

References

1. Skuratov N.V. Teplovaya obrabotka drevesiny / N.V. Skuratov // Lesnaya industriya. – 2017. – №6 (110). – S. 44-50. (In Russ)
2. Tekhnologiya i oborudovanie dlya izgotovleniya lushchenogo shpona // Sovremennye Tekhnologii Proizvodstva. URL: <https://extxe.com/7483/drevesina-materialy-i-izdeliya-na-ee-osnove/> (data obra-shcheniya 17.08.2022) (In Russ)
3. Chemodanov A.N. Sushka drevesiny: uchebnoe posobie / A.N. Chemodanov, E.M. Tsarev, S.E. Anisimov. – Joshkar-Ola, MarGTU, 2005. – 240 s. (In Russ)
4. SVCH-kamera dlya sushki shpona: pat. № 2531709 RF. zayavl. 2013130475/06, 02.07.2013; opubl. 24.10.2014. (In Russ)
5. Chemodanov A.N., Inorodtseva N.A., Koryakin V.A., Gajnullin R.H. Sushka stroganogo shpona s ispol'zovaniem SVCH-energii // Nauka i mir. 2013. № 2 (2). S. 73-75. (In Russ)
6. Ustrojstvo dlya sushki shpona v SVCH-pole: zayavka na patent RF. zayavl. 2022 120855, 29.07.2022. (In Russ)
7. GOST 2977-82. SHpon stroganyj. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 1983-01-01. – M.: IPK Iz-datel'stvo standartov, 2008. – 11 s. (In Russ)
8. D'yakonov K.F. Sushka drevesiny tokami vysokoj chastoty / K.F. D'yakonov, A.A. Goryaev. – M.: Lesn. prom-st', 1981. – 169 s. (In Russ)
9. Rasev A.I. Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny: uchebnoe posobie / A.I. Rasev, A.A. Kosarin. – M. Forum, 2010. – 416 s. (In Russ)
10. Teterin L.A. Primenenie ustanovok s SVCH nagrevom drevesiny dlya sushki lesomateria-lov / L.A. Teterin, G.P. Panichev. – M, ZAO «NPP MAGRATEP». 2003. – 56 s. (In Russ)
11. Chemodanov A.N., Minina E.A., Kazancev S.A. Vozmozhnost' ispol'zovaniya SVCH-ustanovok v sovremennom derevoobrabatyvayushchem proizvodstve // Sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa» – Kostroma: Kostromskoy gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, 2015. S. 90-91.

©**Chemodanov A.N.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology (VSUT), e-mail: ChemodanovAN@volgatech.net; **Safin R.R.** – Grand PhD in Engineering sciences, Professor, Head of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: cfaby@mail.ru; **Kochetov A.E.** – postgraduate student of the Department of Woodworking Industries, VSUT, e-mail: KochetovAE@volgatech.net; **Nikitin K.A.** – postgraduate student of the Department of Woodworking Industries, VSUT, e-mail: nikitin-konstantin-wood@yandex.ru.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ПВХ, ОТХОДОВ ПОТОЛОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

Ю.М. Кулаженко, А.Е. Шкуро, О.Е. Биктимирова, П.С. Захаров

Исследована возможность применения смесей поливинилхлорида марки СИ-67 и отходов эксплуатации потолочных ПВХ-панелей, в качестве полимерной фазы полимерных композиционных материалов с использованием древесной муки в качестве наполнителя. В качестве пластификатора применяли дибутиловый эфир фталевой кислоты (дибутилфталат). Смешение компонентов осуществлялось методом вальцевания. Стандартные образцы для испытаний были изготовлены методом прямого прессования. Для полученных образцов композиционных материалов были определены значения основных физико-механических свойств и установлены зависимости этих свойств от содержания в композитах поливинилхлорида марки СИ-67 и отходов эксплуатации потолочных ПВХ-панелей. Установлено, что увеличение содержания полимерной фазы в составе полимерного композиционного материала приводит к значительному росту большинства физико-механических свойств материала. Рост содержания отходов потолочных панелей в полимерной фазе

