры как экологичного вторичного ресурса это означает, что необходимо уделить внимание контролю и снижению $Cs-137$ в коре той древесины, которая произрастает в гомельской и могилевской областях. Снизить содержание $Cs-137$ в 10 раз в

плитах и панелях удалось при введении гипсового связующего с добавлением извести как редуцирующего агента [47]. Известно о нейтрализации радиоактивных изотопов в пищевой продукции способом вываривания [48–50]. Этот процесс можно использовать и при обработке коры деревьев, однако воду после такой варки необходимо будет удалять специальным образом, что становится нерентабельным.

Использование коры в конструкционных теплоизоляционных панелях позволит сохранить нейтральный баланс CO_2 в природе. Чтобы образовался 1 кг древесины, должно израсходоваться примерно 1,85 кг CO_2 , который непосредственно включается в состав биополимеров, составляющих клеточные стенки лигноволокна [51].

Кора как вторичный ресурс может быть использована и в других направлениях народного хозяйства, например в сельском хозяйстве, пробковом производстве, в очистке воды и газа, в производстве пластмасс и наполнителей, как биотопливо [52–53], однако ни одна сфера не позволяет использовать ее лучшие свойства так эффективно, как строительство.

Заключение. Кора деревьев является перспективным крупнотоннажным сырьем, сегодня мало используемым в промышленности. Анализ рассмотренных источников о возможностях применения коры в качестве теплоизоляционного строительного материала показал, что отдельным исследователям удалось использовать изоляционные свойства коры различных пород деревьев при изготовлении панелей для теплоизоляции зданий. Установлено, что теплопроводность таких панелей, полученных в лабораторных условиях, как правило, менее 0,06 Вт/(м·К). Физико-механические свойства будущего изоляционного материала можно корректировать под конкретные требования использования продукции. Температура обработки коры выше 200°C приводит к некоторым потерям в теплопроводности конечного материала, однако при этом остальные физические параметры будут более выгодными. Адсорбционные свойства коры деревьев определяют ее способность поглощать и связывать формальдегид как в твердых продуктах, так и при его наличии в атмосферном воздухе, а модификация состава композита известью позволяет снизить содержание $Cs-137$ в 10 раз в плитах и панелях.

Результаты показывают высокий потенциал применения коры деревьев, изделия из которой могут быть конкурентоспособными на рынке в качестве теплоизоляционного материала. Лабораторные испытания показывают возможность дальнейшего исследования для более широкого изучения свойств и особенностей использования коры деревьев.

