



## Наполнение поливинилхлоридной смеси полимеров вспученным перлитовым песком

К.Р. Хузиахметова<sup>1</sup>, Л.А. Абдрахманова<sup>1</sup>, Р.К. Низамов<sup>1,2</sup>,  
К.С. Матвеев<sup>1</sup>, Е.А. Сучкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* На данный момент актуальным остается вопрос утилизации отходов промышленности, утративших свои потребительские свойства. К числу таких отходов можно отнести отработанный вспученный перлитовый песок, образующийся на некоторых производствах Республики Татарстан. Применение отходов при наполнении полимеров – это важная и актуальная тема, которая связана с улучшением свойств полимерных материалов, снижением их стоимости и решением экологических проблем. Поэтому *целью работы* является оценка эффективности применения вспученного перлитового песка в качестве наполнителей поливинилхлоридных смесей полимеров. *Задачами работы* являются изучение поверхности разных фракций вспученного перлитового песка и их влияния на физико-механические и технологические свойства композиций на основе поливинилхлорида и смеси полимеров поливинилхлорид-сополимер.

*Результаты.* Основные результаты исследования показали наличие у мелкодисперсных фракций наполнителя более плотной упаковки за счет преобладающих разрушенных агрегатов. Вне зависимости от фракции вспученного перлитового песка прочность находится на одном и том же уровне как для поливинилхлоридной матрицы, так и смеси поливинилхлорид-сополимер. При этом наполнение положительно сказывается на технологических свойствах композиций, особенно для крупных фракций (0,315 мм и 0,63 мм), а также нефракционированного вспученного перлитового песка.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что с помощью определенных фракций отработанного вспученного перлитового песка можно регулировать технологические процессы при изготовлении профильно-погонажных изделий без потери прочностных свойств.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид, сополимер, смесь полимеров, вспученный перлитовый песок, наполнитель, профильно-погонажные изделия

**Для цитирования:** Хузиахметова К.Р., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К., Матвеев К.С., Сучкова Е.А. Наполнение поливинилхлоридной смеси полимеров вспученным перлитовым песком // Известия КГАСУ, 2024, № 3(69), с. 6-14, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.1, EDN: DIAQIP

# Filling of polyvinyl chloride polymer mixture with expanded perlite sand

K.R. Khuziakhmetova<sup>1</sup>, L.A. Abdrakhmanova<sup>1</sup>, R.K. Nizamov<sup>1,2</sup>,  
K.S. Matveev<sup>1</sup>, E.A. Suchkova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Academy of Science of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

**Abstract:** *Problem statement.* At the moment, the issue of recycling industrial waste that has lost its consumer properties is relevant. Such waste includes spent expanded perlite sand, which is formed in some industries of the Republic of Tatarstan. The use of waste in filling polymers is an important and relevant topic that is associated with improving the properties of polymeric materials, reducing their cost and solving environmental problems. Therefore, the aim of the work is to evaluate the effectiveness of the use of expanded perlite sand as fillers of polyvinyl chloride mixtures of polymers. The objectives of the work are to study the surface of different fractions of expanded perlite sand and their effect on the physical, mechanical and technological properties of compositions based on polyvinyl chloride and a polyvinyl chloride-copolymer polymer mixture.

*Results.* The main results of the study showed that fine fractions of the filler have a denser packing due to the predominantly destroyed aggregates. Regardless of the fraction of expanded perlite sand, the strength is at the same level for both the polyvinyl chloride matrix and the polyvinyl chloride-copolymer mixture. At the same time, the filling has a positive effect on the technological properties of the compositions, especially for large fractions (0.315 mm and 0.63 mm), as well as unfractionated expanded perlite sand.

*Conclusions.* The significance of the obtained results for the construction industry is that the use of certain fractions of spent expanded perlite sand can regulate technological processes in the manufacture of profiled and molded products without losing strength properties.

