

УДК 691.545
 DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596>
 EDN: GSLTQR
 Научная статья



ВЯЖУЩИЕ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ЦЕМЕНТА И КЕРАМЗИТОВОЙ ПЫЛИ

Д. С. Махортов, Л. Х. Загороднюк, Н. А. Шаповалов, Д. А. Сумской
 Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
 г. Белгород, Россия
denis-mahortov1995@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4850-1173>
LHZ47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8441-6999>
<https://orcid.org/0000-0003-0484-2574>
pr9nik2011@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0001-6139>

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье приведены результаты получения вяжущих композиций оптимального состава на основе портландцемента и отходов керамзитового производства – керамзитовой пыли. Проведены исследования гранулометрического состава, представлены результаты испытаний вяжущих композиций различных составов: цемент – керамзитовая пыль, прошедших совместную механоактивацию в вибрационной мельнице. Разработаны и установлены составы вяжущих композиций с широким спектром применения.

Используя метод электронной микроскопии, были сделаны микрофотографии сколов цементных камней, полученных на основе портландцемента и различного содержания отходов керамзитового производства – керамзитовой пыли, прошедших совместную механоактивацию в вибрационной мельнице. Отмечается активное зарастание открытых пор цементных камней, полученных вяжущих композиций новообразованиями различных размеров.

После использования керамзитовой пыли в качестве сырьевой смеси наблюдается уплотнение структуры композита.

Материалы и методы. В исследованиях применяли портландцемент ЦЕМО 52,5Н (ГОСТ 31108–2020) ЗАО «Белгородский цемент» и керамзитовую пыль – отходы производства керамзита. Механоактивацию выполняли путем помола в вибрационной мельнице. Нормальная густота определялась при помощи прибора Вика согласно ГОСТу. Гранулометрический состав исследовали с помощью прибора AnalyssetteNanoTescplus. Микроструктуру изучали с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU. С целью построения дифрактограмм был использован прибор ARL X'TRA ThermoFisher Scientific.

Результаты. Вяжущая композиция с оптимальной дозировкой керамзитовой пыли демонстрирует увеличение прочностных характеристик по сравнению с рядовым портландцементом, при этом наблюдается уплотнение структуры цементного камня, о чем свидетельствуют показатели плотности и микрофотографии образцов.

Обсуждение и заключение. Применение отходов производства керамзита – керамзитовой пыли в качестве минерального наполнителя вяжущей композиции позволяет экономить дорогостоящий портландцемент, при этом увеличивая прочностные характеристики вяжущей композиции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вяжущая композиция, отходы производства керамзита – керамзитовая пыль, портландцемент, минеральный наполнитель

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовом обеспечении гранта РНФ № 22-19-20115.

Статья поступила в редакцию 26.05.2022; одобрена после рецензирования 27.06.2022; принята к публикации 27.07.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Махортов Д. С., Загороднюк Л. Х., Шаповалов Н. А., Сумской Д. А. Вяжущие композиции из цемента и керамзитовой пыли // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 4 (86). С. 584-596. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596>

© Махортов Д. С., Загороднюк Л. Х., Шаповалов Н. А., Сумской Д. А., 2022



Контент доступен под лицензией
 Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596>

EDN: GSLTQR

Original article

CEMENT AND CLAYDITE DUST BINDING COMPOSITIONS

Denis S. Makhortov*, Liliya Kh. Zagorodnyuk, Nikolay A. Shapovalov, Dmitry A. Sumskoy

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,

Belgorod, Russia

denis-mahortov1995@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4850-1173>

LHZ47@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8441-6999>

<https://orcid.org/0000-0003-0484-2574>

pr9nik2011@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0001-6139>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The article presents the production results for binder compositions of the optimal proportion based on Portland cement and claydite waste - claydite dust. The granulometric composition studies have been conducted, test results for binder compositions of different proportions are presented: cement - claydite dust, jointly mechanically activated in a vibrating mill. The binder compositions with a wide range of use have been developed and determined. Using the electron microscopy method, microphotographs of cement stones chips made from Portland cement and different contents of claydite dust, which have been mechanically activated in a vibrating mill, were taken. There is active overgrowth of open pores in cement stones obtained from binder compositions by neoplasms of various sizes.

After the use of claydite dust as a raw mix, the structure of the composite is compacted.

Materials and methods. ЦЕМО 52.5N Portland cement (GOST 31108-2020) produced by ZAO Belgorodskii Cement and claydite dust, the waste of claydite dust production, were used in the work. The mechanical activation was performed by grinding in a vibrating mill. The normal density was determined using the Vic's device according to GOST. The granulometric composition was studied using the AnalyssetteNanoTecplus device. The microstructure was studied using a high-resolution scanning electronic TESCAN MIRA 3 LMU microscope. In order to construct diffractograms, the ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific device was used.

Results. The binding composition of the optimal proportion of claydite dust demonstrates an increase in strength characteristics, there is a compaction of the cement stone structure compared to ordinary Portland cement.

Discussion and conclusions. The use of waste from the production of claydite – claydite dust as a mineral filler of the binder composition makes it possible to save expensive Portland cement, while increasing the strength characteristics of the binder composition.

KEYWORDS: binding composition, claydite production waste – claydite dust, Portland cement, mineral filler.

ACKNOWLEDGEMENTS: The study was carried out with the financial support of the RSF grant No. 22-19-20115.

The article was submitted 26.05.2022; approved after reviewing 27.06.2022; accepted for publication 27.07.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Makhortov D. S., Zagorodnyuk L.H., Shapovalov N.A., Sumskoy D.A. Cement and claydite binding compositions // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (4): 584-596. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-584-596>

© Makhortov D. S., Zagorodnyuk L. Kh., Shapovalov N. A., Sumskoy D. A., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит постоянная эволюция строительных технологий. Перед учеными стоит задача в разработке новейших строительных материалов, для этого необходимо находить пути использования сырья, которое до этого было признано непригодным в строительстве. Особенно это очень актуально для регионов, где нет местного природного сырья, но есть возможность использовать отходы техногенного происхождения производимых различными предприятиями [1, 2]. В настоящее время успешно осуществляются научно-исследовательские работы по получению целевых композиционных вяжущих с требуемыми физико-механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Вяжущие композиции – это совокупность продуктов вяжущего (например, портландцемента) после механохимической активации, с минеральными добавками специального назначения (модификаторами).

Химические добавки, а также активные компоненты, применяются исходя из требуемых показателей конечной продукции. К примеру, добавки-модификаторы, которые влияют на физико-механические, технические, а также реологические свойства вяжущего, подвижность теста и сроки схватывания.

Химические добавки дают возможность наделить необходимыми свойствами композиционные вяжущие. Важную роль играет правильный подбор химических добавок для композиционных вяжущих, используемых в создании наливных полов. Ведь получение высокой подвижности смеси требует использования данного вида модификаторов.

