

УДК 674.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАСЫПНОЙ ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

В.Е. Данилов, аспирант, ст. преподаватель

А.М. Айзенштадт, д-р хим. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.danilov@narfu.ru, a.isenshtadt@narfu.ru

Цель данной работы – изучение теплофизических и акустических характеристик модифицированной коры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для использования в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала. Модификацию коры осуществляли путем механоактивации растительного сырья на планетарной шаровой мельнице, его сушки и последующей обработки водной суспензией, содержащей тонкодисперсные частицы базальта со среднечисленным размером 150 нм. Образцы подвергали гомогенизации и вторичной сушке. Установлено, что для использования в качестве засыпной изоляции оптимальной является фракция коры размером 0,5...1,0 мм. При обработке этой фракции коры суспензией базальта получен материал со следующими характеристиками: насыпная плотность – 313 кг/м³; коэффициент теплопроводности – 0,0651 Вт/(м·К); индекс изоляции воздушного шума – 28,5 дБ. Значения данных параметров сопоставимы с подобными характеристиками широко распространенных изоляционных материалов. Установлено, что при модификации коры происходит значительное увеличение удельной поверхности материала, при этом объем открытого порового пространства уменьшается на 15,5 %. Следовательно, модифицированную древесную кору сосны можно рекомендовать для использования в качестве засыпной теплозвукоизоляции в нежилых промышленных и сельскохозяйственных помещениях.

Финансирование: Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-43-292002.

Для цитирования: Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 111–118. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

Ключевые слова: утилизация кородревесных отходов, механоактивация, модификация растительного сырья, тонкодисперсный базальт, теплопроводность, теплоемкость, индекс изоляции воздушного шума.

Введение

Последние десять лет характеризовались модернизацией и техническим перевооружением большинства крупных лесоперерабатывающих предприятий на территории России в целях более глубокой переработки древесины и сокращения количества накапливающихся кородревесных отходов [9, 11]. Несмотря на многообразие перспективных способов утилизации данных отходов [1, 2, 4, 12–16] их главным образом сжигают в котлах теплоэлектростанций, используя дорогое импортное оборудование для выработки электро- и тепловой энергии на собственные нужды предприятий, либо после этапа механообработки из них получают топливные гранулы (пеллеты) [7, 10].

Причинами такого комплексного использования лесных продуктов стали: выросшая цена на древесину, поправки в лесном законодательстве и регулирование выбросов в атмосферу [5, 6]. Однако мелкие и средние лесоперерабатывающие предприятия по-прежнему неэффективно сжигают кору, складывают ее в отвалах на территории предприятий или вывозят на свалку [3, 8].

Решением данной проблемы может стать проведение «армирования» минеральными компонентами кородревесных отходов с последующим их использованием в качестве засыпной теплоизоляции в нежилых промышленных и сельскохозяйственных помещениях. За счет увеличения удельной поверхности и частичного заполнения порового пространства древесной коры агломератами, образованными из частиц базальта, улучшаются пожарнотехнические, акустические и теплотехнические характеристики композитов на ее основе, а ее водопоглощение и гигроскопичность снижаются. Однако относительно использования модифицированной коры в качестве засыпной теплоизоляции подобных исследований не проводилось.

Цель данной работы – изучение теплофизических и акустических характеристик модифицированной древесной коры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для использования в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала.

Объекты и методы исследования

В качестве исследуемого материала выбрана кора сосны, отобранная из отвалов производственного участка 2 лесозавода № 25 (г. Архангельск, мкр. Цигломень).

Кора была предварительно высушена до постоянной массы, измельчена на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 и просеяна через набор сит. Для дальнейшего исследования использованы фракции коры размером 10...20; 5...10; 2...5; 1...2; 0,5...1,0; 0,25...0,50 мм. Перед испытанием данные фракции были дополнительно высушены в сушильном шкафу Binder FD53 при температуре 60 °С до среднего содержания влаги 8 %. Контроль влажности образцов осуществляли на анализаторе влажности MS-70.

Для приготовления модифицирующей минеральной суспензии выбран отсев базальта месторождения Мяндуха (Архангельская область). Базальт диспергирован на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 до среднего размера частиц порядка 150 нм. Размеры минеральных частиц определяли на анализаторе Delsa Nano методом измерения динамического светорассеяния.

