
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 5–13.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (10): 5–13.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 625.691.175

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-5-13

НАПОЛНЕНИЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ БАЗАЛЬТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ

**Аяз Габдрашитович Хантимирров, Ляйля Абдулловна Абдрахманова,
Вадим Григорьевич Хозин**

Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
Казань, Россия

Аннотация. В работе изучалось влияние базальтовых волокон различной длины на физико-механические характеристики древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида. Исследования показали, что наиболее эффективной длиной волокон является 6,4 и 12,7 мм, при этом прочность при изгибе увеличилась более чем на 30 %, а истирание при абразивном износе уменьшилось в среднем на 25 %. Предлагаемые древесно-полимерные композиты могут расширить ассортимент изделий, изготавляемых на их основе.

Ключевые слова: поливинилхлорид, древесно-полимерный композит, базальтовое волокно, армирование, модификация, наполнение, оптическая микроскопия

Для цитирования: Хантимирров А.Г., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г. Наполнение древесно-полимерных композиций базальтовыми волокнами // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 5–13. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-5-13.

Original article

FILLING OF WOOD-POLYMER COMPOSITIONS WITH BASALT FIBERS

Ayaz G. Khantimirov, Lyaylya A. Abdrakhmanova, Vadim G. Khozin
Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

Abstract. In this work we studied the influence of basalt fibers of different length on physical and mechanical characteristics of wood-polymer composites based on polyvinyl chloride. The studies showed that the most effective length of the fibers is 6.4 and 12.7 mm, and the bending strength increased by more than 30 %, and abrasion during abrasion decreased on average by 25 %. The proposed wood-polymer composites can expand the range of manufactured products on their basis.

Keywords: polyvinyl chloride, wood-polymer composite, basalt fiber, reinforcement, modification, filling, optical microscopy

For citation: Khamtimirov A.G., Abdurakhmanova L.A., Khozin V.G. Filling of wood-polymer compositions with basalt fibers. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (10): 5–13. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-5-13.

Введение. Рост востребованности древесно-полимерных композитов (ДПК) в строительной области подталкивает производителей к поиску новых областей применения данных материалов. Однако для этого в значительной степени требуется улучшение физико-механических характеристик получаемых композитов. Одним из главных факторов, определяющих свойства ДПК, является правильный выбор полимерного связующего. Для производства ДПК применяют полиэтилен (ПЭ), поливинилхлорид (ПВХ), полипропилен (ПП), акрилонитрил-бутадиен-стирол. Среди вышеперечисленных полимерных матриц наиболее эффективный в отношении эксплуатационных свойств – ПВХ, имеющий высокую атмосферостойкость и высокие физико-механические характеристики. Так, прочность при изгибе и растяжении у ДПК-ПВХ в среднем на 25–32 и 19–64 % выше, чем у материалов на основе ПЭ, кроме того, сопротивление ударной нагрузке у первого остается примерно таким же при широком диапазоне температур и на 40–60 % превышает данный показатель у ДПК-ПЭ [1, 2].

При производстве ДПК независимо от полимера необходимо введение в его состав специальных добавок – связующих агентов, улучшающих совместимость древесного наполнителя и полимерной матрицы [3, 4]. Имеются исследования, в которых для усиления композитов используют волокнистые модификаторы. Волокна могут иметь как различную природу происхождения, так и разные геометрические характеристики. В публикациях, посвященных наполнению ДПК на основе ПП и ПЭ базальтовыми, стеклянными, углеродными и органическими волокнами [5–12], отмечается усиление полимерных композиций. Очевидно, эффект может быть связан с высокими прочностными характеристиками данных волокон [13].

Композиции на основе ПВХ также модифицировались волокнистыми наполнителями [14–17]. Были исследованы ДПК на основе ПВХ со стеклянными волокнами длиной 0,8 и 6,4 мм [15]. Ударная вязкость модифицированных образцов значительно увеличилась без снижения прочности при изгибе за счет добавления 5 % стекловолокна длиной 6,4 мм, при использовании стекловолокна 0,8 мм не было обнаружено положительного эффекта. Оптимальный состав содержал 50 % ПВХ, 45 % древесной муки и 5 % стеклянного волокна.