приводит к росту показателей ударной вязкости и водопоглощения за 24 часа. Найденные закономерности позволяют определять состав полимерной фазы композиционного материал исходя из необходимых для конкретного изделия свойств. Использование смесей поливинилхлорида марки СИ-67 и отходов эксплуатации потолочных ПВХ-панелей позволяет нивелировать низкие показатели твердости, жесткости и прочностных свойств образцов композитов, полученных с использованием в качестве полимерной фазы отходов потолочных панелей. По комплексу физико-механических свойств (за исключением водопоглощения) полимерные композиционные материалы с комбинированной матрицей, содержащей смеси первичного и вторичного поливинилхлорида, превосходят аналоги, полученные на основе первичных полиолефинов (полиэтилен, полипропилен) и незначительно уступают ПКМ с полимерной фазой первичного ПВХ, и могут быть рекомендованы к опытно-промышленной апробации.

Ключевые слова: композит, поливинилхлорид, ПВХ, отходы, потолочные панели, пластификатор, дибутилфталат, физико-механические свойства.

Введение

Мировой выпуск поливинилхлорида составляет 16,5 % от общего выпуска пластмасс. Ассортимент изделий, выпускаемых на основе поливинилхлорида изделий чрезвычайно высок. Они используются в электротехнической, легкой, пищевой промышленности, тяжёлом машиностроении, судостроении, сельском хозяйстве, медицине, в производстве стройматериалов. За счет варьирования состава и степени ориентации из поливинилхлорида может быть получен широкий спектр пленок с различными свойствами

Вследствие высокого содержания хлора в поливинилхлориде, накопление отходов этого полимера является серьезной экологической проблемой. При хранении на свалках или полигонах, и особенно при сжигании отходы поливинилхлорида превращаются высокотоксичные хлорорганические соединения: хлороводород и хлорированные диоксины. В связи с этим актуальность поиска новых методов утилизации поливинилхлорида непрерывно возрастает. Одной из стратегий утилизации отходов ПВХ является их использование в качестве полимерной основы для композиционных материалов.

Использование лигноцеллюлозных для армирования поливинилхлорида имеет несколько целей, в том числе: разработку материалов на основе возобновляемых ресурсов; снижение стоимости композиционного материала по сравнению с исходным полимером; уменьшение усадки; увеличение показателей некоторых эксплуатационных свойств материала, например, предела прочности при изгибе и ударной вязкости.

Известно, что вторичный поливинилхлорид может быть использован в качестве полимерной матрицы для получения полимерных композиционных материалов (ПКМ) с лигноцеллюлозными наполнителями растительного происхождения [1-5]. В работе [5] показана возможность использования отходов потолочных ПВХ-панелей в качестве полимерной фазы для получения композита с древесной мукой.

Низкая стоимость стимулирует использование отходов ПВХ в производстве композиционных материалов. Технологические свойства вторичного поливинилхлорида позволяют перерабатывать его широким спектром методов, в том числе экструзией, каландрованием и прессованием. ПКМ на основе отходов потолочных ПВХ-панелей демонстрируют значительно более низкую твердость и жесткость по сравнению с ПКМ на основе первичного ПВХ

Целью настоящей работы являлось получение и исследование свойств полимерных композиционных материалов с полимерной фазой, полученной смешением первичного и вторичного поливинилхлорида (полученного измельчением и последующей грануляцией вышедших из эксплуатации потолочных панелей). В задачи исследования входило установления влияния содержания компонентов полимерной фазы на показатели основных физико-механических свойств образцов полученных ПКМ на основе вторичного поливинилхлорида.

Методы и материалы

При получении полимерных композиционных материалов в качестве полимерных связующих настоящей работе использовались суспензионный поливинилхлорид марки СИ-67 (первичный) и вторичный поливинилхлорид, полученный измельчением с последующей грануляцией вышедших из эксплуатации потолочных панелей (предоставлен ООО ЭкоПласт-Урал). В качестве наполнителя была применена древесная мука марки 180, производства ООО «Юнайт». В качестве лубриканта применялся

полиэтиленовый воск марки ПВ-200 (ТУ 201610-001-26924977-2018), а в качестве пластификатора - дибутиловый эфир фталевой кислоты (ГОСТ-8728-77). Расход дибутилфталата при пластификации составлял 9 % от массы исходного поливинилхлорида и оставался постоянным для всех проведенных опытов.