**Keywords:** polyvinyl chloride, copolymer, polymer mixture, expanded perlite sand, filler, profile and molding products

**For citation:** Khuziakhmetova K.R., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K., Matveev K.S., Suchkova E.A. Filling of polyvinyl chloride polymer mixture with expanded perlite sand // News of KSUAE, 2024, № 3(69), p. 6-14, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.1, EDN: DIAQIP

## 1. Введение

Вспученный перлит является широко используемым материалом во всем мире [1]. Благодаря своей низкой насыпной плотности в основном используется при изготовлении строительных материалов (в качестве наполнителя для бетонов [2], тепло- и звукоизоляции [3–5]), а также в сельском хозяйстве. Кроме того, специально подготовленный вспученный перлит может использоваться для фильтрации стоков [6–8]. При этом как в процессе получения, так и при применении вспученного перлита образуется значительное количество его отходов. Информация об утилизации отходов вспученного перлита достаточно ограничена. Текущие исследования показали, что отходы перлита могут быть использованы в качестве сырья для синтеза цеолитов при низких температурах [9,10]. Кроме того, отработанный вспученный перлитовый песок (ВПП) применяется в качестве заменителя кварцевого песка при производстве автоклавного газобетона [11]. Также были найдены исследования по наполнению ВПП пластмасс.

ВПП нашел свое применение в наполнении пластифицированных композиций. Например, в работе [12] рассматривается наполнение термоэластопластичной смеси полимеров на основе полиэтилена (ПЭ) и бутадиен-стирольного каучука (ДСТ Р 30-00). Авторы отметили, что замена мела на ВПП является эффективной при получении уплотнителей и приводит к снижению плотности до 30%, теплопроводности, а также

повышает прочность и эластичность материалов. Высокопористость ВПП не всегда позволяет добиться его равномерного смешения с полимером, поэтому в исследованиях [13,14] предложено введение большого количества ВПП (до 75 м.ч.) в ПВХ-композиции через пластификатор. Отметим, что благодаря высокой пористости пластификатор может поглощаться, при этом дисперсность частиц также влияет на результат. Наилучшие показатели наблюдаются для фракций более 0,25 мм (термостабильность, водопоглощение), а также для непросеянного ВПП (текучесть расплава), но одновременно с этим прочность значительно падает.

Кроме того, имеются исследования по разработке жестких композитов с применением ВПП. Для изготовления пластиковых труб с целью избегания абразивного износа оборудования и повышения прочности в инертной атмосфере или в вакууме на поверхность ВПП осаждался ПЭ высокой плотности. Впоследствии данный наполнитель вводился в ПЭ-композицию [15]. Также известно, что на прочностные свойства жестких ПВХ-композиций введение 10 м.ч. ВПП не оказывает отрицательного влияния, а пористость ВПП способствует стабилизации полимера<sup>1</sup>.

С учетом того, что практически все жесткие композиции на основе ПВХ являются смесями полимеров, особую актуальность приобретают исследования в области наполнения таких составов отходами отработанного ВПП, который ежегодно образуется в отвалах промышленный производств Республики Татарстан.

Целью работы является наполнение поливинилхлоридной смеси полимеров вспученным перлитовым песком.

Объектом исследования являются наполненные разными фракциями отработанного ВПП композиции на основе ПВХ и смеси полимеров ПВХ-сополимер. Предмет исследований – влияние наполнителя на физико-механические и технологические свойства ПВХ и смеси полимеров на основе ПВХ.

Задачами исследования являются:

- Изучение поверхности разных фракций ВПП, предназначенных для наполнения;
- Сравнение физико-механических и технологических свойств композиций на основе ПВХ и смеси полимеров ПВХ-сополимер, наполненных разными фракциями ВПП.

## 2. Материалы и методы

В качестве полимерной матрицы использовался поливинилхлорид марки С-6359-М, комплексный стабилизатор марки АКСТАВ Рb BLS 51, стабилизатор-смазка – стеарат кальция и модификатор ударной прочности в виде неполярного бутадиен-стирольного блок-сополимера. Наполнение ВПП осуществлялось в присутствии и отсутствии сополимера.