Общеизвестно, что базальтовое волокно прочнее стеклянного, оно обладает большей щелоче- и водостойкостью, поэтому применение его в полимерных композитах, содержащих древесный наполнитель, может благоприятно сказаться на эксплуатационных характеристиках [18]. В частности, в работе [14] изучены ПВХ-композиты, наполненные рисовой шелухой и усиленные базальтовой фиброй. Соотношение полимера и наполнителя составляло 1:1, а введение базальтовой фибры осуществлялось путем частичной замены рисовой шелухи. Для улучшения адгезии с полимерной матрицей базальтовую фибру предварительно обработали 3%-м спиртовым раствором

силанового замасливателя КН-550 с последующей ультразвуковой обработкой и сушкой.

При увеличении отношения фибра/шелуха от 0 до 8 % твердость и ударная вязкость композитов заметно возрастали (с 45,9 до 51,9 HRC и с 3,9 до 5,5 кДж·м⁻² соответственно). Также выявлено улучшение износостойкости образцов с содержанием армирующего наполнителя 8 %, которые показали наименьшие значения коэффициента трения и удельного износа. Однако при дальнейшем увеличении содержания фибры до 12 % данные показатели резко снижаются. Авторы объясняют это агломерацией базальтовых волокон, которая, вероятно, происходила при избыточном содержании фибры. Эти агломераты создавали точки концентрации напряжений, которые инициировали структурное разрушение композитов.

Таким образом, наполнение ДПК на основе ПВХ волокнистыми модификаторами, в частности, базальтовыми, является эффективным способом усиления данных композитов. Однако экспериментальных работ, подтверждающих эффективность данного способа модификации, практически не имеется, также нет данных по влиянию длины базальтовой фибры на свойства композитов. В работе в качестве волокнистого наполнителя используются базальтовые волокна разной длины.

Материалы и методы исследования. *Сырьевые материалы.* В работе осуществлялось наполнение древесно-наполненных композиций на основе ПВХ следующего состава, м.ч.:

ПВХ С-7059-М	100
Древесная мука М180	50
Модификатор ударной прочности FM-50	7
Стабилизатор-смазка стеарат кальция	3
Термостабилизатор двухосновный стеарат свинца	5
Базальтовая фибра	0; 0,5; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5

В качестве волокнистых модификаторов использовались:

1 – базальтовая фибра производства ООО «Цеммикс», с силановым замасливателем KB42, средний диаметр волокна 8–10 мкм, средняя длина 0,35 мм;

2 – рубленое базальтовое волокно марки BC17-6,4(1/4")р-KB13 производства ООО «Каменный век» с силановым замасливателем типа KB13, диаметр элементарного волокна которого составляет 13 мкм, длина 6,4 мм;

3 – рубленое базальтовое волокно марки BC17-12,7(1/2")р-KB13 производства ООО «Каменный век» с силановым замасливателем типа KB13, диаметр элементарного волокна которого составляет 17 мкм, длина 12,7 мм.

Таким образом, два последних вида наполнителей относятся к типу рубленых непрерывных волокон (обычно длиной от 3 до 12 мм), а первый вид базальтовой фибры – это практически порошок с характерной длиной волокон 0,3–0,5 мм. Полимерные композиты, как правило, изотропны, но асимметрическая форма частиц при условии заметной ориентации в процессах переработки может приводить к возникновению некоторой анизотропии свойств.

Получение композитов. Для исследований были получены профили на лабораторном двухшнековом экструдере LabTechScientific LTE 16-40 с фильтерой сечением 2×22 мм. Процесс изготовления образцов осуществлялся при едином профиле температур, составляющем 183 °C в начале и 200 °C в конце экструзии. Все образцы изготавливались со скоростью вращения шнеков 20 об/мин, время переработки составляло 10–15 мин.

Методы исследования. Технологические и эксплуатационные свойства образцов изучались в соответствии с действующими стандартами: ГОСТ 11262–2017 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение»; ГОСТ 4648–2014 «Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб»; ГОСТ 4650–2014 «Пластмассы. Методы определения водопоглощения»; ГОСТ 11012–2017 «Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ»; ГОСТ 15139–69 «Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы)».

Микроструктура экструдатов исследовалась методом оптической микроскопии на лабораторном поляризационном микроскопе Axioskop 40 Pol. Наблюдение срезов экструдатов осуществлялось в отраженном свете при увеличении 100 крат.

Результаты и обсуждение. Проведено сопоставление свойств стандартного образца ДПК (контрольный образец без волокнистого наполнителя) со свойствами модифицированных образцов, полученных и исследованных в работе. Результаты испытаний прочностных характеристик модифицированных композитов показаны на рис. 1.