Список литературы

1. Цывин М. М. Использование древесной коры. М.: Лесная пром-сть, 1973. 96 с.
2. Федосенко И. Г. Использование коры деревьев в производстве конструкционно-теплоизоляционных плит // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы докл. 84-й науч.-техн. конф., Минск, 3–14 февр. 2020 г. Минск, 2020. С. 78–79.
3. Tree bark insulation panels for special purpose insulation: Evaluation and discrete modeling of structure property relationships / G. Kain [et al.] // World Conference on Timber Engineering, Vienna, August 22–25, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/311807447_Tree_bark_insulation_panels_for_special_purpose_insulation_Evaluation_and_discrete_modeling_of_structure_property_relationships (дата обращения: 10.10.2022).
4. Sato Y., Konishi T., Takahashi A. Development of insulation material using natural tree bark // Transactions of the Materials Research Society of Japan. 2004. Vol. 29, no. 5. P. 1937–1940. URL: https://www.mrs-j.org/pub/tmrj/vol29_no5/vol29_no5_1937.pdf (дата обращения: 10.10.2022).
5. Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites / M. C. Ngucho Yemele [et al.] // Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. 2010. Vol. 41, issue 1. P. 131–137. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.06.005.
6. New Biobased composite material using bark fibres Eucalyptus / C. Fuentealba [et al.] // Biocomp 2016: 13th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium, Concepción, Chile, November 13–15, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/314240089_New_Biobased_composite_material_using_bark_fibres_Eucalyptus (дата обращения: 10.10.2022).
7. Данилов В. Е., Айзенштадт А. М. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции // Лесной журнал. 2019. Вып. 2. С. 111. DOI: 10.37482/0536-1036-2019-2-111.
8. Bark as Heat Insulation Material / G. Kain [et al.] // Bioresources. 2013. Vol. 8, issue 3. P. 3718–3731. DOI: 10.15376/biores.8.3.3718-3731.
9. Investigation of thermal insulation capacity of tree bark / Z. Pásztor [et al.] // Forestry engineering journal. 2017. Vol. 7, no. 1. P. 157–161. DOI: 10.12737/25206.
10. Evaluation of relationships between particle orientation and thermal conductivity in bark insulation board by means of CT and discrete modeling / G. Kain [et al.] // Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation. 2016. Vol. 6, part B. P. 21–29. DOI: 10.1016/j.csn.2016.03.002.
11. Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin / G. Kain [et al.] // European Journal of Wood and Wood Products. 2014. Vol. 72, issue 4. P. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4.
12. Larch (*Larix decidua*) bark insulation board: interactions of particle orientation, physical–mechanical and thermal properties / G. Kain [et al.] // European Journal of Wood and Wood Products. 2018. Vol. 76, issue 2. DOI: 10.1007/s00107-017-1271-y.
13. Rowell R. M., Youngs R. L. Dimensional Stabilization of Wood In Use // Forest Service US. Department of Agriculture Forest Service, 1981. DOI: 10.2737/FPL-RN-243.
14. Rapp A. O. Review on heat treatments of wood // Proceedings of Special Seminar, Antibes, France, February 9, 2001. URL: https://projects.bre.co.uk/ecotan/pdf/Heat_treatment_processes_Andreas_Rapp%20.pdf (дата обращения: 10.10.2022).
15. Tjeerdsma B. F., Militz H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood // Holz Als Roh- Und Werkstoff. 2005. Vol. 63, issue 2. P. 102–111. DOI: 10.1007/s00107-004-0532-8.
16. Esteves B. M., Pereira H. M. Wood modification by heat treatment: A review // Bioresources. 2009. Vol. 4, issue 1. P. 370–404. DOI: 10.15376/biores.4.1.370-404.
17. Navi P., Sandberg D. Heat Treatment. In: Thermo-hydrromechanical processing of wood // Wood Material Science & Engineering. 2013. Vol. 8, issue 1. P. 64–88. DOI: 10.1080/17480272.2012.751935.
18. Insulation Panels Made from Thermally Modified Bark / Z. Pásztor [et al.] // Acta Silvatica et Lignaria Hungarica. 2019. Vol. 15, no. 1. P. 23–34. DOI: 10.2478/aslh-2019-0002.
19. Thermal insulation panels from tree bark / Z. Pásztor [et al.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 141–149.
20. Blanchet P., Cloutier A., Riedl B. Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues // Wood Science and Technology. 2000. Vol. 34, no 1. P. 11–19. DOI: 10.1007/s002260050003.
21. Pásztor Z., Borsok Z., Tsalagkas D. Density optimization for the manufacturing of bark-based thermal insulation panels // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ho Chi Minh City, Vietnam, February 25–28, 2019. Vol. 307, 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/307/1/012007.

