

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS**DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8>

EDN: DJDBMB

ПОЛИМЕРБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ПЕРВИЧНОГО И ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Научная статья

Христофоров А.И.¹, Христофорова И.А.^{2,*}, Смирнов Е.А.³¹ ORCID : 0000-0002-0143-5175;² ORCID : 0000-0002-4768-4425;^{1,2,3} Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), Владимир, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (khristoforova-i[at]mail.ru)

Аннотация

Показана возможность формирования полимербетонов из суспензионного поливинилхлорида (ПВХ), отходов полистирола вспененного (ПСВ) и минерального наполнителя. Установлено, что параметры находятся в сложной взаимосвязи с составом и свойствами материалов. По результатам исследований получен композит со следующими характеристиками — плотность 2210 ± 640 кг/м³, прочность при сжатии — $61,6 \pm 6,1$ МПа, водопоглощение — $0,29 \pm 0,13\%$, ударная прочность — $6,5 \pm 0,7$ кДж/м². Полученное изделие будет возможно применять в изготовлении окон, полов, строительстве дорог, авиастроении, теплоизоляции, погонажных изделий, канализационных люков, настилов полов животноводческих ферм, сельском хозяйстве и агротехническом комплексе.

Ключевые слова: полимербетоны, композиты, отходы пенопластов, поливинилхлорид, горячее прессование.**POLYMER CONCRETE BASED ON PRIMARY AND SECONDARY RAW MATERIALS**

Research article

Khristoforov A.I.¹, Khristoforova I.A.^{2,*}, Smirnov E.A.³¹ ORCID : 0000-0002-0143-5175;² ORCID : 0000-0002-4768-4425;^{1,2,3} Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (VLSU), Vladimir, Russian Federation

* Corresponding author (khristoforova-i[at]mail.ru)

Abstract

The possibility of forming polymer concrete from suspension polyvinyl chloride (PVC), foamed polystyrene waste (EPS), and mineral filler is demonstrated. It was established that the parameters are in a complex relationship with the composition and properties of the materials. Based on the research results, a composite with the following characteristics was obtained: density of 2210 ± 640 kg/m³, compressive strength of $61,6 \pm 6,1$ MPa, water absorption of $0,29 \pm 0,13\%$, impact strength of $6,5 \pm 0,7$ kJ/m². The resulting product can be used in the manufacture of windows, floors, road construction, aircraft manufacturing, thermal insulation, moldings, manhole covers, flooring for livestock farms, agriculture, and agrotechnical complex.

Keywords: polymer concrete, composites, foam plastic waste, polyvinyl chloride, hot pressing.**Введение**

ПВХ и ПСВ в современном мире используются во всех отраслях промышленности и особенно в быту, строительстве, медицине, производстве упаковки, напольных покрытий, обуви и бытовых предметов [1], [3]. Пенополистирол (ПСВ) нашел применение в теплоизоляции, строительстве стен, полов, кровель, фундаментов и трубопроводов, а также в качестве упаковочного материала для бытовой техники и хрупких грузов, судостроении, создании объёмных декораций. Основная масса отходов ПСВ состоит из незагрязненных обрезков и остатков при строительстве и упаковке. Особое внимание нужно уделять пластифицированным отходам, у которых повышенная горючесть [2].

На данный момент в России существуют разработки по получению из ПВХ и древесных отходов профильно-погонажных изделий [7], [8], [9], [10], дверных и оконных профилей, труб [11], изготовления строительных изделий из смеси полимерных отходов полиэтилена, полистирола, поливинилхлорида [12], модифицированных ПВХ-материалов с повышенной износостойкостью [4], [5], [6], композиций строительного назначения с полифункциональными наполнителями. Используют для получения изделий различного назначения в основном первичный полимер или его отходы, собираемые у населения и промышленных предприятий [14].

Как показывает практика, за границей отходы полимеров и композитов утилизируются в основном пиролизом, сжиганием, фото- или биоразложением, а также захоронением. Довольно широко известно, что композиты изготавливаются из первичных материалов [13], [15], а вот такие изделия, как предметы культурно-бытового назначения, промышленности, строительства, теплоизоляции и т.д. возможно и нужно перерабатывать повторно для получения новых продуктов потребления. Становится понятно и очевидно, что композиционные материалы на их основе довольно выгодно из-за растущего на них годами спроса, а вместе с тем и не теряющих своей актуальности вопросов охраны окружающей среды.