В соответствии с представленными в таблице 1 рецептурами компоненты ПКМ, они были смешаны с помощью методом вальцевания при температуре 160 °С. После охлаждения из полученных композиций методом горячего прессования изготавливались ПКМ в форме пластин, из которых готовились стандартные образцы для испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ.

Для полученных композитов были определены показатели следующих свойств: твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии, прочность при изгибе, число упругости, пластичность, ударная вязкость, а также водопоглощение после 24 часов и 30 суток экспонирования в воде.

Таблица 1—Рецептуры ПКМ

№	Содержание компонента, массовых частей			
	Пластифицированный й поливинилхлорид марки СИ-67 (пПВХ)	Отходы эксплуатации потолочных панелей (вПВХ)	Древесная мука	Полиэтиленовы й воск марки ПВ-200
1	100,0	0,0	100,0	3,0
2	75,0	25,0	100,0	3,0
3	50,0	50,0	100,0	3,0
4	25,0	75,0	100,0	3,0
5	0,0	100,0	100,0	3,0

Результаты

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов ПКМ представлены в таблице 2.

По данным регрессионного анализа для доверительной вероятности 0,95 ($P=0,95$) были установлены следующие адекватные экспериментально-статистические зависимости влияния содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.) на 100 массовых частей древесной муки в полученных образцах полимерных композитов на их свойства с коэффициентом детерминации R^2 :

- плотность, кг/м³ (Y_1): $Y_1 = 11,91 \cdot Z_1 + 13,32 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- твердость по Бринеллю, МПа (Y_2): $Y_2 = 0,72 \cdot Z_1 + 0,44 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- модуль упругости при сжатии, МПа (Y_3): $Y_3 = 0,46 \cdot Z_1 + 0,57 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,999$);
- число упругости, % (Y_4): $Y_4 = 0,54 \cdot Z_1 + 0,43 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- пластичность, % (Y_5): $Y_5 = 0,54 \cdot Z_1 + 0,43 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,988$);
- прочность при изгибе, МПа (Y_6): $Y_6 = 0,42 \cdot Z_1 + 0,17 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,985$);
- ударная вязкость кДж/м² (Y_7): $Y_7 = 0,035 \cdot Z_1 + 0,042 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,993$);
- водопоглощение за сутки, мас. % (Y_8): $Y_8 = 0,016 \cdot Z_1 + 0,047 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,976$);
- водопоглощение за 30 суток, мас. % (Y_9): $Y_9 = 0,096 \cdot Z_1 + 0,21 \cdot Z_2$ ($R^2 = 0,997$).

Таблица 2 – Физико-механические свойства ПКМ

№ Опыта в плане	Плот- ность, кг/м ³	Твер- дость, МПа	Число упругос- ти, %	Пластич- ность, %	Модуль упругости при сжатии, МПа	Проч- ность при изгибе, МПа	Ударная вязкость кДж/м ²	Водопо- глощение за 24 ч, %	Водопо- глощение за 30 суток, %
1	1260	73,7	46,7	53,3	777	42,1	3,9	1,2	8,7
2	1180	71,1	49,8	50,2	741	36,6	3,7	2,6	13,8
3	1194	49,7	47,5	52,5	461	30,8	3,4	3,0	15,1
4	1298	44,1	54,5	45,5	390	19,5	3,8	4,8	19,1
5	1377	51,5	58,2	41,8	483	19,4	4,6	4,0	20,7

Графики зависимостей физико-механических свойств, полученных полимерных композиционных материалов, представлены на рисунках 1-3.

Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение содержания полимерной фазы в составе ПКМ приводит к значительному росту большинства физико-механических свойств материала. Однако влияние компонентов полимерной фазы на исследуемые свойства проявляется с разной интенсивностью. На показатели твердости по Бринеллю (рисунок 1а), модуля упругости при сжатии (рисунок 2а) и прочности при изгибе (рисунок 3а) более выражено влияние содержания первичного ПВХ. Композиты с высоким содержанием первичного поливинилхлорида более подвержены пластическим деформациям (рисунок 1б) по сравнению с образцами в полимерной фазе которого присутствует только вторичный ПВХ.