За 2022 год на в отвалах предприятия ПАО «Нижнекамскнефтехим» образовалось около 1 тыс. тонн ВПП в виде отработанной тепловой засыпки криогенных установок, утратившего свои потребительские свойства. В таблице 1 представлен химический состав ВПП<sup>1</sup>.

Таблица 1

Химический состав ВПП<sup>1</sup>

Содержание в % на массу абсолютно сухой навески												
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Ппп.
74,93	0,08	12,38	0,55	0,36	0,91	0,09	0,17	3,29	4,64	0,02	<0,05	2,22

Размеры частиц отработанного ВПП значительно отличаются между собой. В связи с этим было проведено его фракционирование (табл. 2). Согласно ГОСТ 10832-2009, преобладающий интервал фракций находится в диапазоне от 0,16 до 1,25 мм, что относится к группе мелких песков, остальное до 0,16 мм – очень мелкий.

<sup>1</sup> Галеев Р.Р., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Вспученный перлитовый песок: особенности модификации поливинилхлоридных композиций // Известия КГАСУ. 2016. Т. 36, № 2. С. 166–171

Таблица 2

## Гранулометрический состав ВПП

Размер частиц, мм	> 5	2,5-5	1,25-2,5	0,63-1,25	0,315-0,63	0,16-0,315	0,063-0,16	менее 0,063
Содержание фракций, %	0	0	2,84	30,00	25,31	25,43	15,48	0,92

Для наполнения ПВХ-композиций было отобрано 4 фракции ВПП (0,063 мм, 0,16 мм, 0,315 мм и 0,63 мм), которые сравнивались с нефракционированным вспученным перлитовым песком (Н ВПП). Поскольку насыпная плотность ВПП составляет 150-300 кг/м<sup>3</sup>, наполнение осуществлялось по объему, что в пересчете на 100 м.ч. ПВХ составило 0,46 м.ч.

Перемешивание всех компонентов осуществлялось на лабораторном диссольтвере с трехлопастной пропеллерной насадкой серии ЛДУ-3 МПР при 600 об/мин в течение 4 мин.

Плоские профили из ПВХ-композиций были получены на лабораторном экструдере LabTechScientific LTE 16-40 при температуре 188-200 °С и скоростью вращения шнеков 25 об/мин.

Пленочные образцы готовились на лабораторных вальцах ЛБ 200 100/100 Э при температуре валков 120-130 °С в течение 3-4 мин. Каждая серия образцов готовилась одновременно при одинаковом температурном режиме, а также при одной и той же толщине зазора между валками ~ 0,01-0,02 см.

Прочность при растяжении определялась на разрывной машине РМ-250 по ГОСТ 11262-2017 при скорости перемещения траверсы 100 мм/мин. Кривые напряжение-деформация были построены на разрывной машины ТРМ-П 50 С1 (1 С3) при скорости перемещения траверсы 100 мм/мин.

Термостабильность определялась на пленочных образцах, измельченных до размеров 2×2 мм весом 2-4 г, и характеризовалась временем индукционного периода от начала погружения пробирки в термическую печь до изменения цвета индикатора в процессе выделения HCl во время дегидрохлорирования ПВХ при 180 °С по ГОСТ 14041-91.

Показатель текучести расплава (ПТР) определялся на пластометре Франка по ГОСТ 11645-2021. Заранее подготовленные пленочные образцы массой 3 г были нагреты до 185 °С и нагружены 21,6 кг. Значение ПТР определялось по массе образцов, вышедших из капилляра диаметром 2 мм и достигнувших стабильного течения.

Исследование поверхности ВПП проводилось на лабораторном поляризационном микроскопе Axioskop 40 Pol в режимах проходящего света при увеличении 100 крат.