Модификацию коры минеральным компонентом осуществляли следующим образом: частицы коры и наночастицы базальта смешивали в сухом виде, затем к ним добавляли воду. В результате поглощения воды кора разбухла, объем ее поровой структуры увеличивался, самопроизвольно заполняясь суспензией базальта. После насыщения поровой структуры суспензией базальта древесную кору сушили до постоянной влажности в сушильном шкафу Binder FD53 при температуре 105 °С. В результате высокотемпературной сушки происходило резкое уменьшение объема поровой структуры коры, что способствовало закреплению наночастиц базальта в поровой поверхности и на поверхности материала.

Коэффициент теплопроводности фракций коры сосны определяли на приборе МИТ-1 зондовым методом (ГОСТ 30256–94); индекс изоляции воздушного шума фракций коры (слой толщиной 10 см) – с использованием устройства для измерения времени реверберации и коэффициента звукопоглощения строительных и отделочных материалов (Пат. РФ № 162316) по СП 23-103–2003 «Проектирование звукоизоляции ограждений конструкций жилых и общественных зданий»; истинную плотность коры – пикнометрическим методом. Образцы модифицированной коры исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа SIGMA VP («Carl Zeiss»); удельную поверхность и пористость коры определяли на анализаторе Autosorb iQ методом сорбции азота.

Результаты исследования и их обсуждение

Функциональные характеристики (насыпная плотность, коэффициент теплопроводности, индекс изоляции) коры сосны разных фракций в насыпном состоянии приведены в табл. 1.

Таблица 1

Функциональные характеристики насыпной коры сосны

Фракция коры, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Индекс изоляции воздушного шума, дБ
10...20	223,4	0,0474	15,0
5...10	238,1	0,0536	17,8
2...5	246,5	0,0546	18,6
1...2	254,2	0,0560	19,9
0,5...1,0	185,3	0,0547	24,6
0,25...0,50	192,6	0,0581	25,8

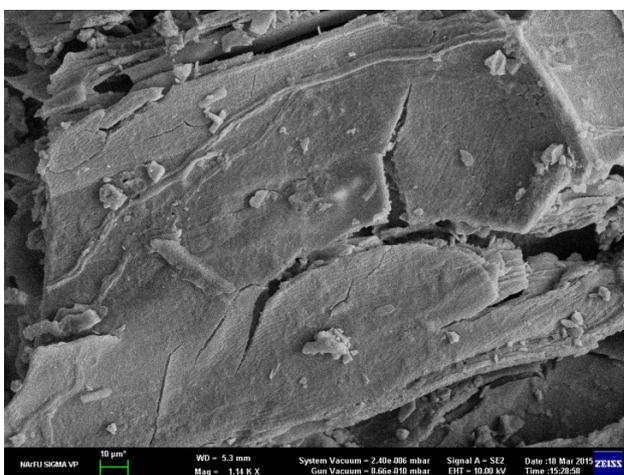
Данные табл. 1 показывают, что кора в насыпном состоянии независимо от размера фракции имеет низкий коэффициент теплопроводности и относительно высокий индекс изоляции воздушного шума, однако по совокупности показателей наилучшие результаты у фракции 0,5...1,0 мм. Наименьшее значение насыпной плотности таких частиц может объясняться разнонаправленностью (хаотичностью) расположения преобладающих в данной фракции чешуек коры вытянутой формы, которые образуют объемную изотропную структуру. Дальнейшее уменьшение размера фракции коры приводит к уплотнению упаковки за счет сокращения количества частиц продолговатой формы и разрушения поровой структуры отдельных чешуек. Данные факты вызывают резкое увеличение теплопроводности и практически не влияют на величину индекса изоляции воздушного шума. Поэтому для дальнейшего исследования была выбрана фракция коры 0,5...1,0 мм.

Истинная плотность древесной коры до и после ее модификации составляла соответственно 1150 и 1370 кг/м³. Полученные результаты (увеличение истинной плотности на 19 %) свидетельствуют о высокой эффективности пропитки коры минеральной суспензией на основе высокодисперсного базальта. Для визуальной оценки эффективности процесса модификации были сделаны фотографии коры сосны до и после обработки (рис. 1).