Увеличение содержания отходов потолочных панелей в полимерной фазе ПКМ приводит к росту показателя ударной вязкости (рисунок 2б) композита. Более высокая ударная прочность вторичного ПВХ по-видимому связана с высокими нормами расхода пластификатора при производстве потолочных панелей.

Образцы с высоким содержанием вторичного ПВХ демонстрируют значительно более высокие значения показателя водопоглощения за 30 суток по сравнению с образцами, полученными на основе первичного ПВХ. Повышение водопоглощения ПКМ может являться одним из главных факторов, сдерживающим рост широкого промышленного применения отходов потолочных панелей.

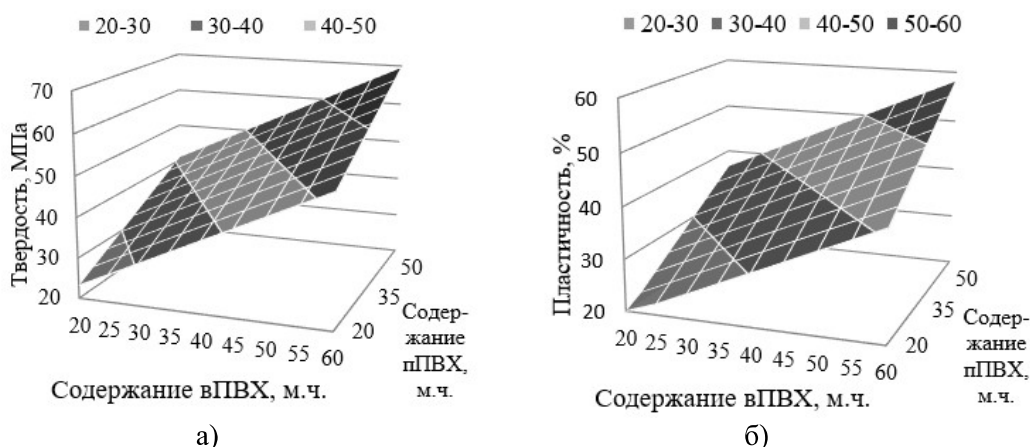


Рис 1. Зависимости твердости по Бринеллю (а) и пластичности (б) образцов ПКМ от содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.)

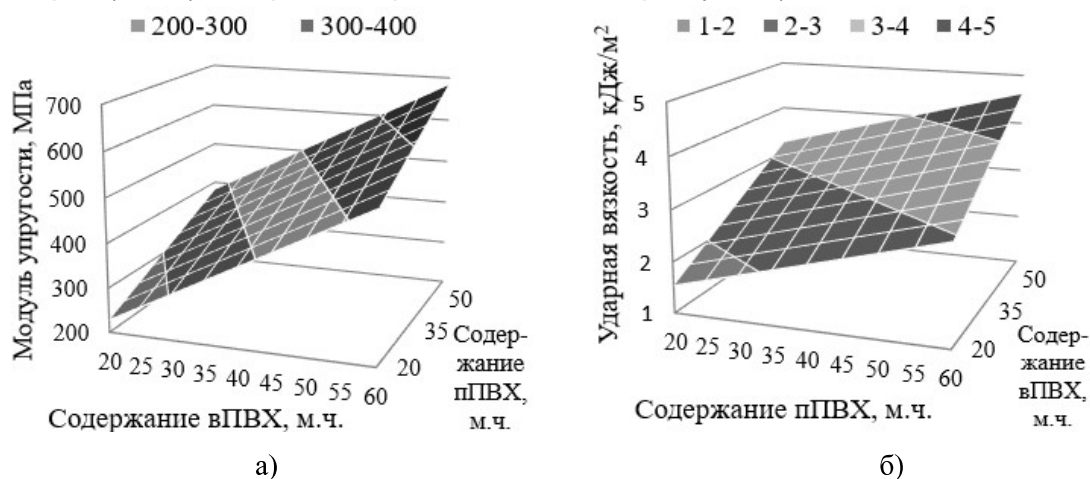


Рис 2. Зависимости модуля упругости при сжатии (а) и ударной вязкости (б) образцов ПКМ от содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.)