### 3. Результаты и обсуждение

Поверхность разных фракций ВПП (рис. 1) в основном представлена в виде пористого бесцветного прозрачного алюмосиликатного стекла и обладает открыто-пористой структурой, при этом в мелкодисперсных фракциях преобладают не только пористая сферическая форма частиц, но и подвергшаяся при фракционировании разрушенная оболочка ВПП (рис.1, «а» и «б»). Следовательно, незначительное воздействие на более крупные фракции ВПП способно привести к разрушению агрегатов, что, в свою очередь, снизит количество сферических частиц. Более крупные фракции в основном были представлены целостной пористой оболочкой (рис.1, «в» и «г»).

Как сообщалось<sup>2</sup>, 10 м.ч. ВПП может привести к снижению прочности при растяжении аналогично инертным наполнителям по сравнению с ненаполненным жестким составом. Однако введение 10 м.ч. легкого объемного наполнителя нецелесообразно ввиду пылеобразования при перемешивании компонентов. При том чем мельче фракция, тем больше пыли образуется. В связи с этим авторами данной статьи высчитывалась концентрация по объему, которая составила 0,46 м.ч.

<sup>2</sup> Галеев Р.Р. Разработка поливинилхлоридных строительных материалов с использованием неорганических отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Галеев Руслан Разинович. – Казань, 2007. – 178 с.