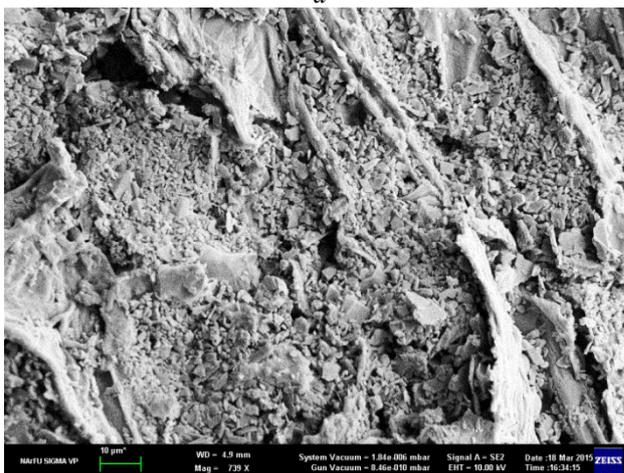


Рис. 1. Кора сосны обыкновенной: *a* – до модификации; *б* – после модификации
Fig. 1. Scots pine bark: *a* – before modification; *б* – after modification

Дополнительно были сняты электронные фотографии поверхности исходных (до модификации) и опытных (после модификации) образцов (рис. 2).



a



б

Рис. 2. Поверхность частицы коры сосны обыкновенной: *a* – до модификации; *б* – после модификации

Fig. 2. Particle surface of Scots pine bark:
a – before modification; *б* – after modification

Анализ рис. 1 и 2 показал, что частицы коры после модификации имеют сероватый оттенок, связанный с наличием базальтового покрытия на их поверхности. Размер частиц базальта в образцах – от 100 нм до 15 мкм (крупные агломераты). Распределение минерального модификатора на поверхности и в объемной фазе коры неравномерное, преобладающее количество базальта находится в дефектах структуры материала, которые вызваны механоактивацией сырья.

Результаты определения функциональных характеристик модифицированной коры сосны (фракция размером 0,5...1,0 мм) в насыпном состоянии: плотность $\rho_{\text{нас}} = 313 \text{ кг/м}^3$; коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,0651 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; индекс изоляции воздушного шума $R_w = 28,5 \text{ дБ}$. Увеличение $\rho_{\text{нас}}$ и λ модифицированной коры по сравнению с исходной, на наш взгляд, связано с уменьшением порового пространства за счет его заполнения агломератами базальта, повышение R_w – с ростом удельной поверхности и, как следствие, с ростом способности поглощать звуковые колебания. Для подтверждения данной гипотезы были определены удельная поверхность и пористость (общий объем пор) древесной коры до и после ее модификации (табл. 2).

Таблица 2

Сопоставление удельной поверхности и пористости (общего объема пор) коры сосны до и после модификации

Кора	Удельная поверхность, м ² /кг	Пористость, см ³ /г
До модификации	18 887	0,110
После модификации	70 311	0,093

Полученные в ходе эксперимента результаты (удельная поверхность увеличилась в 3,7 раза, пористость уменьшилась на 15,5 %) указывают на наличие корреляции между функциональными и структурными параметрами модифицированной коры. При этом следует ожидать, что заполнение порового пространства древесной коры частицами базальта, приводящее к увеличению содержания закрытых пор и уменьшению открытых, существенно снизит ее гигроскопичность и водопоглощение и, как следствие, приведет к стабилизации теплотехнических характеристик даже в условиях повышенной влажности окружающей среды.

Заключение

1. Установлено, что для применения отходов окорки сосны в качестве насыпной изоляции оптимальной является фракция коры размером 0,5...1,0 мм.

2. Обработка коры данной фракции суспензией базальта позволяет получить материал со следующими функциональными характеристиками: $\rho_{\text{нас}} = 313 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 0,0651 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $R_w = 28,5 \text{ дБ}$, которые сопоставимы со значениями для распространенных изоляционных материалов.