Минеральные наполнители отличаются от химических модификаторов тем, что хуже растворяются в воде, так как они являются порошками и получают из техногенного и природного сырья. Таким образом, с их помощью образуется тонкодисперсная часть твердой фазы строительных бетонов и растворов.

Минеральные добавки имеют определенную классификацию: неактивные – выполняют роль микронаполнителя и активные, которые характеризуются высокой гидравлической активностью или пуццоланическими свойствами.

Использование наполнителей минерального происхождения [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], обладающих высокой дисперсностью, дает возможность раскрыть потенциал вяжущих веществ, что позволит увеличить их эксплуатационные и физико-механические характеристики.

Получение такого рода вяжущих композиций подразумевает принцип управления

технологией на всех этапах производства, начиная от подбора сырьевых компонентов до готового продукта.

Подбор исходных материалов, их пропорции, активность и дисперсность определяют свойства вяжущих. Увеличение дисперсности частиц иногда может оказывать негативные последствия, поэтому важно контролировать тонину помола вяжущего. При подборе концентрации минеральных наполнителей важно следить, чтобы их частицы со всех сторон были окружены связующим.

Ряд ученых [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30] провели обширные исследования по оптимизации составов композиционных вяжущих, используя минеральные наполнители различного происхождения, а также соответствующие добавки.

Резюмируя выше изложенное, необходимо отметить, что механоактивация имеет огромное значение при изготовлении композиционных вяжущих. Ведь получение оптимальной дисперсности за счет механического измельчения будет способствовать получению вяжущих композиций с высокими техническими и физико-механическими характеристиками. При этом не остается сомнений в том, что в перспективе в строительстве лидирующее место будут занимать модифицированные и композиционные вяжущие.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При проведении экспериментальной части работы применяли портландцемент ЦЕМ0 52,5Н (ГОСТ 31108–2020) ЗАО «Белгородский цемент» и керамзитовую пыль – отходы производства керамзита.

Составы № 2 – № 4 и № 6 – № 8 готовили помолом в вибрационной мельнице в течение 10 и 20 мин с различной дозировкой керамзитовой пыли: 10; 20; 30%. Для сравнения был исследован товарный цемент при соответствующей механоактивации № 1 и № 5 (таблица).

На основании ГОСТ 310.3–76 использовался прибор Вика и были определены показатели нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста.

С целью определения физико-механических характеристик полученных модифицированных вяжущих были заформованы кубы размером 30×30×30 мм в количестве 4–6 шт. для каждого состава. Испытания на прочность проводились в возрасте 2 и 28 сут.

Определение гранулометрического состава проводилось на приборе Analysette 22 NanoTecplus, который имеет полный диапазон измерений 0,01–2000 мкм и представляет собой универсальный лазерный прибор для надежного и эффективного определения распределения размеров частиц.

Микроскопические исследования были выполнены на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Построение рентгенограмм было выполнено при использовании прибора ARL X'TRA ThermoFisher Scientific. Рентгенофазовый анализ (РФА) дает возможность определить составы изучаемых материалов и оценить качество цементов и клинкеров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты испытаний вяжущих композиций отражены в таблице.

Гранулометрический состав полученных вяжущих композиций с наилучшими показателями прочности составов № 6 и № 7 (с содержанием керамзитовой пыли 10 и 20% при 20 мин помола) исследовали с помощью прибора AnalyssetteNanoTecplus (рисунок 1), удельная поверхность в среднем составляла 638 м²/кг.

Таблица

Показатели физико-механических исследований вяжущих композиций составов (цементо-керамзитовая пыль), приготовленных в вибрационной мельнице

Источник: составлено авторами.

Table

Indicators of physical mechanical tests of binding compositions contents: cement - claydite dust prepared in a vibrating mill

Source: compiled by the authors.

№ составов п/п	Составы	НГ, %	Сроки схватывания, мин		R _{сж} ¹ МПа		Плотность, кг/м³
			начало	конец	2 сут	28 сут	
Время механоактивации – 10 мин							
1	Ц=100%	28,75	130	170	22,45	59,07	2185
2	Ц/КП=90/10%	34,72	139	178	28,18	74,16	2287
3	Ц/КП=80/20%	35,93	149	187	26,33	69,28	2231
4	Ц/КП=70/30%	41,07	156	199	24,03	63,24	2216
Время механоактивации – 20 мин							
5	Ц=100%	31,66	165	203	28,42	66,90	2222
6	Ц/КП=90/10%	35,27	168	211	30,84	81,15	2314
7	Ц/КП=80/20%	36,88	177	219	29,74	78,28	2296
8	Ц/КП=70/30%	41,80	185	227	26,85	70,65	2277

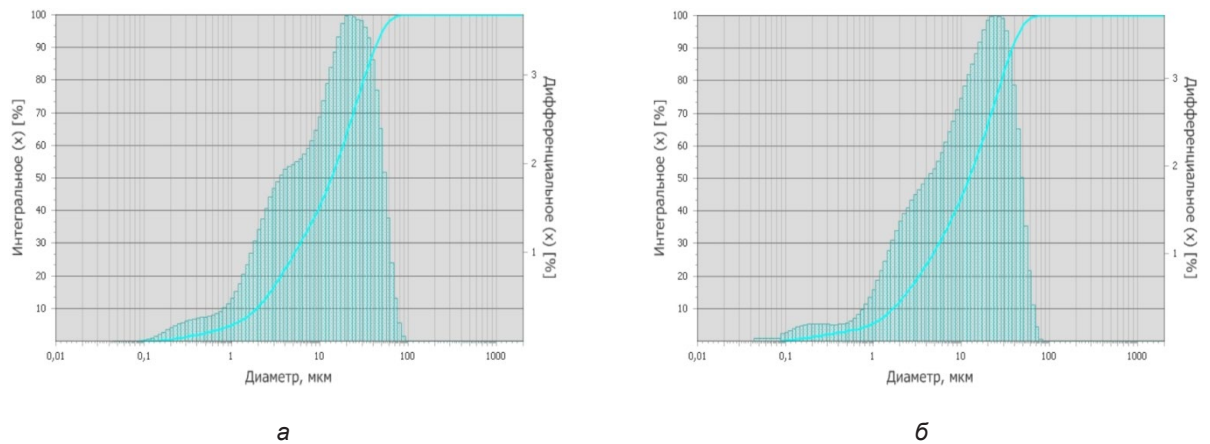


Рисунок 1 – Гранулометрическое распределение частиц вяжущих композиций (цемент/керамзитовая пыль): а – 90/10%; б – 80/20%, активированных в вибрационной мельнице в течение 20 мин

Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Granulometric particle distribution of binding compositions: cement/ claydite dust=a) 90/10%; b)80/20%, activated in a vibrating mill for 20 minutes

Source: compiled by the authors.