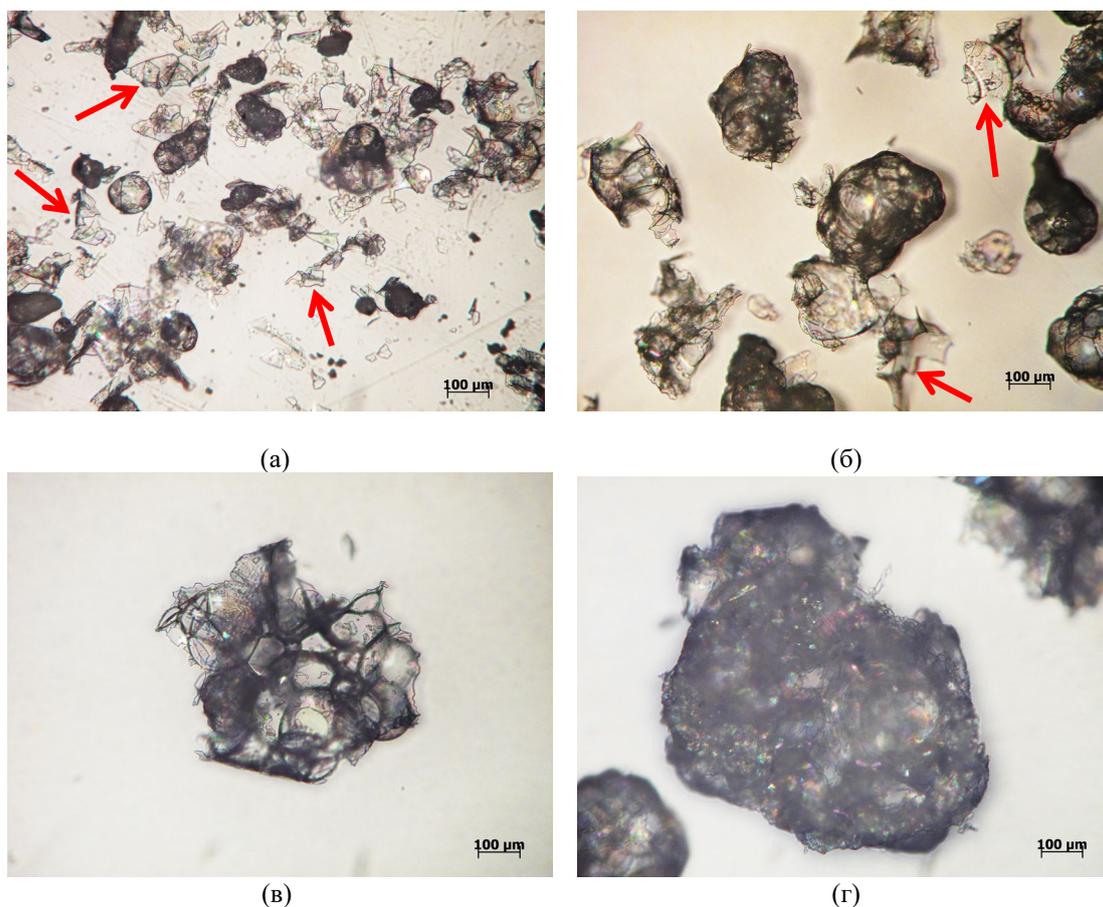


Рис. 1. Оптическая микроскопия ВПП с размером фракций:  
 (а) – 0,063 мм; (б) – 0,16 мм; (в) – 0,315 мм; (г) – 0,63 мм (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Optical microscopy of EPS with fraction sizes:  
 (a) – 0.063 mm; (b) – 0.16 mm; (c) – 0.315 mm; (d) – 0.63 mm (illustration by the authors)

Из данных, представленных на рис.2, можно увидеть снижение прочности при растяжении с введением сополимера. Однако данный параметр остается на уровне рекомендуемых показателей для жестких профильно-погонажных изделий на основе ПВХ. При этом наполнение малыми дозами ВПП не приводит к дальнейшему падению прочности. Поэтому на рис.3 в качестве примера представлены кривые растяжения напряжения от деформации при наполнении Н ВПП.

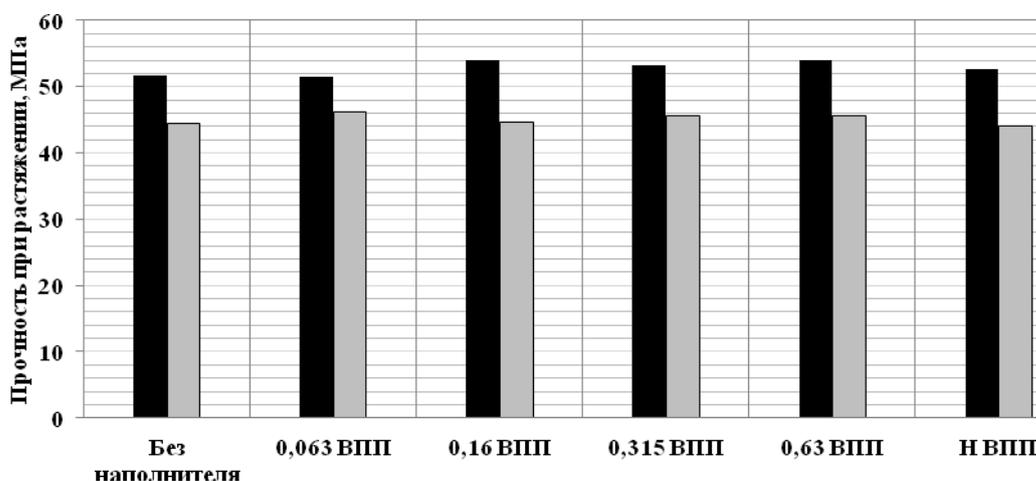


Рис. 2. Прочность при растяжении ПВХ-композиции:  
 ■ – без сополимера; ■ – с сополимером (иллюстрация авторов)  
 Fig. 2. Tensile strength of PVC composition:  
 ■ – without copolymer; ■ – with copolymer (illustration by the authors)

По рис.3 видно, что характер деформирования наполненных и ненаполненных ПВХ-композиций зависит от наличия сополимера. Наличие сополимера приводит к вынужденной эластической деформации как для наполненной, так и ненаполненной композиций. Наполнение Н ВПП способствует более хрупкому разрушению при ранних деформациях по сравнению с ненаполненными ПВХ-композициями.