Наибольшее увеличение прочности при растяжении показали образцы с длиной волокна 6,4 и 12,7 мм. При этом максимальный прирост для композитов на всем интервале концентраций, но при содержании наполнителя более 7,5 м.ч. отмечается некоторое ухудшение прочности при растяжении. Степень снижения прочности возрастает в ряду волокон с длиной 0,35; 6,4 и 12,5 мм соответственно.

Прочность при изгибе возрастает с увеличением концентрации фибры. Максимальный прирост данной прочности характерен для волокон длиной 12,7 мм и составил 36 % при 10 м.ч. В составе композитов использованы рубленые коротко- и длинноволокнистые наполнители, отличающиеся аспектным отношением, в которых для 2-го и 3-го типа наполнителей оно почти на порядок превышает аспектное отношение для коротковолокнистой фибры. Композит, содержащий рубленые волокна, обладает свойствами, похожими на материал с применением наполнителей дисперсного вида, но как видно, эффективность применения волокон возрастает с увеличением их длины. Коротковолокнистые наполнители при введении в состав полимеров играют роль усиливающей фазы только в небольших количествах, тогда как длинные непрерывные волокна проявляют эффект армирования при высоких концентрациях.

Наиболее распространенным изделием из ДПК является террасная доска (декинг), которую зачастую эксплуатируют на открытых площадках, подверженных влиянию перепадов температур и осадков. Кроме того, террасные доски в местах с высокой проходимостью людей подвержены интенсивному абразивному износу, что негативно сказывается как на механи-

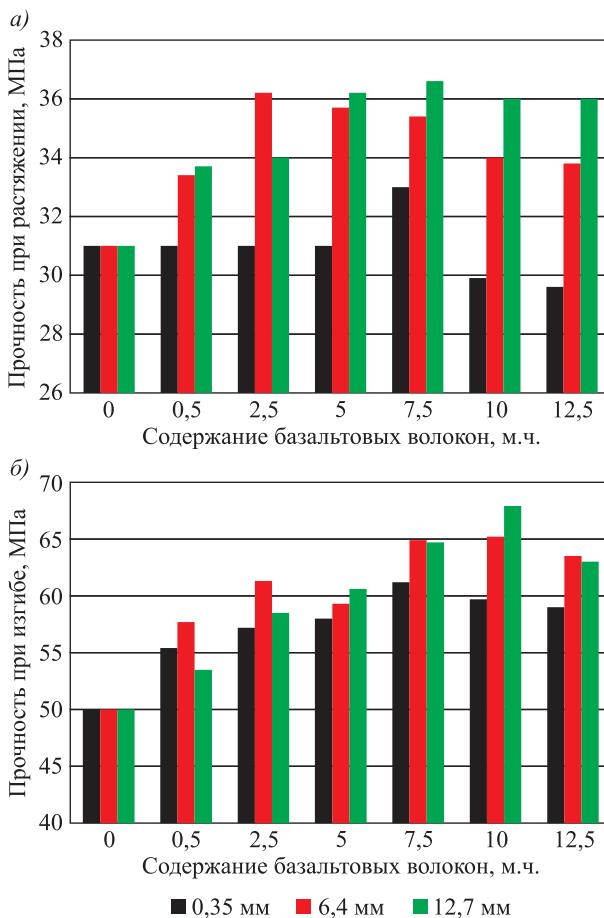


Рис. 1. Влияние базальтовых волокон различной длины на прочность при растяжении (а) и при изгибе (б) ДПК-композитов

Fig. 1. Effect of basalt fibers of different lengths on the tensile strength (a) and flexural (b) of WPC composites

ческих свойствах, так и на внешнем виде изделий. Результаты испытаний модифицированных композитов на водопоглощение и истирание представлены на рис. 2.

У всех модифицированных образцов наблюдается снижение водопоглощения, что связано как с образованием более плотной структуры модифицированных композитов, так и с высокой плотностью самих базальтовых волокон (около 2,7 г/см³). Однако для образцов с высоким содержанием фибры длиной 6,4 мм (12,5 м.ч.) значения данного показателя увеличиваются, что говорит о высокой степени спутанности волокон, создающих неравномерную структуру и дефекты в объеме композита.