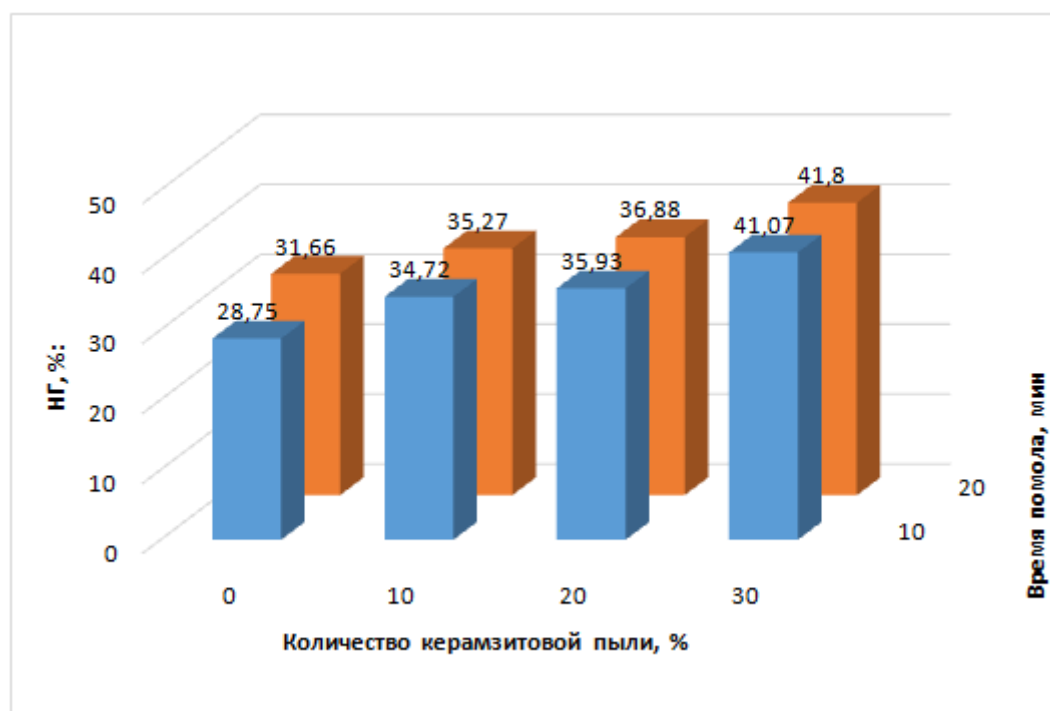


Рисунок 2 – НГ вяжущих композиций (составов № 1 – № 8) с разным количеством керамзитовой пыли, активированных в течение 10 и 20 мин в вибрационной мельнице
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Standard consistency of binding compositions (compositions No. 1 - No. 8) with different amounts of clayite dust activated for 10 and 20 min in a vibrating mill
Source: compiled by the authors.

Показатели нормальной густоты полученных вяжущих композиций возросли после добавления 30% керамзитовой пыли на 42,85% после помола в течение 10 мин и на 32,03% при механоактивации в течение 20 мин соответственно. Такой прирост является следствием высокой дисперсности минерального наполнителя (рисунок 2).

Изучая сроки схватывания вяжущих композиций в сравнении с портландцементом, активированным в течение 10 мин, отмечается, что начало срока схватывания вяжущих композиций в зависимости от содержания керамзитовой пыли увеличивается от 6,92 до 20,00%, а начало схватывания композиций с керамзитовой пылью от 10 до 30% увеличилось в сравнении с активированным цементом в течение 20 мин от 1,82 до 12,12%, а конец схватывания от 3 до 11,82%. Это объясняется значительным количеством минерального наполнителя, который толстым слоем покрывает зерна цемента, тем самым препятствуя проникновению воды для осуществления их гидратации.

Изучая прочностные характеристики, нужно отметить вяжущую композицию (при помоле в 20 мин) с показателем прочности 81,15 МПа, которая имеет в своем составе 10% керамзитовой пыли. Данный показатель выше результатов бездобавочных цементов на 21,30%. Содержание 20% керамзитовой пыли и такое же время механоактивации демонстрирует прочность в 78,28 МПа, что превышает прочность исходного цемента на 17,01%. Аналогичные дозировки, но при 10 мин механоактивации, также показали высокие результаты прочности – 74,16 и 69,28 МПа, это выше результатов портландцемента на 25,55 и 16,87%. Незначительное увеличение прочностных показателей на 7,06 и 5,61% дает дозировка в 30% при 10 и 20 мин помола (рисунок 3).

Анализируя выше изложенные данные, можно рекомендовать применять керамзитовую пыль с ее механоактивацией в количестве до 30% в цементные композиции, что обеспечит повышение прочности до 20% при экономии дорогостоящего энергоемкого портландцемента.

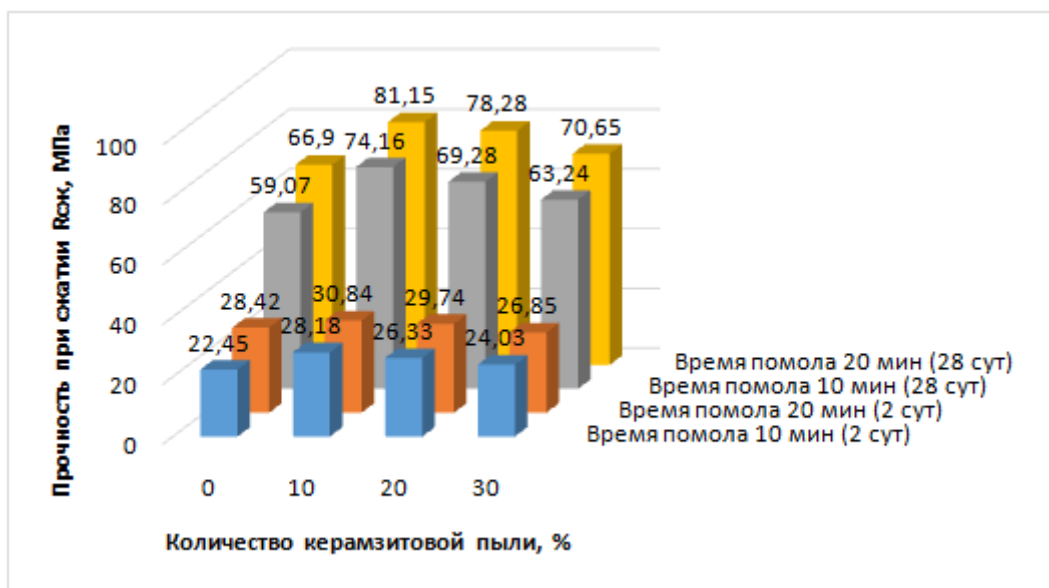


Рисунок 3 – Прочностные характеристики вяжущих композиций с разным количеством керамзитовой пыли, активированных в течение 10 и 20 мин в вибрационной мельнице
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Strength characteristics of binding compositions with different amounts of clayite dust activated for 10 and 20 minutes in a vibrating mill
Source: compiled by the authors.