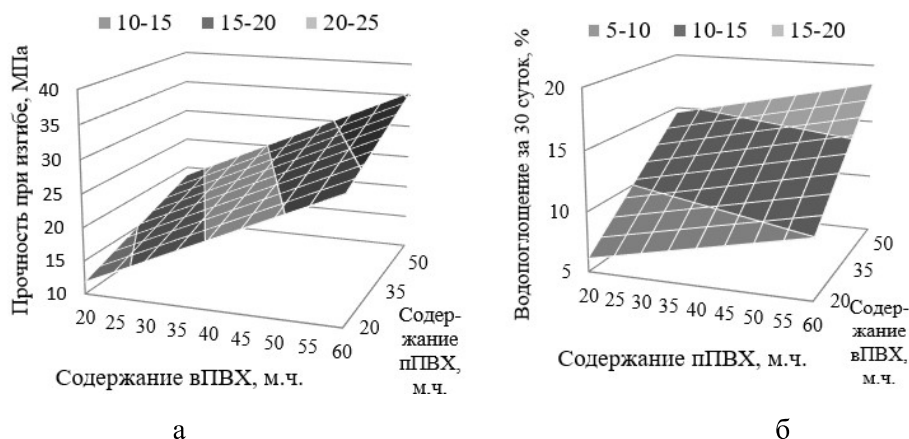


Рис 3. Зависимости прочности при изгибе (а) и водопоглощения за 30 суток (б) образцов ПКМ от содержания первичного поливинилхлорида (Z_1 , м.ч.) и содержания вторичного поливинилхлорида (Z_2 , м.ч.)

Заключение

Было проведено исследование возможности использования смеси первичного ПВХ СИ-67 и вторичного ПВХ, полученного измельчением вышедших из употребления потолочных панелей, в качестве полимерной фазы полимерных композиционных материалов.

Были определены значения основных физико-механических свойств образцов ПКМ и установлены зависимости этих свойств от содержания в композитах первичного и вторичного ПВХ. Найденные закономерности позволяют определять состав полимерной фазы ПКМ исходя из необходимых для конкретного изделия свойств, которые могут варьироваться в широких пределах.

Использование смесей первичного и вторичного ПВХ позволяет нивелировать недостатки применения отходов потолочных панелей в качестве полимерной матрицы ПКМ, а именно низкие показатели твердости, жесткости и прочностных свойств. По комплексу физико-механических свойств (за исключением водопоглощения) композиты с рассмотренной комбинированной матрицей превосходят аналоги на основе первичных полиолефинов и незначительно уступают ПКМ с полимерной фазой первичного ПВХ.

Литература

1. Manjunatha M. Role of engineered fibers on fresh and mechanical properties of concrete prepared with GGBS and PVC waste powder – An experimental study / M. Manjunatha, D. Seth, K.V.G.D. Balaji // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. V.47. P. 3683–3693.
2. Merloa A. Mechanical properties of mortar containing waste plastic (PVC) as aggregate partial replacement / A. Merloa, L. L., D. Suarez-Rierab, M. Pavese // *Case Studies in Construction Materials*. – 2020. V.13. e00467
3. Aji M.M. Utilization of waste polyvinyl chloride (PVC) for ultrafiltration membrane fabrication and its characterization / M.M. Aji, S. Narendren, M. K. Purkait, V. Katiyar // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. V.8. 103650.
4. Hilary L.N. Recycling of waste poly(vinyl chloride) fill materials to produce new polymer composites with propylene glycol plasticizer and waste sawdust of Albizia lebbeck wood / L. N. Hilary, S. Sultana, Z. Islam, Md. K. U. Sarker, Md. J.Abedin, M. M. Haque // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. – 2021. V.4. 100221.
5. Чирков Д.Д. Полимерные композиционные материалы на основе отходов потолочных панелей и древесной муки / Д.Д. Чирков, А.Е. Шкуро В.В. Глухих, Ю.М. Кулаженко, П.С. Кривонотов // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2022. №2. 90-96.