Соответствующая литература, множество патентов и разработок по этому направлению говорят о том, что данная тематика исследований является актуальной.

Таким образом, цель настоящего исследования состоит в создании полимербетона, обладающего высокими эксплуатационными свойствами, физико-механическими и техническими параметрами.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

– Рассмотреть достижения в области получения полимербетонов на основе первичного и вторичного сырья в ведущих научных изданиях.

– Осуществить анализ технологических параметров получения.

– Провести изучение свойств разработанного материала и его зависимость от экспериментальных значений.

– Рекомендовать разработку кафедры на внедрение в промышленность.

1.1. Практическая значимость

Разработанные полимербетоны на основе отходов ПВХ С70 и отходов пенопласта благодаря полученным высоким эксплуатационным свойствам, физико-механическим и техническим параметрам в будущем станут достойными конкурентами или хорошей заменой изделиям из очень дорогих материалов.

1.2. Теоретическая значимость работы

– Изделия на основе ПВХ С70 и отходов ПСВ по своим показателям имеют преимущество перед аналогичным ему древесно-полимерным композитом (ДПК).

– С помощью математического моделирования установлена взаимосвязь свойств полученных образцов с составом композиции.

– Выявлено, что при увеличении количества отходов пенопласта и модификаторов, а также снижением количества ПВХ плотность практически не изменяется, а при увеличении количества песка она увеличивается. Также показано, что увеличение концентрации всех составляющих снижает водопоглощение, а добавление и увеличение количества песка снижает прочность на сжатие.

Методы и принципы исследования

В данном исследовании объектами исследования были выбраны следующие ингредиенты: ПВХ марки С70, отходы пенопласта, модификаторы органического происхождения и песок мелких фракций (0,16 мм). Образцы были получены методом горячего прессования.

Отходы пенопластов — это смесь дробленных отходов теплоизоляционных материалов полистирола химического предприятия, производящего теплоизоляцию (г. Владимир). Данные по фракционному составу отходов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Фракционный состав отходов

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.1>

Содержание отходов по фракциям, масс. %	Фракция, мм				
		1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	
	1,92	2,40	14,76	27,58	53,34

Для наполнения полимербетона и получения нужных свойств и характеристик применён песок мелких фракций с Улыбышевского карьера (Владимирская область, ГОСТ 8736-93). Для получения образцов взята фракция песка 0,16 мм (табл. 2).

Таблица 2 - Фракционный состав песка

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.2>

Размер сита, №	0,315:0,63	0,16:0,315	<0,16
Доля фракции, мас. %	37,0	55,0	8,0

Основные компоненты и модификаторы сперва взвешивались в нужном количестве, потом шло перемешивание в шаровой мельнице, а затем образцы получали горячим прессованием. Готовые образцы испытывались на прочность при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа (ГОСТ 10180-2012), плотность ρ , кг/м³ (ГОСТ 12730.1-2020), водопоглощение В, % (ГОСТ 12730.3-2020), прочность на удар (ГОСТ Р 57948-2017).

Для хорошей сходимости и сопоставимости результатов, а также малой рассеянности погрешности применён метод математического планирования эксперимента по плану Бокса-Бенкина размерности К=3 [16].

Основные результаты

С помощью данного метода по стандарту реализуются 17 опытов на трех уровнях варьирования, приведённые в таблице 3. Зафиксированными параметрами — температура, время изготовления образцов и давление прессования.

Таблица 3 - Факторы и уровни их варьирования

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.3>

Фактор	Обозначение	Единицы измерения	Уровни варьирования факторов		
			верхний	нулевой	нижний
			Кодированное обозначение		
			+1	0	-1
ПВХ С70	X ₁	Мас.ч	100	80	60
ПСВ	X ₂	Мас.ч	40	30	20
Песок	X ₃	Мас.ч	600	500	400

После проведения эксперимента получили экспериментальные данные по характеристикам, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Экспериментальные данные разработанных образцов

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.4>

№ образца	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Ударная прочность, кДж/м ²	Прочность на сжатие, МПа
1	2000	0,15	3,6	13,3
2	1570	0,05	4,3	39,2
3	1920	0,04	6,5	16,7
4	2030	0,42	2,6	9,4
5	2040	0,38	5,2	37,5
6	1800	0,04	5,5	61,6
7	2110	0,06	4,4	10,6
8	2080	0,19	6,2	16,1
9	2150	0,05	7,2	25,3
10	2010	0,5	5,4	67,7
11	2210	0,1	3,5	35
12	1850	0,18	4,2	27,5
13	2110	0,12	5,2	40,3
14	2030	0,1	5,3	21,9
15	2090	0,2	4,1	33,3
16	2210	0,09	6,2	15,6
17	2120	0,2	5,6	30,3