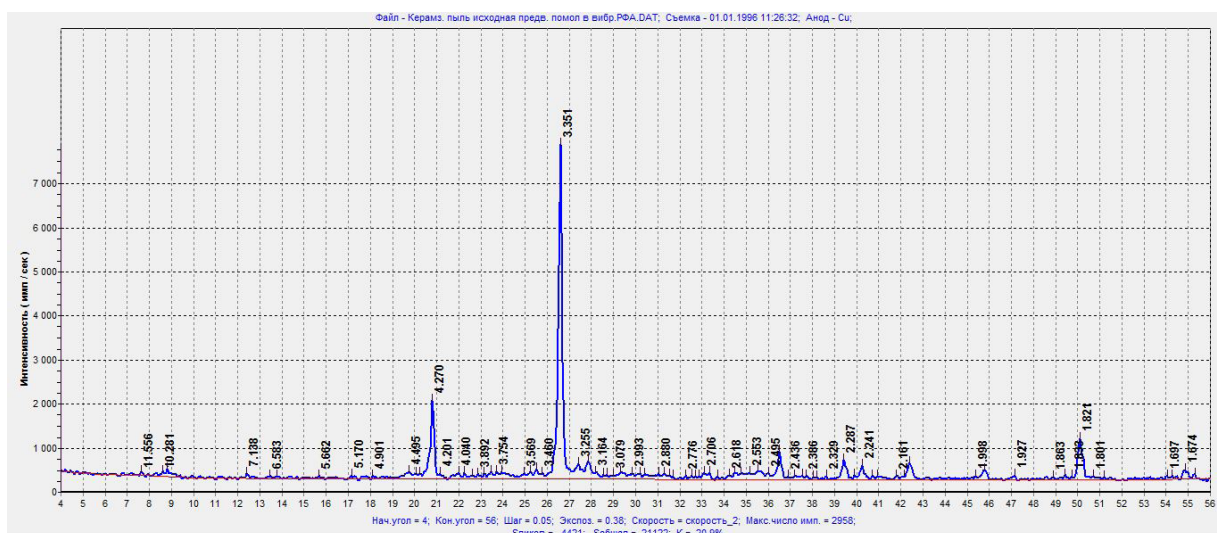


Рисунок 4 – Диффрактограмма исследуемой керамзитовой пыли
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Diffractogram of the clayite dust under the study
Source: compiled by the authors.

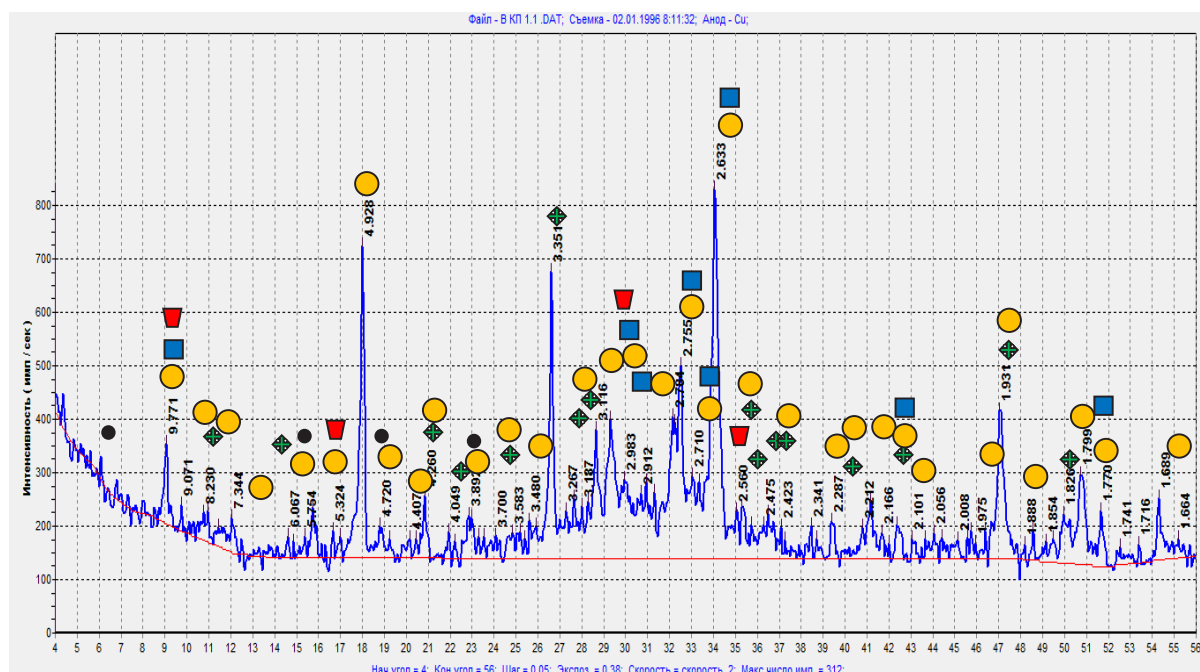


Рисунок 5 – Дифрактограмма гидратированного портландцемента с содержанием 10% керамзитовой пыли, 20 мин помола в вибрационной мельнице

◆ – SiO_2 ; ● – Ca(OH)_2 ; ■ – CSH(II) ▼ – C_2AH_8 ● – этtringит

Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Diffractogram of hydrated Portland cement containing 10% claydite dust, 20 min grinding in a vibrating mill
Source: compiled by the authors.

Рентгенофазовый анализ пробы исследуемой керамзитовой пыли представлен на рисунке 4, данные РФА показали, что проба представлена: кварцем ($d = 4,24; 3,35; 2,45; 2,28; 2,23; 1,81 \text{ \AA}$); гидрослюдами ($d = 10,01; 4,56; 3,34 \text{ \AA}$); полевыми шпатами ($d = 3,31; 3,22; 4,21 \text{ \AA}$); каолинитом ($d = 7,11; 4,44; 2,56 \text{ \AA}$); монтмориллонитом ($d = 14,3; 4,47; 3,06; 2,6 \text{ \AA}$).

Анализ дифрактограмм гидратированной вяжущей композиции с содержанием 10% керамзитовой пыли, активизированной в течение 20 мин в вибрационной мельнице (рисунок 5), показал, что продукты гидратации представлены гидросиликатами кальция CSH(II) ; гидроалюминатами кальция C_2AH_8 , Ca(OH)_2 , в незначительном количестве отмечаются сле-

ды этtringита, а также присутствует SiO_2 внесенной керамзитовой пыли.

Полученные результаты физико-механических испытаний наглядно подтвердили исследования микроструктуры сколов образцов прогидратированных в течение 28 сут. Для проведения сравнительного анализа полученных композитов на первом этапе изучали микроструктуру исходного минерального наполнителя (рисунок 6), отмечается, что минеральный наполнитель – керамзитовая пыль представлена зернами менее 1 мкм , а также встречаются зерна размером до 20 мкм , они имеют слоистое строение с высокой пористостью, при этом хаотически расположены в общем объеме.