Испытания образцов на абразивный износ показали, что введение в состав коротковолокнистой фибры (0,35 мм) приводит к увеличению данного показателя, что связано с неспособностью данных волокон эффективно сопротивляться извлечению из тела композита, приводящей к дополнительному разрушению поверхности образца. То есть, наблюдается выдергивание

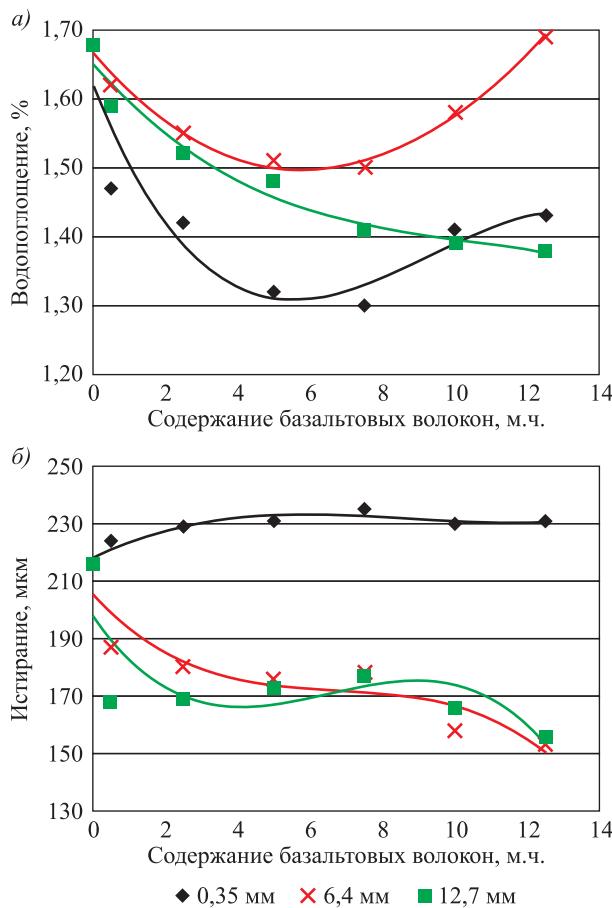
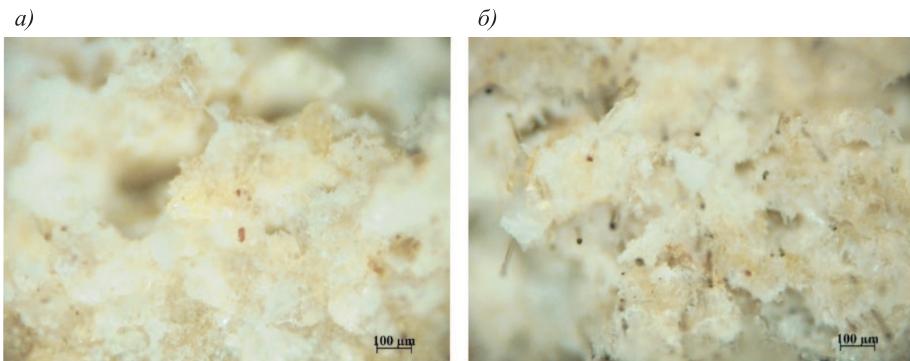


Рис. 2. Влияние базальтовых волокон различной длины на водопоглощение (а) и истирание (б) ДПК-композитов

Fig. 2. Effect of basalt fibers of different lengths on water absorption (a) and abrasion (b) of WPC composites

коротких волокон из полимерной матрицы при трении и пластик разрушается по границе волокно – полимер. Базальтовые волокна большей длины приводят к формированию более плотной структуры композита (плотность возрастает в среднем на 10 %). Этот факт способствует сопротивлению истирания. Характер распределения волокнистого наполнителя в объеме композита показан на микрофотографиях. Снимки поперечного сечения экструдатов ненаполненного ДПК-ПВХ и наполненного самым длинным рубленым базальтовым волокном представлены на рис. 3.

Анализ микрофотографий показал, что при введении наполнителя в полимерную матрицу структурная неоднородность гетерогенной структуры сохраняется. Эффекты упрочнения могут быть объяснены распределением волокон по направлению экструдирования и тем самым эффективным сопротивлением данных композитов изгибающим и растягивающим усилиям. Наличие силанового замасливателя на поверхности волокон обуславливает увеличение межфазного взаимодействия в матрице ПВХ, не затрагивая взаимодействие на границе ПВХ – древесная мука.