В ходе проведения математического моделирования были рассчитаны следующие уравнения регрессии взаимосвязи свойств изделий с их составом:

$$Y_1 (\rho, \text{кг/м}^3) = 2092 - 91,25x_1 + 52,5x_2 + 96,25x_3 - 129,75x_1^2 - 82,25x_2^2 + 45,25x_3^2 + 135x_{12} + 52,5x_{13} + 55x_{23}$$

$$Y_2 (A, \text{кДж/м}^2) = 5,28 + 1,0125x_2 - 1,15x_{12}$$

$$Y_3 (\sigma_{сж}, \text{МПа}) = 28,28 + 12,55x_1 - 8,0625x_3 + 11,1975x_3^2 - 12,475x_{23}$$

$$Y_4 (W, \%) = 0,142 - 0,0575x_2 + 0,12x_{12} + 0,1175x_{13}$$

По расчетам все модели адекватны.

Далее в программе Microsoft Excel построили поверхности отклика зависимости свойств материалов от состава композиции.

На рис. 1–4 приведены зависимости свойств материала от состава полимербетона при различных значениях концентраций компонентов.

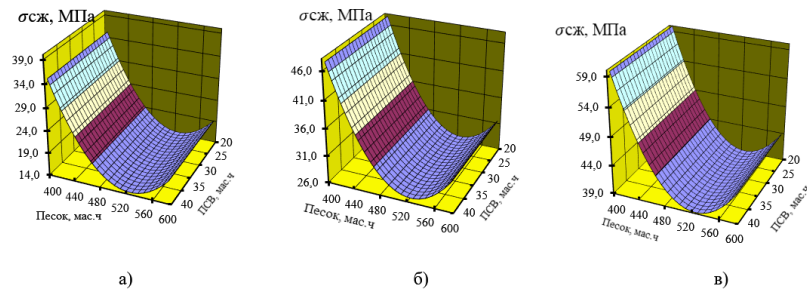


Рисунок 1 - Зависимость прочности при 20 %-ном сжатии полимербетона от концентрации компонентов при различном содержании песка:

a - 400; *б* - 500; *в* - 600

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.5>

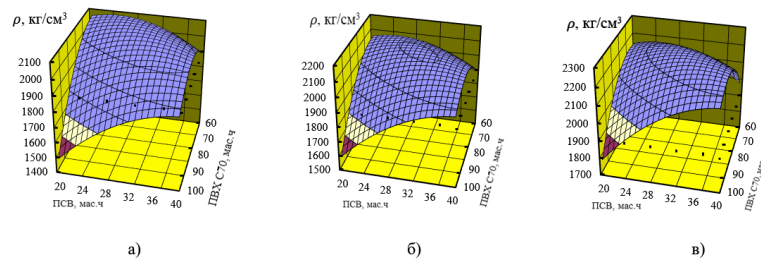


Рисунок 2 - Зависимость плотности полимербетона от концентрации компонентов при различном содержании песка:

a - 400; *б* - 500; *в* - 600

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.6>

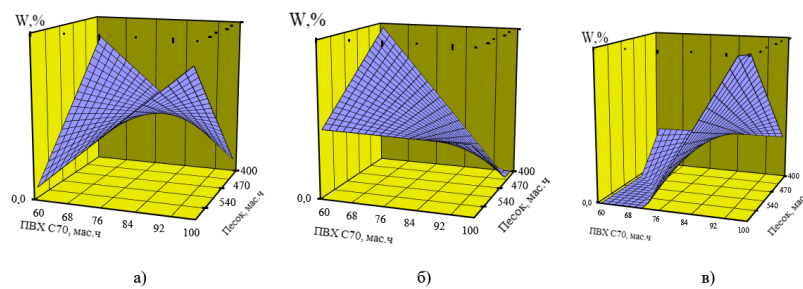


Рисунок 3 - Зависимость водопоглощения полимербетона от концентрации компонентов при различном содержании песка:

a - 400; *б* - 500; *в* - 600

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.7>

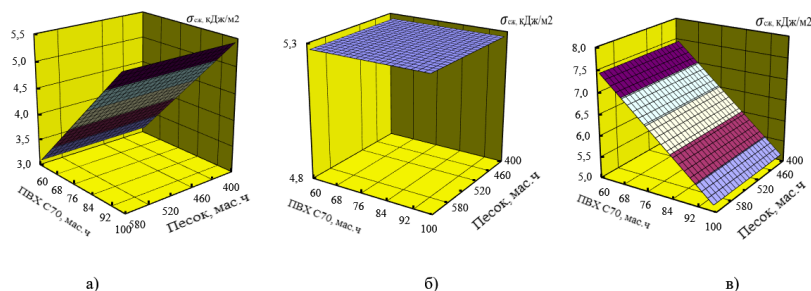


Рисунок 4 - Зависимость ударной прочности полимербетона от концентрации компонентов при различном содержании песка:

а - 400; б - 500; в - 600

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.8>

Исходя из приведенных графиков зависимости видно, что свойства изделий изменяются различным способом от содержания концентрации компонентов. Прочность при 20%-ном сжатии изменялась от 9,4 до 67,7 МПа в зависимости от состава. Плотность составила 1570–2210 кг/м³. Водопоглощение изменялось от 0,04 до 0,42%. Ударная прочность изменялась от 2,6 до 7,2 кДж/м²

В таблице 5 приведен сравнительный анализ разработанного материала и выбранного аналога.

Таблица 5 - Сравнительная характеристика разработанного полимербетона и аналога

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.71.8.9>

Характеристики	Аналог (древесно-полимерный композит)	Разработанный композит на основе ПВХ С70 и отходов ПСВ
Прочность при сжатии, МПа	20-50	61,6±6,1
Плотность, кг/м ³	1100-1400	2024±186
Водопоглощение, %	1-5	0,29±0,13
Температура получения, °С	130-200	160
Ударная прочность, кДж/м ²	4-10	6,5±0,7
Тип поверхности	скользящая	нескользящая

Обсуждение

Ранее проведенные исследования создания композитов из довольно редких в использовании термопластичных полимеров показали себя достаточно успешными. Известны работы, в которых полиэтилен использовался как связующий для получения высоконаполненных композитов (наполнитель – песок). Вместе с тем у них отмечены очень важные слабые стороны и недостатки — низкая теплостойкость (до 50 °С), скользкая поверхность и фотодеструкция. Композиты на основе ПВХ и их смесей такими недостатками не обладают.

Заключение

В ходе исследований получены высоконаполненные композиты на основе ПВХ марки С70 и отходов ПСВ с использованием наполнителя песка.

Выявлены зависимости влияния концентрации компонентов композиции на свойства готовых изделий. По полученным уравнениям регрессии и построенным поверхностям отклика следует, что при увеличении концентрации компонентов плотность находится приблизительно на одном уровне, а при росте концентрации песка происходит увеличение плотности, снижение прочности на сжатие и водопоглощения композита.

Предложен для практического применения состав композита и его технологические параметры. Сравнительный анализ в таблице 5 показывает, что разработанный материал превосходит по своим показателям известный аналог, выпускаемый на рынке строительных материалов.