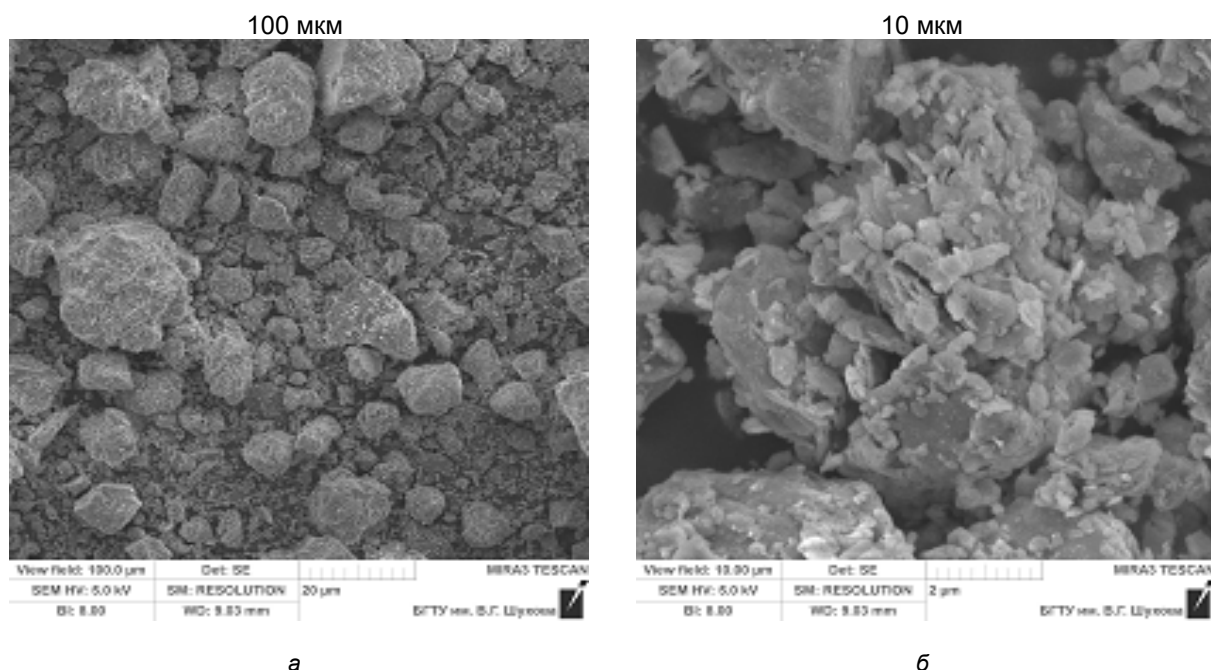


Рисунок 6 – Микроструктура керамзитовой пыли (измельченной в вибрационной мельнице):
а – увеличение 100 мкм; б – увеличение 10 мкм
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Microstructure of claydite dust (crushed in a vibrating mill):
a) increase of 100 microns; b) increase of 10 microns
Source: compiled by the authors.

Рассматривая микроструктуру вяжущей композиции с содержанием портландцемента и керамзитовой пыли в количестве 10%, прошедшей активацию в вибрационной мельнице, установлено формирование плотной сросшейся структуры композита (рисунок 7). На фото отчетливо видны частички керамзитовой пыли, обросшие гидросиликатами кальция и алюминия, кристаллические новообразования проникли в межслоевое пространство керамзитовой пыли и сформировали густую заросшую структуру. В сколах микрофотографии хорошо просматриваются зерна минерального наполнителя, плотно обросшие кристаллогидратами кальция и алюминия. Сформированная плотная микроструктура композита подтверждается результатами физико-меха-

нических испытаний, показывающая высокую прочность 81,15 МПа в возрасте 28 сут (см. таблицу и рисунок 3).

Высокие результаты по прочности 78,28 МПа показала вяжущая композиция состава портландцемента и 20% керамзитовой пыли, активированная в вибрационной мельнице, в связи с этим представляет интерес рассмотрение микроструктуры этой композиции (рисунок 8). Структура данного композита достаточно плотная, все зерна минерального наполнителя покрыты новообразованиями гидросиликатов кальция и алюминия. На фото отчетливо видно зарастание пор, что свидетельствует о дальнейшей гидратации и нарастании прочности композита.

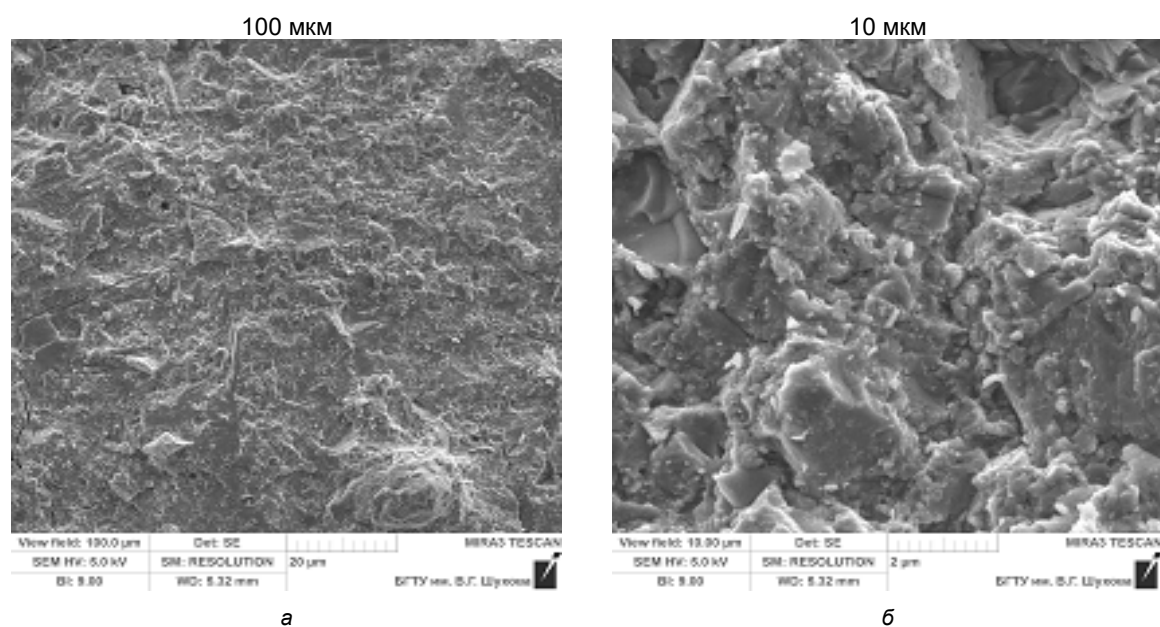


Рисунок 7 – Микроструктура образцов вяжущей композиции № 6 (цемент /керамзитовая пыль=90/10% при 20 мин активации в вибрационной мельнице):
а – увеличение 100 мкм; б – увеличение 10 мкм
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Microstructure of samples for binding composition No. 6: cement /claydite dust = 90/10% at 20 minutes of activation in a vibrating mill:
a) increase of 100 microns; b) increase of 10 microns
Source: compiled by the authors.