*Рис. 3. Микроструктура поперечного среза ДПК
а – исходная; б – содержащая 7,5 м.ч. волокна длиной 12,7 мм*

*Fig. 3. Microstructure of the WPC cross section
a – initial; b – containing 7.5 m.h. fibers with a length of 12.7 mm*

Заключение. В результате испытаний можно сделать вывод о положительном влиянии волокнистых наполнителей на основе базальтовой фибры для усиления ДПК на основе ПВХ. Эффективность модификаторов зависит от длины волокон, их концентрации в составе композита и наличия замасливателя. Для волокон длиной 0,35 мм эффективно содержание 7,5 м.ч., для фибры длиной 6,4 и 12,7 мм – 10 м.ч. При этом наилучшие физико-механические показатели характерны для длин 6,4 и 12,7 мм за счет большой длины и наличия замасливателя, усиливающего адгезию между волокном и полимерной матрицей. Механические и другие эксплуатационные показатели ДПК повышаются в области малых концентраций коротковолокнистых наполнителей (до 10 м.ч. на 100 м.ч. ПВХ).

Список источников

1. Мацеевич Т.А., Аскадский А.А. Террасные доски: состав, изготовление, свойства. Часть 1. Механические свойства // Стройт. материалы. 2018. № 1-2. С. 101–105.
2. Мацеевич Т.А., Аскадский А.А. Террасные доски: состав, изготовление, свойства. Часть 2. Термические свойства, водопоглощение, истираемость, твердость, устойчивость к климатическим воздействиям, использование вторичных полимеров // Стройт. материалы. 2018. № 3. С. 55–61.
3. Исламов А.М. и др. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, модифицированные аэросилом // Изв. Казан. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2016. Т. 4, № 38. С. 382–387.
4. Низамов Р.К. и др. Поливинилхлоридные материалы, наполненные тонкодисперсными отходами деревообработки // Стройт. материалы. 2004. № 4. С. 14–17.
5. Seo Y.-R. et al. Hybrid effects of carbon fiber and nanoclay as fillers on the performances of recycled wood-plastic composites // BioResources. 2020. Т. 15, no. 4. P. 7671–7686.
6. Saddem M. et al. Effect of fiber and polymer variability on the rheological properties of wood polymer composites during processing // Polym. Compos. 2019. Vol. 40. P. E609–E616.
7. Guo G., Finkenstadt V.L., Nimmagadda Y. Mechanical properties and water absorption behavior of injection-molded wood fiber / carbon fiber high-density polyethylene hybrid composites // Advanced Composites and Hybrid Materials. 2019. No. 2. P. 690–700.

8. Wu Q. et al. Mechanical, thermal expansion, and flammability properties of co-extruded wood polymer composites with basalt fiber reinforced shells // *J. Mater.* Elsevier Ltd. 2014. Vol. 60. P. 334–342.
9. Huang R. et al. Effect of hybrid talc-basalt fillers in the shell layer on thermal and mechanical performance of Co-extruded wood plastic composites // *Materials* (Basel). 2015. No. 8. P. 8510–8523.
10. Yu M. et al. Mechanical and thermal properties of R-High density polyethylene composites reinforced with wheat straw particleboard dust and basalt fiber // *Int. J. Polym. Sci.* 2018. Vol. 2018. P. 1–11.
11. Lu G., Wang W., Shen S. Mechanical properties of wood flour reinforced high density polyethylene composites with basalt fibers // *Mater. Sci.* 2014. Vol. 20, no. 4. P. 464–467.
12. Хузиахметова К.Р. и др. Структура смесей полимеров на основе поливинилхлорида // Изв. Казан. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2022. Т. 61, № 3. С. 82–89.
13. Ибатуллина А.Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомодульных волокон // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2014. Т. 17, № 19. С. 136–139.
14. Jiang L. et al. Wear and thermal behavior of basalt fiber reinforced rice husk / polyvinyl chloride composites // *Appl. Polym. Sci.* 2020. No. 8. P. 1–7.
15. Jiang H. et al. Mechanical properties of poly(vinyl chloride)/wood flour/glass fiber hybrid composites // *J. Vinyl Addit. Technol.* 2003. Vol. 9, no. 3. P. 138–145.
16. Хузиахметова К.Р. и др. Особенности наполнения композиций ПВХ/АБС Features of PVC/ABS compositions filling // Вестн. ВГУИТ. 2022. Т. 84, № 1. С. 252–258.
17. Li Y. et al. High-value utilisation of ceramic waste powder in PVC-based composite and basalt fibre reinforcement effect on its performance // *Ceram. Int.* 2022. Vol. 48. P. 18083–18093.
18. Далинкевич А.А. и др. Современные базальтовые волокна и полимерные композиционные материалы на их основе // Конструкции из композиционных материалов. 2010. № 3. С. 37–54.