3. Модифицированную древесную кору можно рекомендовать для использования в качестве насыпной теплоизоляции в нежилых промышленных и сельскохозяйственных помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаврилов Т.А., Колесников Г.Н.* Анализ направлений переработки отходов окорки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9-2(20-2). С. 115–118. DOI: 10.12737/16445
2. *Данилов В.Е., Айзенштадт А.М., Махова Т.А.* Конструкционная теплоизоляция на основе отходов деревообрабатывающей и горной промышленности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 97–100.
3. *Девятловская А.Н., Журавлёва Л.Н., Девятловский Н.В.* Утилизация древесной коры деревоперерабатывающих предприятий // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 27. С. 51–54.
4. *Кузнецов Б.Н., Чесноков Н.В., Иванов И.П., Веприкова Е.В., Иванченко Н.М.* Методы получения пористых материалов из лигнина и древесной коры (обзор) // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия. 2015. Т. 2, № 8. С. 232–255. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-2-232-255
5. Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 01.07.2017). Доступ из справ.-правовой системы «Косультант Плюс».
6. *Мелехов В.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г.* Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9-3(20-3). С. 106–110. DOI: 10.12737/16877
7. *Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Пономарева Н.Г., Тюрикова Т.В., Хрусталева М.О.* Математическая модель процесса прессования термомодифицированной древесной коры в пресс-грануляторах барабанного типа // Лесн. журн. 2017. № 2. С. 130–148. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.130
8. *Патякин В.И., Костин И.В., Ильюшенко Д.А.* Некоторые проблемы использования древесной коры в промышленности // Системы. Методы. Технологии. 2011. № (4)12. С. 121–124.
9. *Петухов Р.А.* Инвестиционный потенциал лесного комплекса Республики Карелия // Образование и наука в современных условиях. 2015. № 3. С. 314–315.
10. *Судакова И.Г., Иванченко Н.М., Кузнецов Б.Н.* Получение древесных топливных брикетов с использованием связующих из суберина березовой коры // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 31–34.
11. *Яковлева К.А.* Использование лесных ресурсов в приграничных регионах: анализ социально-экономической эффективности // Вестн. Забайк. гос. ун-та. 2015. № 6(121). С. 156–165.
12. *Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A.* Determination of Size Properties of the Organomineral Insulation Nanofiller Based on the Wood Matrix // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 177, 012063. 5 p. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012063
13. *Kain G., Charwat-Pessler J., Barbu M.-C., Plank B., Richter K., Petutschnigg A.* Analyzing Wood Bark Insulation Board Structure Using X-ray Computed Tomography and Modeling Its Thermal Conductivity by Means of Finite Difference Method // Journal of Composite Materials. 2016. Vol. 50, iss. 6. Pp. 795–806. DOI: 10.1177/0021998315581511
14. *Kain G., Güttler V., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G.* Density Related Properties of Bark Insulation Boards Bonded with Tannin Hexamine Resin // European Journal of Wood and Wood Products. 2014. Vol. 72, iss. 4. Pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4
15. *Kain G., Güttler V., Lienbacher B., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G.* Effects of Different Flavonoid Extracts in Optimizing Tannin-Glued Bark Insulation Boards // Wood and Fiber Science. 2015. Vol. 47, no. 3. Pp. 258–269.
16. *Pásztory Z., Mohácsiné I.R., Gorbacheva G.A., Börcsök Z.* The Utilization of Tree Bark // BioResources. 2016. Vol. 11, iss. 3. Pp. 7859–7888.

Поступила 22.12.17

UDC 674.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

The Use of Modified Scots Pine Bark as Filling Material of Heat and Sound Insulation*V.E. Danilov, Postgraduate Student, Senior Lecturer**A.M. Ayzenshtadt, Doctor of Chemical Sciences, Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.danilov@narfu.ru, a.isenshtadt@narfu.ru

The purpose of this work is studying the thermophysical and acoustic properties of modified Scots pine bark (*Pinus sylvestris* L.) for the use as heat and sound insulation filling material. Bark modification was carried out by mechanical activation of plant material with the use of a planetary ball mill, then drying of the plant material and its treatment with water suspension containing fine-dispersed basalt particles of 150 nm average size. Samples were homogenized and dried again. It has been found that the bark fraction of 0.5–1 mm is optimal as filling insulation. Treatment with basalt suspension of such bark makes it possible to obtain material with the following characteristics: bulk density $\rho_{\text{bulk}} = 313 \text{ kg/m}^3$; coefficient of heat conductivity $\lambda = 0.0651 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; airborne sound insulation index $R_w = 28.5 \text{ dB}$. The values of these parameters are comparable with the similar characteristics of the widely used insulation materials. In addition, it was determined that significant increase of the specific surface area of the material occurs during bark modification at the same time the volume of open pore space is reducing by 15.5 %. Thus, the modified pine bark can be recommended for the use as filling insulation in non-residential industrial and agricultural premises.