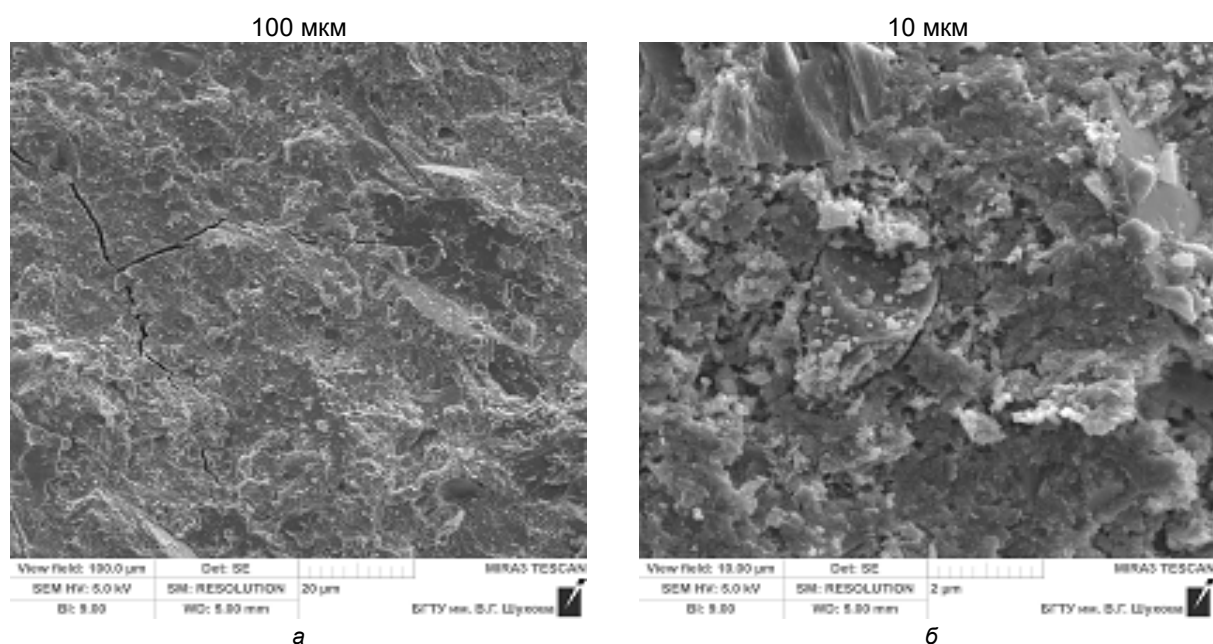


Рисунок 8 – Микроструктура образцов вяжущей композиции № 7 (цемент /керамзитовая пыль = 80/20% при 20 мин активации в вибрационной мельнице):
а – увеличение 100 мкм; б – увеличение 10 мкм
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Microstructure of samples for binding composition No. 7: cement /claydite dust = 80/20% at 20 minutes of activation in a vibrating mill
Source: compiled by the authors.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя полученные технологические и физико-механические показатели вяжущих композиций, следует отметить, что при увеличении продолжительности механоактивации и содержании минерального наполнителя в составе вяжущей композиции показатели НГ и сроков схватывания возрастают, что объясняется увеличением удельной поверхности минерального наполнителя, который толстым слоем покрывает зерна цемента, тем самым препятствуя проникновению воды для осуществления их гидратации.

Анализ микрофотографий вяжущих композиций портландцемент и керамзитовая пыль показывает, что к возрасту 28 сут в создаваемых композитах формируется надежная плотная структура гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, что подтверждается высокими физико-механическими показателями испытанных образцов. Образец с керамзитовой пылью в количестве 10% (за 20 мин помола) имеет прочность в 81,15 МПа, что лучше результата бездобавочных цементов на 21,30%. Это подтверждает целесообразность использования отходов производства керамзита – керамзитовой пыли – в качестве минерального наполнителя и экономить дорогостоящий портландцемент, при этом увеличивая прочностные характеристики вяжущей композиции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рахимов Р. З., Магдеев Р. З., Ярмаковский В. Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. 2009. № 12. С. 8–11.
2. Османов Н. Н. Смешанные вяжущие на основе дисперсных минеральных добавок // Цемент и его применение. 2005. С. 56–57.
3. Загороднюк Л. Х. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей / Л. Х. Загороднюк, В. С. Лесовик, А. В. Шамшуров, Д. А. Беликов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 25–31.
4. Лесовик В. С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В. С. Лесовик, Н. И. Алфимова, Е. А. Яковлев, М. С. Шейченко // Вестник БГТУ им. Шухова. 2009. № 1. С. 30–33.
5. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р. Научные, экспериментальные, технико-экономические предпосылки управления структурой и свойствами наполненных искусственных строительных композиционных материалов // Градостроительство. 2011. № 3. С. 73–79.
6. Лесовик В. С., Алфимова Н. И., Вишневская Я. Ю. Высокоэффективные композиционные

вяжущие с использованием наномодификатора // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2010. 90 с.

7. Гридчин А. М., Лесовик Р. В. Особенности производства ВНВ и бетона на его основе с использованием техногенного полиминерального песка // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2002. № 1. С. 36–37.

8. Zagorodnuk L. H., Lesovik V. S., Shkarin A. V., Belikov D. A., Kuprina A. A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 24. No. 11. pp. 1496–1502.

9. Загороднюк Л. Х., Лесовик В. С., Беликов Д. А. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. Москва. 2014. № 18. С. 112–119.

10. Загороднюк Л. Х., Лесовик В. С., Гайнутдинов Р. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. Москва. 2014. № 17. С. 93–98.

11. Lesovik V. S., Zagorodnuk L. H., Tolmacheva M. M., Smolikov A. A., Shekina A. Y., Shakarna M. H. I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. T. 11. No. 12. pp. 948–953.

12. Kuprina A. A., Lesovik V. S., Zagorodnyk L. H., Elistratkin M. Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. No. 9. pp. 816 – 819.

13. Рахимов Р. З. Керамзитовая пыль как активная добавка в минеральные вяжущие – состав и пуццолановые свойства / Р. З. Рахимов, М. И. Халиуллин, А. Р. Гайфуллин, О. В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 19. С. 57–61.

14. Рахимова Н. Р. Влияние добавок молотого боя керамического кирпича на состав и микроструктуру камня композиционного шлакощелочного вяжущего // Башкирский химический журнал. 2007. № 14. С. 83–86.

15. Locher F.W., Richartz W., Sprung S. Erstarren von Zement. Teil 1: Reaktion und Gefügeentwicklung // ZKG. 1976. No. 10. pp. 435–442.

16. Лесовик В. С., Загороднюк Л. Х., Шахова Л. Д. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей: монография. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. 169 с.