References

1. Matseevich T.A., Askadskiy A.A. Decking boards: structure, manufacturing, properties. Part 1. Mechanical properties. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2018; (1-2): 101–105. (In Russ.).
2. Matseevich T.A., Askadskiy A.A. Decking: structure, manufacturing, properties. Part 2. Thermal properties, water absorption, abrasion, hardness, resistance to climatic influences, the use of recycled polymers. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2018; (3): 55–61. (In Russ.).
3. Islamov A.M. et al. Wood-polymer composites based on polyvinyl chloride, modified aerosil. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2016; 4(38): 382–387. (In Russ.).
4. Nizamov R.K. et al. Polyvinyl chloride materials filled with finely dispersed wastes of wood processing. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*. 2004; (4): 14–17. (In Russ.).
5. Seo Y.-R. et al. Hybrid effects of carbon fiber and nanoclay as fillers on the performances of recycled wood-plastic composites. *BioResources*. 2020; 15(4): 7671–7686.
6. Saddem M. et al. Effect of fiber and polymer variability on the rheological properties of wood polymer composites during processing. *Polym. Compos.* 2019; (40): E609–E616.

7. Guo G., Finkenstadt V.L., Nimmagadda Y. Mechanical properties and water absorption behavior of injection-molded wood fiber/carbon fiber high-density polyethylene hybrid composites. *Advanced Composites and Hybrid Materials*. 2019; (2): 690–700.
8. Wu Q. et al. Mechanical, thermal expansion, and flammability properties of co-extruded wood polymer composites with basalt fiber reinforced shells. *J. Mater. Elsevier Ltd.* 2014; (60): 334–342.
9. Huang R. et al. Effect of hybrid talc-basalt fillers in the shell layer on thermal and mechanical performance of Co-extruded wood plastic composites. *Materials (Basel)*. 2015; (8): 8510–8523.
10. Yu M. et al. Mechanical and thermal properties of R-High density polyethylene composites reinforced with wheat straw particleboard dust and basalt fiber. *Int. J. Polym. Sci.* 2018; (2018): 1–11.
11. Lu G., Wang W., Shen S. Mechanical properties of wood flour reinforced high density polyethylene composites with basalt fibers. *Mater. Sci.* 2014; 20(4): 464–467.
12. Khuziakhmetova K.R. et al. The structure of polymer mixtures based on polyvinyl chloride. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkitekturno-stroitel'nogo universiteta = Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2022; 61(3): 82–89. (In Russ.).
13. Ibatullina A.R. Review of manufacturers and comparison of properties of heavy-duty high-modulus fibers. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University*. 2014; 17(19): 136–139. (In Russ.).
14. Jiang L. et al. Wear and thermal behavior of basalt fiber reinforced rice husk / polyvinyl chloride composites. *Appl. Polym. Sci.* 2020; (8): 1–7.
15. Jiang H. et al. Mechanical properties of poly(vinyl chloride)/wood flour/glass fiber hybrid composites. *J. Vinyl Addit. Technol.* 2003; 9(3): 138–145.
16. Khuziakhmetova K.R. et al. Features of filling with PVC /ABS compositions. *Vestnik VGUIt = Herald of VGUIt*. 2022; 84(1): 252–258. (In Russ.).
17. Li Y. et al. High-value utilisation of ceramic waste powder in PVC-based composite and basalt fibre reinforcement effect on its performance. *Ceram. Int.* 2022; (48): 18083–18093.
18. Dalinkevich A.A. et al. Modern basalt fibers and polymer composite materials based on them. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov = Constructions of composite materials*. 2010; (3): 37–54. (In Russ.).

Информация об авторах

А.Г. Ханти миров – аспирант, khantimirov94@mail.ru

Л.А. Абдрахманова – доктор технических наук, профессор, laa@kgasu.ru

В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор, kholzin.vadim@yandex.ru

Information about the authors

A.G. Khantimirov – Post-graduate Student, khantimirov94@mail.ru

L.A. Abdrahmanova – DSc, Professor, laa@kgasu.ru

V.G. Khozin – DSc, Professor, kholzin.vadim@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.08.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

The article was submitted 14.08.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022