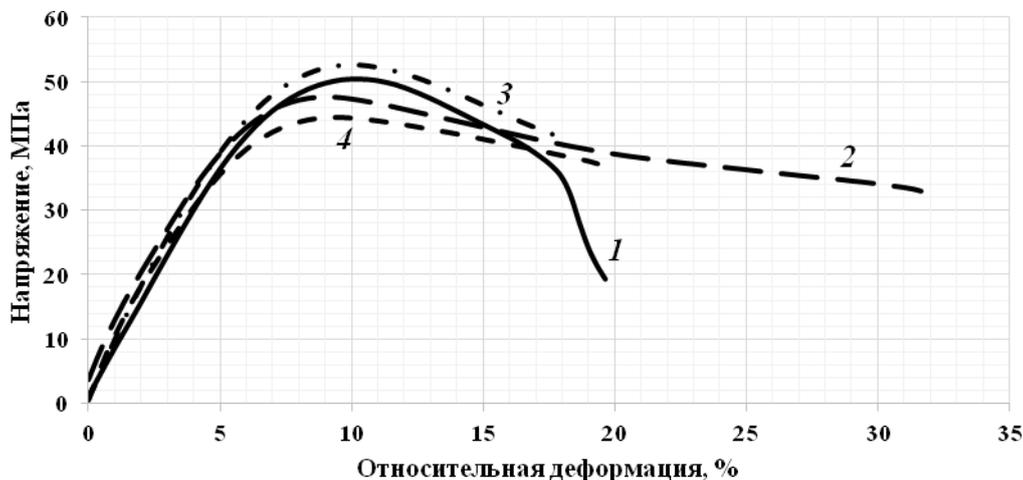


Рис.3. Кривые растяжения напряжение-деформация ПВХ-композиций с Н ВПП:

- 1 – без наполнителя, без сополимера; 2 – без наполнителя, с сополимером;
- 3 – с наполнителем, без сополимера; 4 – с наполнителем, с сополимером; (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Stress-strain curves of PVC composites with H EPS:

- 1 – without filler, without copolymer; 2 – without filler, with copolymer;
- 3 – with filler, without copolymer; 4 – with filler, with copolymer; (illustration by the authors)

В табл.3 представлены более подробные данные деформативно-прочностных свойств ПВХ-композиций с Н ВПП. При максимально достигнутом усилии при растяжении вне зависимости от наличия наполнителя относительное удлинение без сополимера находится на уровне 10,00-10,33%, а с сополимером – 9,00-9,33%, что, в целом, говорит о том, что в присутствие сополимера упорядочение и ориентация цепей происходит раньше, чем в его отсутствие. В точке разрыва без наполнителя и сополимера прочность начинает резко падать до 19,33 МПа в интервале деформаций от 18 до 19,66% в то время, как с наполнителем разрыв наступает при 18,33% и составляет 40,46 МПа. При этом при введении сополимера в точке разрыва прочность наполненной композиции выше (37,32 МПа), но относительная деформация значительно ниже (19,33%) по сравнению с ненаполненным составом (32,97 МПа и 31,66%).

Таблица 3

Деформативно-прочностные свойства ПВХ-композиций с Н ВПП

Показатель	Без сополимера / С сополимером	
	Без наполнителя	Н ВПП
Предел прочности при растяжении $\sigma_{max}$ , МПа	50,34 / 47,60	52,68 / 44,55
Относительное удлинение при макс. усиллии $\epsilon_m$ , %	10,33 / 9,00	10,00 / 9,33
Прочность в точке разрыва $\sigma_p$ , МПа	19,33 / 32,97	40,64 / 37,32
Относительное удлинение в точке разрыва $\epsilon_p$ , %	19,66 / 31,66	18,33 / 19,33

В табл.4 представлены данные, позволяющие выявить влияние ВПП на перерабатываемость ПВХ-композиций в присутствии и отсутствии сополимеров. При сравнении наполненных композиций удалось определить, что наличие сополимера способно повысить термостабильность в 1,3-1,5 раза, при этом наибольшее значение наблюдается при наполнении фракцией ВПП, равной 0,63 мм. В целом, это может следовать из возможности сорбирования микропорами хлористого водорода, выделяющегося при термодеструкции ПВХ. Более текучими оказались составы с

фракциями наполнителя 0,315 мм, 0,63 мм и Н ВПП. Вероятно, мелкодисперсные фракции ВПП (0,063 мм и 0,16 мм) из-за разрушенных агрегатов создают более плотную упаковку в полимере и смеси полимеров, образуя менее рыхлый слой на границах раздела «полимер-наполнитель» и «полимер-сополимер-наполнитель». При этом наполнитель, взаимодействуя с сополимером, приводит к незначительному повышению ПТР по сравнению с ненаполненными составами.