17. Котенко Е. А., Морозов В. Н., Анисимов В. Н. Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век // Геоэкологические проблемы безопасной эксплуатации горно-металлургического комплекса КМА. 2000. № 2. С. 22–24.

18. Лесовик В. С. Использование промышленных отходов КМА в производстве строительных материалов // Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. 1987. № 3. С. 57–58.

19. Козубская Т. Г. Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 2002. № 2. С. 10–12.

20. Строкова В. В. Новые технологии производства строительных материалов на основе нетрадиционного сырья КМА // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2004. № 5. С. 60–61.

21. Kouji O., A. Thomas, Bier Cement and Concrete Research. [Электронный ресурс]. 2010. No. 40. P. 1034 – 1040. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/cement-and-concrete-research>

22. Глуховский В. Д. Шлакощелочные цементы // Цемент. 1985. № 3. С. 11–12.

23. Рахимов Р. З., Гайфуллин А. Р., Халиуллин Р. З. Плотность упаковки зерен композиционного гипсового вяжущего в зависимости от дисперсности и гранулометрического состава // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 7. С. 129–131.

24. Бердов Г. И. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных добавок / Г. И. Бердов, Л. В. Ильина, В. Н. Зырянова, Н. И. Никоненко, А. В. Мельников // Стройпрофи [Электронный ресурс]. 2012. № 2. С. 26 – 29. Режим доступа: <http://stroy-profi.info/archive/10994>.

25. Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин В. В. Развитие теории формирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами // Известия вузов. Строительство. 1996. № 7. С. 55–58.

26. Скобло Л. И. Использование промышленных отходов в цементной промышленности США // Цемент и его применение. 2005. № 4. С. 75–77.

27. Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З., Хамитова Р. Ф. Композиционные шлакощелочные вяжущие с добавками молотого отсева дробления бетонного лома // Техника и технология силикатов. 2013. Т. 20. № 3. С. 9–15.

28. Рахимбаев Ш. М. К вопросу о фазовом составе и рациональном применении саморассыпающихся сталеплавильных шлаков / Ш. М. Рахимбаев, А. С. Погромский, Г. С. Духованый, Т. В. Анканова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2008. № 1. С. 49–52.

29. Горин В. М. Расширение областей применения керамзитового гравия / Горин В. М., С. А. Токарева, В. Ю. Сухов, П. Ф. Нехаев, В. Д. Авакова, Н. М. Романов // Строительные материалы. 2003. № 11. С. 19–21.

30. Самченко С. В., Макаров Е. М. Модифицирование макро- и микроструктуры композиционных материалов гидросиликатами кальция // Техника и технология силикатов. 2013. Т. 20, № 4. С. 20–24.

REFERENCES

1. Rahimov R. Z., Magdeev R. Z., Jarmakovskij V. N. Jekologija, nauchnye dostizhenija i innovacii v proizvodstve stroitel'nyh materialov na osnove i s primeneniem tehnogennogo syr'ja [Ecology, scientific achievements and innovations in the production of building materials based on and using technogenic

raw materials]. *Stroitel'nye materialy*. 2009; 12: 8 – 11. (in Russ.)

2. Osmanov N. N. Smeshannye vjazhushhie na osnove dispersnyh mineral'nyh dobavok [Mixed binders based on dispersed mineral additives]. *Cement i ego primenenie*. 2005: 56 – 57. (in Russ.)

3. Zagorodnjuk L. H., Lesovik V. S., Shamshurov A. V., Belikov D. A. Kompozicionnye vjazhushhie na osnove organo-mineral'nogo modifikatora dlja suhikh remontnyh smesej [Composite binders based on organo-mineral modifier for dry repair mixtures]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova*. 2014; 5: 25-31. (in Russ.)

4. Lesovik V. S., Alfimova N. I., Jakovlev E. A., Shejchenko M. S. K problem povyshenij ajeffektivnosti kompozicionnyh vjazhushhih [On the problem of increasing the efficiency of composite binders]. *Vestnik BGTU im. Shuhova*. 2009; 1: 30 – 33. (in Russ.)

5. Rahimov R. Z., Rahimova N. R. Nauchnye, jeksperimental'nye, tehniko-jekonomicheskie predposylki upravlenija strukturoj i svojstvami napolnennyh iskusstvennyh stroitel'nyh kompozicionnyh materialov [Scientific, experimental, technical and economic prerequisites for managing the structure and properties of filled artificial building composite materials]. *Gradostroitel'stvo*. 2011; 3: 73-79. (in Russ.)

6. Lesovik V. S., Alfimova N. I., Vishnevskaja Ja. Ju. Vysokoeffektivnye kompozicionnye vjazhushhie s ispol'zovaniem nanomodifikatora [Highly effective composite binders using a nanomodifier]. *Vestnik central'nogo regional'nogo otdelenija Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk*. 2010: 90. (in Russ.)

7. Gridchin A. M., Lesovik R. V. Osobennosti proizvodstva VNV i betona na ego osnove s ispol'zovaniem tehnogennogo polimineral'nogo peska [Features of the production of VNV and concrete based on it using technogenic polymineral sand]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2002; 1: 36-37. (in Russ.)

8. Zagorodnjuk L. H., Lesovik V. S., Shkarin A. V., Belikov D. A., Kuprina A. A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials. *World Applied Sciences Journal*. 2013; 24. No. 11: 1496-1502.

9. Zagorodnjuk L. H., Lesovik V. S., Belikov D. A. K probleme proektirovanija suhikh remontnyh smesej s uchetoj srodstva struktur [To the problem of designing dry repair mixtures taking into account the affinity of structures]. *Vestnik Central'nogo regional'nogo otdelenija RAASN*. Moscow. 2014; 18: 112-119. (in Russ.)

10. Zagorodnjuk L. H., Lesovik V. S., Gajnutdinov R. Specifika tverdenija stroitel'nyh rastvorov na osnove suhikh smesej [Specifics of hardening of building mortars based on dry mixtures]. *Vestnik Central'nogo regional'nogo otdelenija RAASN*. Moscow. 2014; 17: 93-98. (in Russ.)

11. Lesovik V. S., Zagorodnjuk L. H., Tolmacheva M. M., Smolikov A. A., Shekina A. Y., Shakarna M. H. I. Structure-formation of contact layers of composite materials. *Life Science Journal*. 2014; 11. No. 12: 948-953.