Funding: The studies were carried out with the financial support of the RFBR grant no. 18-43-292002.

For citation: Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M. The Use of Modified Scots Pine Bark as Filling Material of Heat and Sound Insulation. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 111–118. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

Keywords: bark and wood waste disposal, mechanical activation, modification of plant raw materials, fine-dispersed basalt, heat conductivity, heat capacity, airborne sound insulation index.

REFERENCES

1. Gavrillov T.A., Kolesnikov G.N. Analysis of Debarking Waste Recycling Trends. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, iss. 9-2, part 2, pp. 115–118. DOI: 10.12737/16445
2. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A. Structural Heat Insulation on the Basis of Wood-Processing and Mining Waste. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering], 2017, no. 1, pp. 97–100.
3. Devyatlovskaya A.N., Zhuravleva L.N., Devyatlovskiy N.V. Wood Bark Utilization of Wood Processing Enterprises. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual Problems of the Forest Complex], 2010, no. 27, pp. 51–54.
4. Kuznetsov B.N., Chesnokov N.V., Ivanov I.P., Veprikova E.V., Ivanchenko N.M. Methods of Porous Materials Obtaining from Lignin and Wood Bark. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* [Journal of Siberian Federal University. Chemistry], 2015, vol. 2, no. 8, pp. 232–255. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-2-232-255
5. *Forestry Code of the Russian Federation: Federal Law of 04.12.2006 no. 200-FZ* (eds. 01.07.2017). Access from the “Consultant Plus” Reference Legal System.

6. Melekhov V.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. The Energy Potential of the Wood Bark in the Program of Resource-Saving. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, iss. 9, part 3, pp. 106–110. DOI: 10.12737/16877
7. Myuller O.D., Melekhov V.I., Ponomareva N.G., Tyurikova T.V., Khrustaleva M.O. Mathematical Model of the Pressing Process of Thermally-Modified Tree Bark in the Drum-Type Press-Granulators. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 2, pp. 130–148. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.130
8. Patyakin V.I., Kostin I.V., Iliyushenko D.A. Some Issues of Debark Wastes Industrial Utilization. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 4(12), pp. 121–124.
9. Petukhov R.A. Forest Complex Investment Potential of the Republic of Karelia. *Obrazovaniye i nauka v sovremennykh usloviyakh* [Education and Science in the Current Context], 2015, no. 3, pp. 314–315.
10. Sudakova I.G., Ivanchenko N.M., Kuznetsov B.N. Production of Wood Briquettes Using Binders Obtained from Birch Bark Suberin. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2008, no. 2, pp. 31–34.
11. Yakovleva K.A. The Use of Forest Resources in Border Regions: Analysis of Social and Economic Efficiency. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Transbaikal State University Journal], 2015, no. 6(121), pp. 156–165.
12. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A. Determination of Size Properties of the Organomineral Insulation Nanofiller Based on the Wood Matrix. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 177, 012063. 5 p. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012063
13. Kain G., Charwat-Pessler J., Barbu M.-C., Plank B., Richter K., Petutschnigg A. Analyzing Wood Bark Insulation Board Structure Using X-ray Computed Tomography and Modeling Its Thermal Conductivity by Means of Finite Difference Method. *Journal of Composite Materials*, 2016, vol. 50, iss. 6, pp. 795–806. DOI: 10.1177/0021998315581511
14. Kain G., Güttler V., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G. Density Related Properties of Bark Insulation Boards Bonded with Tannin Hexamine Resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2014, vol. 72, iss. 4, pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4
15. Kain G., Güttler V., Lienbacher B., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G. Effects of Different Flavonoid Extracts in Optimizing Tannin-Glued Bark Insulation Boards. *Wood and Fiber Science*, 2015, vol. 47, no. 3, pp. 258–269.
16. Pásztor Z., Mohácsiné I.R., Gorbacheva G.A., Böröcsök Z. The Utilization of Tree Bark. *BioResources*, 2016, vol. 11, iss. 3, pp. 7859–7888.

Received on December 22, 2017