Таблица 4

Технологические свойства ПВХ-композиций

Показатель	Наличие сополимера	Без наполнителя	ВПП 0,063	ВПП 0,16	ВПП 0,315	ВПП 0,63	Н ВПП
Термостабильность, мин	Нет	71	173	155	157	184	163
	Есть	110	206	209	230	242	213
ПТР, г/10 мин	Нет	2,12	3,25	3,28	3,52	3,61	3,51
	Есть	2,01	3,40	3,44	3,64	3,82	3,70

В целом, тенденция по изменению показателей перерабатываемости композиций сохраняются с ранее проведенными исследованиями в жестких ПВХ-композициях<sup>1,2</sup>. ПТР (3,51-3,70 г/10 мин) согласуются с ранними исследованиями, в которых в состав ПВХ-композиции входили 100 м.ч. ПВХ С-7058М, 10 м.ч. Н ВПП, 2 м.ч. стеарат свинца и 2 м.ч. стеарат кальция (ПТР равен 3,6 г/10 мин).

Показатель термостабильности в рассматриваемых композициях выше термостабильности ПВХ-композиции из работы<sup>1</sup> почти в 2 раза (163 мин по сравнению с 85 мин). Причиной здесь может быть, как различие в марках суспензионного ПВХ, а также и влияние второго компонента смеси полимеров – блок-сополимера, так как его введение в базовую композицию приводит к росту показателя термостабильности. Сравнение данных по наполнению пластифицированных ПВХ-композиций ВПП, представленных в работе [13], также подтверждает эффективность применения блок-сополимеров. Например, максимальное значение ПТР в композициях, содержащих пластификатор диоктилфталат, составляет всего 1,9 г/10 мин. При этом ПТР в жестких ПВХ-композициях в присутствии блок-сополимера из табл. 4 значительно выше и находится в диапазоне от 2,01 до 3,82 г/10 мин, что может быть связано с ролью блок-сополимеров в качестве структурных пластификаторов ПВХ.

#### 4. Заключение

Методом оптической микроскопии удалось определить, что в мелкодисперсных фракциях преобладают разрушенные частицы более крупных фракций и, вероятно, нахождение частиц сферической формы имеется в меньшей степени. Это может привести к более плотной упаковке композитов, поскольку пористых агрегатов не так много.

ВПП всех фракций оказывает нейтральное воздействие на прочность как для матрицы ПВХ, так и для смеси полимеров ПВХ-сополимер. Однако имеется положительное влияние на технологические свойства композиций, особенно это оказалось характерным для крупных фракций (0,315 мм и 0,63 мм) и Н ВПП. Данный эффект является положительным фактом, поскольку при предварительном перемешивании композиций с крупными фракциями в меньшей степени будет происходить пылеобразование.

#### Список литературы / References

1. Reka A.A. et al. Chemical, mineralogical and structural features of native and expanded perlite from Macedonia // Geol. Croat. 2019. Vol. 72, № 3.
2. Sharma B., Sharma R., Bansal P.P. Effect of fine aggregate replacement with expanded perlite and pumice on the development of lightweight concrete // Aust. J. Civ. Eng. 2022. Vol. 20, № 1.
3. Vyšvařil M. et al. Non-hydrophobized perlite renders for repair and thermal insulation purposes: Influence of different binders on their properties and durability // Constr. Build. Mater. 2020. Vol. 263.