22. Sound-Absorption Coefficient of Bark-Based Insulation Panels / E. M. Tudor [et al.] // *Polymers*. 2020. Vol. 12, no. 5. 1012. DOI: 10.3390/polym12051012.
23. Law and features of TVOC and Formaldehyde pollution in urban indoor air / C. Chi [et al.] // *Atmospheric Environment*. 2016. Vol. 132. P. 85–90. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.02.043.
24. Field investigation on the removal of formaldehyde in indoor air / H. Plaisance [et al.] // *Building and Environment*. 2013. Vol. 70. P. 277–283. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.08.032.
25. Adsorption of formaldehyde on the Bark of *Larix kaempferi* / M. Funaki [et al.] // *Natural Medicines*. 2005. Vol. 58, issue 3. P. 104–108. URL: <https://dl.ndl.go.jp/pid/10760181/1/1> (дата обращения: 10.10.2022).
26. Formaldehyde adsorption by karamatsu (*Larix leptolepis*) bark / T. Takano [et al.] // *Wood Science*. 2008. Vol. 54, no. 4. P. 332–336. DOI: 10.1007/s10086-007-0940-6.
27. The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic / P. Böhm [et al.] // *Environmental Pollution*. 1998. Vol. 102, issues 2-3. P. 243–250. DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00082-7.
28. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study / K. E. Saarela [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2005. Vol. 343, issues 1-3. P. 231–241. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.09.043.
29. The application of tree bark as bio-indicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution / K. L. Mandiwana [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2004. Vol. 137, issue 2. P. 1241–1245. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.015.
30. The utilization of tree bark / Z. Pásztor [et al.] // *Bioresources*. 2016. Vol. 11, issue 3. P. 7859–7888. DOI: 10.15376/biores.11.3.Pasztor.
31. Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions / A. N. Berlizov [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2007. Vol. 372, issues 2-3. P. 693–706. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.10.029.
32. Bianchi S. Extraction and characterization of bark tannins from domestic softwood species. PhD Thesis, University of Hamburg, 2017. URL: <https://d-nb.info/1126115967/34> (дата обращения: 10.10.2022).
33. Hathway D. E. Oak-bark tannins // *Biochemical Journal*. 1958. Vol. 70, issue 2. P. 34–42. DOI: 10.1042/bj0700034.
34. Kurth E. F. The Chemical Composition of Barks // *Chemical Reviews*. 1947. Vol. 40, issue 1. P. 33–49. DOI: 10.1021/cr60125a003.
35. Narasimhachari N., Rudloff E. V. The chemical composition of the wood and bark extractives of *Juniperus Horizontalis* Moench // *Canadian Journal of Chemistry*. 1961. Vol. 39, issue 12. P. 2572–2581. DOI: 10.1139/v61-339.
36. Condensed tannin reactivity inhibition by internal rearrangements: Detection by CP-MAS ¹³C NMR / P. Navarrete [et al.] // *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 2011. Vol. 13, no. 1. P. 59–68. DOI: 10.4067/S0718-221X2011000100006.
37. Porter L. J. Structure and Chemical Properties of the Condensed Tannins // *Plant Polyphenols*. 1992. Vol. 59. P. 245–258. DOI: 10.1007/978-1-4615-3476-1_14.
38. Schofield P., Mbugua D., Pell A. Analysis of condensed tannins: a review // *Animal Feed Science and Technology*. 2001. Vol. 91, issues 1-2. P. 21–40. DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00228-0.
39. Pizzi A. Tannin-based adhesives: new theoretical aspects // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 1980. Vol. 1, issue 1. P. 13–16. DOI: 10.1016/0143-7496(80)90028-7.
40. Pizzi A. Natural Phenolic Adhesives I. Handbook of Adhesive Technology, 2nd Edition. New York: Marcel Dekker, 2003. DOI: 10.1201/9780203912225.ch27.
41. Pásztor Z., Halasz K., Borcsok Z. Formaldehyde Adsorption–Desorption of Poplar Bark // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019. Vol. 103, issue 5. P. 745–749. DOI: 10.1007/s00128-019-02718-7.
42. Nemli G., Gursel C. Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2005. Vol. 29, no. 3. P. 227–230. URL: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol29/iss3/10> (дата обращения: 10.10.2022).
43. Efficiency of bark for reduction of formaldehyde emission from particleboards / S. Medved [et al.] // *Wood research*. 2019. Vol. 64, no. 2. P. 307–315. URL: <http://www.woodresearch.sk/wr/201902/12.pdf> (дата обращения: 10.10.2022).
44. Harkin J. M., Rowe J. W. Bark and its possible uses // Forest Service US. Department of Agriculture Forest Service. 1971. Research note FPL, 091. P. 56. URL: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/5760> (дата обращения: 10.10.2022).
45. Gupta G., Yan N., Feng M. Effects of Pressing Temperature and Particle Size on Bark Board Properties Made from Beetle-Infested Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) Barks // *Forest Products Journal*. 2011. Vol. 61, issue 6. P. 478–488. DOI: 10.13073/0015-7473-61.6.478.