Вместе с тем проведенное исследование решает и важную экологическую проблему — загрязнение окружающей среды отходами полимерных материалов, которых становится всё больше из-за нарастающего потребления.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе: учебное пособие / А.Ф. Николаев. — Ленинград: Альянс, 2023. — 770 с.
2. Мухин Ю.Ф. Разработка полимерных композиций пониженной горючести на основе пластифицированного поливинилхлорида и полистирола: дис. ... канд. техн. наук / Мухин Юрий Федорович. — Москва, 1999. — 137 с.
3. Волкова К.С. Дegrадируемые полимерные композиционные материалы на основе ПВХ: дис. ... канд. техн. наук / Волкова Ксения Васильевна. — Санкт-Петербург, 2018. — 179 с.
4. Кири́н Б.С. Модифицированные ПВХ-материалы функционального назначения: дис. ... канд. техн. наук / Кири́н Борис Сергеевич. — Москва, 2009. — 104 с.
5. Низамов Р.К. Поливинилхлоридные композиции строительного назначения с полифункциональными наполнителями: дис. ... д-ра техн. наук / Низамов Рашит Курбангалиевич. — Казань, 2007. — 393 с.
6. Коробко Е.А. Разработка материалов на основе ПВХ с повышенной износостойкостью: дис. ... канд. техн. наук / Коробко Елена Александровна. — Москва, 2000. — 153 с.
7. Пат. 2358993 Российская Федерация, МПК C08L 27/06. Поливинилхлоридная композиция / Галеев Р.Р., Низамов Р.К., Абдрахманова Л.А., Колесникова И.В., Николаева Л.В., Хозин В.Г.; патентообладатель КГАСУ. — № 2007141087/04; заявл. 26.10.2007; опубл. 20.06.2009.
8. Пат. 2495065 С1 Российская Федерация, МПК C08L 27/06, C08K 5/5415, C08K 3/30. Способ получения экструзионной поливинилхлоридной композиции строительного назначения и композиция, полученная этим способом / Прокопов Н.И., Маркузе И.Ю., Симонов-Емельянов И.Д., Персиц В.Г., Марков А.В., Иванов В.В., Ганиев Э.Ш., Аншин В.С., Марков В.А.; патентообладатель ЗАО «Терна Полимер», МИТХТ им. М.В. Ломоносова. — № 2012110911/05; заявл. 22.03.2012; опубл. 10.10.2013.
9. Пат. 2583812 С2 Российская Федерация, МПК C08L 27/06. Полимерная композиция на основе поливинилхлорида / Исламов А.М., Фахрутдинова В.Х., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г.; патентообладатель КГАСУ. — № 2013125890/05; заявл. 04.06.2013; опубл. 10.05.2016.
10. Пат. 2210579 Российская Федерация, МПК C08L27/06. Поливинилхлоридная композиция / Гафурянович Ш.Ф. — № 2000121124/04; заявл. 04.08.2000; опубл. 20.08.2003.
11. Пат. 2543869 Российская Федерация, МПК C09K21/06. Огнестойкий вспененный полимерный композиционный материал и способ его получения / Есаулов С.К. — № 2013117711/05; заявл. 18.04.2013; опубл. 10.03.2015.
12. Лутфуллаев С.Ш. Стабилизация ПВХ химическими добавками / С.Ш. Лутфуллаев, Ф.Л.К. Давронова // Universum: химия и биология. — 2019. — № 7 (61). — С. 31–33.
13. Шварц О. Основы переработки полимеров методом прессования / О. Шварц, Ф.В. Эбелинг, Б. Фурт; под. общ. ред. А.Д. Паниматченко. — Санкт-Петербург: Профессия, 2005. — 320 с.
14. Литвинова Ю.В. Изучение свойств полимербетонных / Ю.В. Литвинова, В.А. Литвинова // Университетская наука. — 2019. — № 1 (7). — С. 41–47.
15. Кудина Е.Ф. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е.Ф. Кудина, К.В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. — 2022. — Т. 8. — № 4. — С. 77–86.
16. Берикашвили Б.Ш. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы / Б.Ш. Берикашвили, С.П. Оськин. — Москва: Юрайт, 2018. — 263 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nikolaev A.F. Sinteticheskie polimeri i plasticheskie massi na ikh osnove: uchebnoe posobie [Synthetic Polymers and Plastics Based on Them] / A.F. Nikolaev. — Leningrad: AlyanS, 2023. — 770 p. [in Russian]
2. Mukhin Yu.F. Razrabotka polimernikh kompozitsii ponizhennoi goryuchesti na osnove plastifitsirovannogo polivinilkhlorida i polistirola [Development of low-flammability polymer composites based on plasticized polyvinyl chloride and polystyrene]: dis. ... of PhD in Technical Sciences / Mukhin Yurii Fedorovich. — Moscow, 1999. — 137 p. [in Russian]
3. Volkova K.S. Degradiруемые polimernie kompozitsionnie materialy na osnove PVKh [Degradable PVC-based polymer composite materials]: dis. ... of PhD in Technical Sciences / Volkova Kseniya Vasilevna. — Saint Petersburg, 2018. — 179 p. [in Russian]
4. Kirin B.S. Modifitsirovannye PVKh-materialy funktsionalnogo naznacheniya [Modified functional PVC materials]: dis. ... of PhD in Technical Sciences / Kirin Boris Sergeevich. — Moscow, 2009. — 104 p. [in Russian]
5. Nizamov R.K. Polivinilkhloridnie kompozitsii stroitel'nogo naznacheniya s polifunktsionalnimi napolnitelyami [Polyvinyl chloride compositions for construction purposes with multifunctional fillers]: dis. ... of PhD in Technical Sciences / Nizamov Rashit Kurbangalievich. — Kazan, 2007. — 393 p. [in Russian]