4. Zagorodnyuk L. et al. Modified heat-insulating binder using jet-grinded waste of expanded perlite sand // *Constr. Build. Mater.* 2020. Vol. 260.
5. Benjeddou O., Ravindran G., Abdelzaher M.A. Thermal and Acoustic Features of Lightweight Concrete Based on Marble Wastes and Expanded Perlite Aggregate // *Buildings.* 2023. Vol. 13, № 4.
6. Ульрих Д.В. Использование природных сорбентов в технологии очистки поверхностных стоков с территорий горно-перерабатывающих предприятий // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* 2018. № S41. С. 3–10. [Ul'rix D.V. Use of natural sorbents in the technology of surface runoff treatment from the territories of mining and processing enterprises // *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).* 2018. № S41. P. 3–10].
7. Joseph C., Rodier C. Renovation of Domestic Waste-Water by Unsaturated Filtration in a Bed of Expanded Perlite // *Environ. Technol.* 1994. Vol. 15, № 7.
8. Vardanian M.A. Oily waste water treatment in industrial filters with expanded perlite moving bed // *Water Ecol.* 2016. Vol. 2016, № 1.
9. Król M. et al. Spectroscopic investigation of hydrothermally synthesized zeolites from expanded perlite // *Microporous Mesoporous Mater.* 2019. Vol. 196.
10. Król M., Matras E., Mozgawa W. Sorption of Cd<sup>2+</sup> ions onto zeolite synthesized from perlite waste // *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2016. Vol. 13, № 11.
11. Różycka A., Pichór W. Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete // *Constr. Build. Mater.* 2018. Vol. 120.
12. Монастырский Д.И., Бережная Д.И., Севостьянова А.А., Кузнецов Д.Н., Васильев А.Н. Применение вспученного перлитового песка для производства термоэластопластов строительного назначения // *Инженерный вестник Дона.* 2019. Т. 56, № 5. С. 47–58. [Monastyrsky D.I., Berezhnaya D.I., Sevostyanova A.A., Kuznetsov D.N., Vasiliev A.N. Use of expanded perlite sand for the production of thermoplastic elastomers for construction purposes // *Engineering journal of Don.* 2019. Vol. 56, No. 5. P. 47–58.]
13. Галеев Р.Р. Особенности наполнения пластифицированного ПВХ высокопористым наполнителем // *Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация.* 2011. Т. 59, № 2. С. 25–29. [Galeev R.R. Features of filling plasticized PVC with a highly porous filler // *Social-economic and technical systems: research, design and optimization.* 2011. Vol. 59, No. 2. P. 25–29.]
14. Galeev R.R., Mubarakshina L.F., Abdrahmanova L.A. Reinforcement of polymers by means of modification with an implementation of porous fillers // *Biosci. Biotechnol. Res. Asia.* 2014. Vol. 11, № 3.
15. Полимерная композиция для изготовления труб : пат. SU 939484 A1 СССР. № 2952390/23-05 ; заявл. 04.07.1980; опубл. 30.06.1982, Бюл. № 24 – С. 5. [Polymer composition for the manufacture of pipes : patern SU 939484 A1 of the USSR. № 2952390/23-05 ; decl. 04.07.1980; publ. 30.06.1982. Bull. in № 24. P. 5.]

#### Информация об авторах

**Хузиахметова Карина Рустамовна**, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: karina261996@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5313-3147

**Абдрахманова Ляйля Абдулловна**, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: laa@kgasu.ru, ORCID: 0000-0003-3905-5730

**Низамов Рашит Курбангалиевич**, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Академик Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: Nizamov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-3448-7369

**Матвеев Константин Сергеевич**, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация  
E-mail: kosma8@bk.ru

**Сучкова Екатерина Андреевна**, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация  
E-mail: katasuckova2004@gmail.com

#### Information about the authors

**Karina R. Khuziakhmetova**, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: karina261996@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5313-3147

**Lyailya A. Abdrakhmanova**, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: laa@kgasu.ru, ORCID: 0000-0003-3905-5730

**Rashit K. Nizamov**, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Academic of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

E-mail: Nizamov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-3448-7369

**Konstantin S. Matveev**, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: kosma8@bk.ru

**Ekaterina A. Suchkova**, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: katasuckova2004@gmail.com