46. Радиоактивное загрязнение древесины Чернобыльской зоны / И. В. Турлай [и др.] // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2001. № 2. С. 25–28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radioaktivnoe-zagryaznenie-drevesiny-chernobylskoj-zony> (дата обращения: 13.10.2022).

47. Федосенко И. Г. Применение коры деревьев в производстве изолирующих и конструкционных плит // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2 (234). С. 239–243.

48. Steinhäuser G., Steinhäuser V. A. Simple and Rapid Method for Reducing Radiocesium Concentrations in Wild Mushrooms (*Cantharellus* and *Boletus*) in the Course of Cooking // Journal of Food Protection. 2016. Vol. 79, issue 11. P. 1995–1999. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-16-236.

49. Elution of Radioactive Cesium from Tofu by Water Soaking / M. Yoshida [et al.] // Food Safety. 2020. Vol. 8, issue 3. P. 55–58. DOI: 10.14252/foodsafetyfscj.D-20-00011.

50. Варфоломеева К. В. Варка сушеных грибов как эффективное средство снижения концентрации ^{137}Cs // Радиационная гигиена. 2019. № 12 (4). С. 82–88. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-82-88.

51. Zimmer B., Wegener, G. Stoff-und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk // Holz als Roh-und Werkstoff. 1996. No. 54. P. 217–223. DOI: 10.1007/s001070050171.

52. Состояние и перспективы использования древесной коры / З. Пастори [и др.] // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2020. № 5. С. 74–88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-drevesnoy-kory> (дата обращения: 16.10.2022).

53. Gil L. Cork Composites: A Review // Materials. 2009. Vol. 2, issue 3. P. 776–789. DOI: 10.3390/ma2030776.

References

1. Tsyvin M. M. *Ispol'sovaniye drevesnoy kory* [The use of wood bark]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 96 p. (In Russian).

2. Fedosenko I. G. The use of tree bark in the production of structural and heat-insulating plates. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forest engineering, materials science and design: materials of reports of the 84th scientific and technical conference]. Minsk, 2020, pp. 78–79 (In Russian).

3. Kain G., Lienbacher B., Barbu M. C., Plank B., Richter K., Petutschnigg A. Tree bark insulation panels for special purpose insulation: Evaluation and discrete modeling of structure property relationships. *World Conference on Timber Engineering*, 2016. Available at: https://www.researchgate.net/publication/311807447_Tree_bark_insulation_panels_for_special_purpose_insulation_Evaluation_and_discrete_modeling_of_structure_property_relationships (accessed 10.10.2022).

4. Sato Y., Konishi T., Takahashi A. Development of insulation material using natural tree bark. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 2004, vol. 29, no. 5, pp. 1937–1940. Available at: https://www.mrs-j.org/pub/tmrj/vol29_no5/vol29_no5_1937.pdf (accessed 10.10.2022).

5. Ngueho Yemele M. C., Koubaa A., Cloutier A., Soulounganga P., Wolcott M. Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites. *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2010, vol. 41, issue 1, pp. 131–137. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.06.005.

6. Fuentealba C., Montory J., Vega J., Norambuena-Contreras J. New Biobased composite material using bark fibres Eucalyptus. *Biocomp 2016: 13th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/314240089_New_Biobased_composite_material_using_bark_fibres_Eucalyptus (accessed 10.10.2022).

7. Danilov V. E., Aizenshtadt A. M. The use of modified wood bark of Scots pine as backfill heat and sound insulation. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2019, vol. 2, p. 111. DOI: 10.37482/0536-1036-2019-2-111 (In Russian).

8. Kain G., Barbu M. C., Hinterreiter S., Richter K., Petutschnigg A. Bark as Heat Insulation Material. *Bioresources*, 2013, vol. 8, issue 3, pp. 3718–3731. DOI:10.15376/biores.8.3.3718-3731.

9. Pasztory Z., Mohachine I., Gorbacheva G., Sanaev V. Investigation of thermal insulation capacity of tree bark. *Forestry engineering journal*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 157–161. DOI: 10.12737/25206.