12. Kuprina A. A., Lesovik V. S., Zagorodnyk L. H., Elistratkin M. Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014; 9: 816 - 819.
13. Rahimov R. Z., Haliullin M. I., Gajfullin A. R., Stojanov O. V. Keramzitovaya pyl' kak aktivnaya dobavka v mineral'nye vjazhushhie – sostav i puccolanovye svojstva [Expanded clay dust as an active additive in mineral binders – composition and pozzolan properties]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2013; 19: 57-61. (in Russ.)
14. Rahimova N. R. Vliyanie dobavok molotogo boja keramicheskogo kirpicha na sostav i mikrostrukturu kamnja kompozicionnogo shlakoshhelochnogo vjazhushhego [The effect of additives of ground ceramic brick on the composition and microstructure of a composite slag-alkaline binder stone]. *Bashkirskij himicheskij zhurnal*. 2007; 14: 83-86. (in Russ.)
15. Locher F. W., Richartz W., Sprung S. Erstarren von Zement. Teil 1: Reaktion und Gefügeentwicklung. *ZKG*. 1976; 10: 435-442.
16. Lesovik V. S., Zagorodnjuk L. H., Shahova L. D. *Ehnogennye produkty v proizvodstve suhikh stroitel'nyh smesey: monografija*. [Technogenic products in the production of dry building mixes: monograph]. Belgorod: Izd-vo BGTU im. V. G. Shuhova, 2010. 169 p. (in Russ.)
17. Kotenko E. A., Morozov V. N., Anisimov V. N. Osvoenie nedr i jekologicheskie problemy – vzgljad v XXI vek [Subsoil development and environmental problems – a look into the XXI century]. *Geojekologicheskie problemy bezopasnoj jekspluatacii gorno-metallurgicheskogo kompleksa KMA*. 2000; 2: 22 – 24. (in Russ.)
18. Lesovik B. S. Ispol'zovanie promyshlennyh othodov KMA v proizvodstve stroitel'nyh materialov [The use of KMA industrial waste in the production of building materials]. *Ispol'zovanie othodov, poputnyh produktov v proizvodstve stroitel'nyh materialov i izdelij*. 1987; 3: 57 – 58. (in Russ.)
19. Kozubskaja T. G. Ispol'zovanie tehnogennyh othodov v proizvodstve stroitel'nyh materialov [The use of technogenic waste in the production of building materials]. *Stroitel'nye materialy*. 2002; 2: 10 – 12. (in Russ.)
20. Strokova V. V. Novye tehnologii proizvodstva stroitel'nyh materialov na osnove netradicionnogo syr'ja KMA [New technologies for the production of building materials based on non-traditional raw materials KMA]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie i tehnologii XXI veka*. 2004; 5: 60 – 61. (in Russ.)
21. Kouji O., A. Thomas, BierCement and Concrete Research. 2010; 40: 1034 – 1040. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/cement-and-concrete-research>
22. Gluhovskij V. D. Shlakoshhelochnye cementy [Slag-alkaline cements]. *Cement*. 1985; 3: 11 – 12. (in Russ.)
23. Rahimov R. Z., Gajfullin A. R., Haliullin R. Z. Plotnost' upakovki zeren kompozicionnogo gipsovogo vjazhushhego v zavisimosti ot dispersnosti i granulometricheskogo sostava [Packing density of composite gypsum binder grains depending on dispersion and granulometric composition]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2013. T. 16; 7: 129-131. (in Russ.)
24. Berdov G. I., Il'ina L. V., Zyrjanova V. N., Nikonenko N. I., Mel'nikov A. V. Povyshenie svojstv kompozicionnyh stroitel'nyh materialov vvedeniem mineral'nyh dobavok [Improving the properties of composite building materials by introducing mineral additives]. *Strojprofi*. 2012; 2: 26 – 29. Available at: <http://stroy-profi.info/archive/10994>. (in Russ.)
25. Bazhenov Ju. M., Alimov L. A., Voronin V. V. Razvitie teorii formirovaniya struktury i svojstv betonov s tehnogennymi othodami [Development of the theory of the formation of the structure and properties of concretes with technogenic waste]. *Izvestijavuzov. Stroitel'stvo*. 1996; 7: 55 – 58. (in Russ.)
26. Skoblo L. I. Ispol'zovanie promyshlennyh othodov v cementnoj promyshlennosti SShA [The use of industrial waste in the cement industry of the USA]. *Cement i ego primenenie*. 2005; 4: 75-77. (in Russ.)
27. Rahimova N. R., Rahimov R. Z., Hamitova R. F. Kompozicionnye shlakoshhelochnye vjazhushhie s dobavkami molotogo otseva droblenija betonogo loma [Composite slag-alkaline binders with additives of ground screening of crushed concrete scrap]. *Tehnika i tehnologija silikatov*. 2013. T. 20; 3: 9-15. (in Russ.)
28. Rahimbaev Sh. M., Pogromskij A. S., Duhovanyj G. S., Anikanova T. V. K voprosu o fazovom sostave i racional'nom primenenii samorassypajushhihsja staleplavil'nyh shlakov [On the question of the phase composition and rational use of self-disintegrating steel-making slags]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shuhova*. 2008; 1: 49 – 52. (in Russ.)
29. Gorin V. M., Suhov V. Ju., Nehaev P. F., Avakova V. D., Romanov N. M. Rasshirenie oblastej primenenija keramzitovogo gravija [Expansion of the fields of application of expanded clay gravel]. *Stroitel'nye materialy*. 2003; 11:19-21. (in Russ.)
30. Samchenko S. V., Makarov E. M. Modificirovanie makro- i mikrostruktury kompozicionnyh materialov gidrosilikatami kal'cija [Modification of macro- and microstructure of composite materials with calcium hydrosilicates]. *Tehnika i tehnologija silikatov*. 2013. T 20; 4:20-24. (in Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Махортов Д. С. Обзор предшествующих исследований, подготовка и проведение экспериментальных исследований, обработка полученных данных, подготовка материала для статьи.

Загороднюк Л. Х. Организация работы авторского коллектива, формирование направления и формулирование проблемы исследования, постановка задачи и методики проведения исследования, корректирование материала статьи.

Шаповалов Н. А. Обзор предшествующих исследований, обработка полученных данных, подготовка материала для статьи.

Сумской Д. А. Подготовка и проведение экспериментальных исследований, обработка полученных данных, подготовка материала для статьи.

COAUTHOR'S CONTRIBUTION

Denis S. Makhortov Previous studies review, experimental studies preparation and conduct, data obtained processing, material for the article preparation.

Liliya Kh. Zagorodnyuk Author's teamwork arrangement, direction formation and problem statement, the the purpose and methodology of the study statement, article material correction.

Nikolay A. Shapovalov Previous studies review, data obtained processing, material for the article preparation.

Dmitry A. Sumskoy Experimental studies preparation and conduct, data obtained processing, material for the article preparation.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Махортов Денис Сергеевич – аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Загороднюк Лилия Хасановна – д-р техн. наук, проф. кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Шаповалов Николай Афанасьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической и прикладной химии.

Сумской Дмитрий Алексеевич – ассистент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis S. Makhortov – Postgraduate student, the Building Materials Science, Products and Structures Department.

Liliya Kh. Zagorodnyuk – Dr. of Sci., Professor, the Building Materials Science, Products and Structures Department.

Nikolay A. Shapovalov – Dr. of Sci., Professor, the Theoretical and Applied Chemistry Department.

Dmitry A. Sumskoy – Assistant, the Building Materials Science, Products and Structures Department.