6. Korobko Ye.A. Razrabotka materialov na osnove PVKh s povishennoi iznosostoikostyu [Development of PVC-based materials with increased wear resistance]: dis. ... of PhD in Technical Sciences / Korobko Yelena Aleksandrovna. — Moscow, 2000. — 153 s. [in Russian]
7. Pat. 2358993 Russian Federation, IPC C08L 27/06. Polivinilkhloridnaya kompozitsiya [Polyvinyl chloride composition] / Galeev R.R., Nizamov R.K., Abdrakhmanova L.A., Kolesnikova I.V., Nikolaeva L.V., Khozin V.G.; the patentee KSUACE. — № 2007141087/04; appl. 26.10.2007; publ. 20.06.2009. [in Russian]
8. Pat. 2495065 C1 Russian Federation, IPC C08L 27/06, C08K 5/5415, C08K 3/30. Sposob polucheniya ekstruzionnoi polivinilkhloridnoi kompozitsii stroitel'nogo naznacheniya i kompozitsiya, poluchennaya etim sposobom [Method for producing an extruded polyvinyl chloride composition for construction purposes and a composition obtained by this method] / Prokopov N.I., Markuze I.Yu., Simonov-Emelyanov I.D., Persits V.G., Markov A.V., Ivanov V.V., Ganiev E.Sh., Anshin V.S., Markov V.A.; the patentee Terna Polymer CJSC, MITHT named after M.V. Lomonosov. — № 2012110911/05; appl. 22.03.2012; publ. 10.10.2013. [in Russian]
9. Pat. 2583812 C2 Russian Federation, IPC C08L 27/06. Polimernaya kompozitsiya na osnove polivinilkhlorida [Polymer composition based on polyvinyl chloride] / Islamov A.M., Fakhrutdinova V.Kh., Abdrakhmanova L.A., Khozin V.G.; the patentee KSUACE. — № 2013125890/05; appl. 04.06.2013; publ. 10.05.2016. [in Russian]
10. Pat. 2210579 Russian Federation, IPC C08L27/06. Polivinilkhloridnaya kompozitsiya [Polyvinyl chloride composition] / Gafuryanovich Sh.F. — № 2000121124/04; appl. 04.08.2000; publ. 20.08.2003. [in Russian]
11. Pat. 2543869 Russian Federation, IPC C09K21/06. Ognestoikii vspenennii polimernii kompozitsionnii material i sposob yego polucheniya [Fire-resistant foamed polymer composite material and method for producing same] / Yesaulov S.K. — № 2013117711/05; appl. 18.04.2013; publ. 10.03.2015. [in Russian]
12. Lutfullaev S.Sh. Stabilizatsiya PVKh khimicheskimi dobavkami [Stabilization with Chemical Additives] / S.Sh. Lutfullaev, F.L.K. Davronova // Universum: khimiya i biologiya [Universum: Chemistry and Biology]. — 2019. — № 7 (61). — P. 31–33. [in Russian]
13. Schwartz O. Osnovi pererabotki polimerov metodom pressovaniya [Fundamentals of Polymer Processing by Pressing] / O. Schwartz, F.V. Ebeling, B. Furth; ed. by A.D. Panimatchenko. — Saint Petersburg: Professiya, 2005. — 320 p. [in Russian]
14. Litvinova Yu.V. Izuchenie svoystv polimerbetonov [Study of the properties of polymer concrete] / Yu.V. Litvinova, V.A. Litvinova // Universitetskaya nauka [University science]. — 2019. — № 1 (7). — P. 41–47. [in Russian]
15. Kudina Ye.F. Metodi utilizatsii i retsiklinga polimernikh kompozitsionnikh materialov [Methods of utilization and recycling of polymer composite materials] / Ye.F. Kudina, K.V. Yefimchik // Polimernie materialy i tekhnologii [Polymer materials and technologies]. — 2022. — Vol. 8. — № 4. — P. 77–86. [in Russian]
16. Berikashvili B.Sh. Statisticheskaya obrabotka dannikh, planirovanie eksperimenta i sluchainie protsessy [Statistical data processing, experimental design and random processes] / B.Sh. Berikashvili, S.P. Oskin. — Moscow: Yurait, 2018. — 263 p. [in Russian]