10. Kain G., Lienbacher B., Barbu M. C., Plank B., Richter K., Petutschnigg A. Evaluation of relationships between particle orientation and thermal conductivity in bark insulation board by means of CT and discrete modeling. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, 2016, vol. 6, part B, pp. 21–29. DOI: 10.1016/j.csndt.2016.03.002.

11. Kain G., Güttler V., Barbu M. C., Petutschnigg A., Richter K., Gianluca T. Density related properties of bark insulation boards bonded with tannin hexamine resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2014, vol. 72, issue 4, pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4.

12. Kain G., Lienbacher B., Barbu M. C., Richter K., Petutschnigg A. Larch (*Larix decidua*) bark insulation board: interactions of particle orientation, physical-mechanical and thermal properties. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2018, vol. 76, issue 2. DOI: 10.1007/s00107-017-1271-y.
13. Rowell R. M., Youngs R. L. Dimensional Stabilization of Wood In Use. *Forest Service US. Department of Agriculture Forest Service*, 1981. DOI: 10.2737/FPL-RN-243.
14. Rapp A. O. Review on heat treatments of wood. *Proceedings of Special Seminar*, 2001. Available at: https://projects.bre.co.uk/ecotan/pdf/Heat_treatment_processes_Andreas_Rapp%20.pdf (accessed 10.10.2022).
15. Tjeerdsma B. F., Militz H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 2005, vol. 63, issue 2, pp. 102–111. DOI: 10.1007/s00107-004-0532-8.
16. Esteves B. M., Pereira H. M. Wood modification by heat treatment: A review. *Bioresources*, 2009, vol. 4, issue 1, pp. 370–404. DOI: 10.15376/biores.4.1.370-404.
17. Navi P., Sandberg D. Heat Treatment. In: Thermo-hydronechanical processing of wood. *Wood Material Science & Engineering*, 2013, vol. 8, issue 1, pp. 64–88. DOI: 10.1080/17480272.2012.751935.
18. Pasztory Z., Tsalagkas D., Horvath N., Borcsok Z. Insulation Panels Made from Thermally Modified Bark. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 2019, vol. 15, no. 1, pp. 23–34. DOI: 10.2478/aslh-2019-0002.
19. Pasztory Z., Borcsok Z., Bazhelka I. K., Kanavalava A. A., Meleshko O. V. Thermal insulation panels from tree bark. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1, pp. 141–149.
20. Blanchet P., Cloutier A., Riedl B. Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. *Wood Science and Technology*, 2000, vol. 34, no. 1, pp. 11–19. DOI: 10.1007/s002260050003.
21. Pásztor Z., Borcsok Z., Tsalagkas D. Density optimization for the manufacturing of bark-based thermal insulation panels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/307/1/012007.
22. Tudor E. M., Dettendorfer A., Kain G., Barbu M. C., Reh R., Kristak L. Sound-Absorption Coefficient of Bark-Based Insulation Panels. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 5, 1012. DOI: 10.3390/polym12051012.
23. Chi C., Chen W., Guo M., Weng M., Yan G., Shen X. Law and features of TVOC and Formaldehyde pollution in urban indoor air. *Atmospheric Environment*, 2016, vol. 132, pp. 85–90. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.02.043.
24. Plaisance H., Blondel A., Desauziers V., Mocho P. Field investigation on the removal of formaldehyde in indoor air. *Building and Environment*, 2013, vol. 70, pp. 277–283. DOI: 10.1016/j.buildenv.2013.08.032.
25. Funaki M., Fukuta H., Nishizawa M., Yamagishi T. Adsorption of formaldehyde on the Bark of *Larix kaempferi*. *Natural Medicines*, 2005, vol. 58, pp. 104–108. Available at: https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10760181_po_ART0009809557.pdf?contentNo=1&alternativ eNo= (accessed 10.10.2022).
26. Takano T., Murakami T., Kamitakahara H., Nakatsubo F. Formaldehyde adsorption by karamatsu (*Larix leptolepis*) bark. *Wood Science*, 2008, vol. 54, no. 4, pp. 332–336. DOI: 10.1007/s10086-007-0940-6.
27. Bohm P., Wolterbeek H., Verburg T., Musilek L. The use of tree bark for environmental pollution monitoring in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, 1998, vol. 102, issues 2-3, pp. 243–250. DOI: 10.1016/S0269-7491(98)00082-7.
28. Saarela K.-E., Harju L., Rajander J., Lill J.-O., Heselius S.-J., Lindroos A. Elemental analyses of pine bark and wood in an environmental study. *Science of The Total Environment*, 2005, vol. 343, issues 1-3, pp. 231–241. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.09.043.
29. Mandiwana K. L., Resane T., Panichev N., Ngobeni P. The application of tree bark as bio-indicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, vol. 137, issue 2, pp. 1241–1245. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.04.015.
30. Pasztory Z., Mohacsine I., Gorbacheva G., Borcsok Z. The utilization of tree bark. *Bioresources*, 2016, vol. 11, issue 3, pp. 7859–7888. DOI: 10.15376/biores.11.3.Pasztory.
31. Berlizov A. N., Blum O. B., Filby R. H., Malyuk I. A., Tryshyn V. V. Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *Science of The Total Environment*, 2007, vol. 372, issues 2-3, pp. 693–706. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.10.029.
32. Bianchi S. Extraction and characterization of bark tannins from domestic softwood species. *PhD Thesis, University of Hamburg*, 2017. Available at: <https://d-nb.info/1126115967/34> (accessed 10.10.2022).
33. Hathway D. E. Oak-bark tannins. *Biochemical Journal*, 1958, vol. 70, issue 2, pp. 34–42. DOI: 10.1042/bj0700034.
34. Kurth E. F. The Chemical Composition of Barks. *Chemical Reviews*, 1947, vol. 40, issue 1, pp. 33–49. DOI: 10.1021/cr60125a003.