©Кулаженко Ю.М. – аспирант кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО «УГЛТУ»), e-mail: kulazhenkoyuliya@mail.ru; Шкуро А.Е. – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru; Биктимирова О.Е. – студент кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: olgabiktimirowa@yandex.ru; Захаров П.С. – аспирант кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров, ФГБОУ ВО «УГЛТУ», e-mail: zaharovps@m.usfeu.ru.

UDC 678

STUDY OF A COMPOSITE MATERIAL BASED ON PLASTICIZED PVC, WASTE CEILING PANELS AND WOOD FLOUR

Y.M. Kulazhenko, A.E. Shkuro, O.E. Biktimirova, P.S. Zakharov

The possibility of using mixtures of polyvinyl chloride brand SI-67 and waste from the operation of PVC ceiling panels as a polymer phase of polymer composite materials using wood flour as a filler has been studied. Dibutyl ester of phthalic acid (dibutyl phthalate) was used as a plasticizer. The mixing of the components was carried out by rolling. Standard test specimens were made by direct pressing. For the obtained samples of composite materials, the values of the main physical and mechanical properties were determined and the dependences of these properties on the content of SI-67 grade polyvinyl chloride in the composites and waste from the operation of PVC ceiling panels were established. It has been established that an increase in the content of the polymer phase in the composition of the polymer composite material leads to a significant increase in most of the physical and mechanical properties of the material. An increase in the content of ceiling panel waste in the polymer phase leads to an increase in impact strength and water absorption in 24 hours. The regularities found make it possible to determine the composition of the polymer phase of a composite material based on the properties required for a particular product. The use of mixtures of polyvinyl chloride brand SI-67 and waste from the operation of PVC ceiling panels makes it possible to level out the low hardness, rigidity and strength properties of composite samples obtained using ceiling panel waste as a polymer phase. In terms of a set of physical and mechanical properties (with the exception of water absorption), polymer composite materials with a combined matrix containing mixtures of primary and secondary polyvinyl chloride are superior to analogues obtained on the basis of primary polyolefins (polyethylene, polypropylene) and slightly inferior to PCM with a polymer phase of primary PVC, and can be recommended for pilot testing.

Keywords: composite, polyvinyl chloride, PVC, waste, ceiling panels, plasticizer, dibutyl phthalate, physical and mechanical properties.

References

1. Manjunatha M. Role of engineered fibers on fresh and mechanical properties of concrete prepared with GGBS and PVC waste powder – An experimental study / M. Manjunatha, D. Seth, K.V.G.D. Balaji // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. V.47. P. 3683–3693.
2. Merloa A. Mechanical properties of mortar containing waste plastic (PVC) as aggregate partial replacement / A. Merloa, L. L., D. Suarez-Rierab, M. Pavese // *Case Studies in Construction Materials*. – 2020. V.13. e00467
3. Aji M.M. Utilization of waste polyvinyl chloride (PVC) for ultrafiltration membrane fabrication and its characterization / M.M. Aji, S. Narendren, M. K. Purkait, V. Katiyar // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. V.8. 103650.
4. Hilary L.N. Recycling of waste poly(vinyl chloride) fill materials to produce new polymer composites with propylene glycol plasticizer and waste sawdust of Albizia lebbbeck wood / L. N. Hilary, S. Sultana, Z. Islam, Md. K. U. Sarker, Md. J. Abedin, M. M. Haque // *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. – 2021. V.4. 100221.
5. Chirkov D.D. Polymer composite materials based on waste ceiling panels and wood flour / D.D. Chirkov, A.E. Shkuro V.V. Glukhikh, Yu.M. Kulazhenko, P.S. Krivonogov // *Wood processing industry*. – 2022. No. 2. 90-96.

© **Kulazhenko Y.M.** – PhD student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, Ural State Forest Engineering University (USFEU), e-mail: kulazhenkoyuliya@mail.ru; **Shkuro A.E.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: shkuroae@m.usfeu.ru; **Biktimirova O.E.** – student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: olgabiktimirova@yandex.ru; **Zakharov P.S.** – PhD student of the Department of Pulp and Paper Technology and Polymer Processing, USFEU, e-mail: zaharovps@m.usfeu.ru.