35. Narasimhachari N., Rudloff E. V. The Chemical Composition of the wood and bark extractives of *Juniperus Horizontalis* Moench. *Canadian Journal of Chemistry*, 1961, vol. 39, issue 12, pp. 2572–2581. DOI: 10.1139/v61-339.
36. Navarrete P., Pizzi A., Bertaud F., Rigolet S. Condensed tannin reactivity inhibition by internal rearrangements: Detection by CP-MAS ¹³C NMR. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 2011, vol. 13, no. 1, pp. 59–68. DOI: 10.4067/S0718-221X2011000100006.
37. Porter L. J. Structure and Chemical Properties of the Condensed Tannins. *Plant Polyphenols*, 1992, vol. 59, pp. 245–258. DOI: 10.1007/978-1-4615-3476-1_14.
38. Schofield P., Mbugua D., Pell A. Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 2001, vol. 91, issues 1-2, pp. 21–40. DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00228-0.
39. Pizzi A. Tannin-based adhesives: new theoretical aspects. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1980, vol. 1, issue 1, pp. 13–16. DOI: 10.1016/0143-7496(80)90028-7.
40. Pizzi A. Natural Phenolic Adhesives I. Handbook of Adhesive Technology. 2nd Edition. New York, Marcel Dekker, 2003. DOI: 10.1201/9780203912225.ch27.
41. Pásztor Z., Halász K., Börcsök Z. Formaldehyde Adsorption–Desorption of Poplar Bark. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2019, vol. 103, issue 5, pp. 745–749. DOI: 10.1007/s00128-019-02718-7.
42. Nemli G., Gursel C. Effects of Mimosa Bark Usage on Some Properties of Particleboard. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2005, vol. 29, no. 3, pp. 227–230. Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol29/iss3/10> (accessed 10.10.2022).
43. Medved S., Gajsek U., Tudor E. M., Barbu M. C. Efficiency of bark for reduction of formaldehyde emission from particleboards. *Wood research*, 2019, vol. 64, no. 2, pp. 307–315. Available at: <http://www.woodresearch.sk/wr/201902/12.pdf> (accessed 10.10.2022).
44. Harkin J. M., Rowe J. W. Bark and its possible uses. *Forest Service US. Department of Agriculture Forest Service*, 1971. Research note FPL, 091, 56 p. Available at: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/5760> (accessed 10.10.2022).
45. Gupta G., Yan N., Feng M. Effects of Pressing Temperature and Particle Size on Bark Board Properties Made from Beetle-Infested Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) Barks. *Forest Products Journal*, 2011, vol. 61, issue 6, pp. 478–488. DOI: 10.13073/0015-7473-61.6.478.
46. Turly I. V., Chernushevich G. A., Peretrukhin V. V., Tereshko V. V. Radioactive contamination of wood in the Chernobyl zone. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal* [University news. Forest journal], 2001, no. 2, pp. 25–28. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/radioaktivnoe-zagryaznenie-drevesiny-chernobylskoy-zony> (accessed 13.10.2022) (In Russian).
47. Fedosenko I. G. Application of tree bark in the production of insulating and structural plates. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2020, no. 2, pp. 239–243 (In Russian).
48. Steinhauser G., Steinhauser V. A Simple and Rapid Method for Reducing Radiocesium Concentrations in Wild Mushrooms (*Cantharellus* and *Boletus*) in the Course of Cooking. *Journal of Food Protection*, 2016, vol. 79, issue 11, pp. 1995–1999. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-16-236.
49. Yoshida M., Kaino H., Shidara S., Chiku K., Hachinohi M., Hamamatsu S. Elution of Radioactive Cesium from Tofu by Water Soaking. *Food Safety*, 2020, vol. 8, issue 3, pp. 55–58. DOI: 10.14252/foodsafetyfscj.D-20-00011.
50. Varfolomeeva K. V. Boiling dried mushrooms as an effective means of reducing the concentration of ¹³⁷Cs. *Radiatsionnaya gigiyena* [Radiation hygiene], 2019, no. 12 (4), pp. 82–88. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-82-88 (In Russian).
51. Zimmer B., Wegener G. Stoff-und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 1996, no. 54, pp. 217–223. DOI: 10.1007/s001070050171.
52. Pastory Z., Gorbacheva G. A., Sanaev V. G., Mohacine I. R., Borchok Z. Status and prospects for the use of tree bark. *Vestnik MGUL. Lesnoy vestnik* [Bulletin of MSFU], 2020, no. 5, pp. 74–88. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-drevesnoy-kory> (accessed 16.10.2022) (In Russian).
53. Gil L. Cork Composites: A Review. *Materials*, 2009, vol. 2, issue 3, pp. 776–789. DOI: 10.3390/ma2030776.

Информация об авторах

Кузьмин Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: kuzminva@tut.by

Радкевич Людмила Вячеславовна – научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: l.radkevich.69@gmail.com

Пастори Золтан – доктор наук, профессор, заместитель декана факультета деревообработки и креативных производств. Университет Шопрона (9400, г. Шопрон, ул. Байчи-Жилински, 4, Венгрия). E-mail: pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Божелко Игорь Константинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры технологий деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

Федосенко Иван Гаврилович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова 13а, Республика Беларусь). E-mail: ivan.fedosenko@mail.ru

Дубовская Людмила Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры интерьера и оборудования. Белорусская государственная академия искусств (220012, г. Минск, пр-т Независимости, 81а, Республика Беларусь). E-mail: luda.dubovskaya@tut.by

Коновалова Анастасия Александровна – аспирант кафедры технологий деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Мелешко Ольга Викторовна – аспирант кафедры технологий деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: volhamialeshka@outlook.com

Information about the authors

Kuzmin Vladimir – PhD (Engineering), Leading researcher, the Rheophysics and Macrokinetics Laboratory. A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus (15, Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kuzminva@tut.by

Radkevich Luidmila – Researcher, the Rheophysics and Macrokinetics Laboratory. A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus (15, Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: l.radkevich.69@gmail.com

Pásztory Zoltán – Doctor of Sciences, Professor, Vice dean of Faculty of Wood Engineering and Creative Industries. University of Sopron (Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4, 9400, Hungary). Email: pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Bazhelka Ihar – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Fedosenko Ivan – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ivan.fedosenko@mail.ru

Dubovskaya Lyudmila – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Interior and Equipment. Belarusian State Academy of Arts (81a, Nezavisimosti Ave., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: luda.dubovskaya@tut.by

Kanavalava Anastasiya – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Mialeshka Volha – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: volhamialeshka@outlook.com

Поступила 20.10.2022