УДК691.53 DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.023

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**© Муртазаев Сайд-Альви Юсупович (a, b), Саламанова Мадина Шахидовна (a, b)**

(a) Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова
(b) Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук

***Аннотация***. В работе приводятся результаты исследования комплексной пуццолановой добавки, вещественный состав которой позволит создавать более плотную структуру камня, за счет дополнительного активного источника негидратированных силикатов кальция, алюмосиликатов натрия и кальция. Полученное наполненное вяжущее обладает свойствами на порядок выше контрольных образцов. С использованием местного инертного материала и экономии 25% клинкерной доли разработаны составы тяжелого бетона классов В20–22,5, широко применяемые при заливке фундаментов, плит перекрытий, лестничных маршей, элементов мощения и других бетонных и железобетонных изделий. Предлагаемые результаты исследований позволят с успехом реализовывать проекты мирового значения, создавая устойчивые, прочные и долговечные бетонные конструкции.

***Ключевые слова:*** наполненные вяжущие, бетонный лом, золы, вяжущие системы, техногенные отходы, измельчение, тяжелый бетон

# USE OF INDUSTRIAL WASTE IN CONSTRUCTION

**© Murtazaev Said-Alvi Yusupovich (a, b), Salamanova Madina Shakhidovna (a, b)**

(a) Grozny State Oil Technical University named after acad. M.D. Millionshchikov
(b) Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences

***Abstract***. The paper presents the results of a study of a complex putzolane additive, the composition of which will allow to create a more dense structure of the stone, due to an additional active source of non-hydrated calcium silicates, sodium aluminosilicate and calcium. The resulting filled binding agent has properties that are higher than those of the control samples. Using local inert material and saving 25% of clinker share developed heavy concrete compositions classes B20-22.5, widely used in the filling of foundations, slabs, stairways, tiles and other concrete and

concrete products. The proposed research results will make it possible to successfully implement projects of global importance, creating sustainable, durable and long-lasting concrete structures.

***Key words:*** filled binder, concrete scrap, ash, binder systems, man-made waste, grinding, heavy concrete

Анализируя промышленный опыт применения таких бетонов [1–3], приходишь к заключению, что технология высокофункциональных композитов основана на доминирующем положении активной вяжущей составляющей, отвечающей за ускорение гидратационных процессов вяжущего, целенаправленном формировании фазового состава и изменении структуры цементного камня. Комбинирование клинкерной и минеральной части, включение в систему химических модификаторов, правильное проектирование рецептуры и технологии приготовления вяжущей композиции и бетонной смеси, позволит достичь заданную проектную прочность, снизить расход цемента и себестоимость изделия [4–6].

Производство наполненных вяжущих композиций остается объектом исследования и не теряет актуальности на протяжении многих десятилетий [7–9]. Большой интерес вызывают естественные добавки и отходы промышленности, такие как шлаки черной металлургии, топливные золы, высококварцевые пески, микрокремнезем, цеолитсодержащие и вулканические породы, мергели, глиежа, известняки, диатомит, трепел и др. Подвергая перечисленные добавки механо- или механохимической активации и примешивая к определённой доле основного вяжущего, можно получать новый материал, показатели которого будут зависеть от свойств добавок (одной или нескольких), заменяющих клинкер цемента.

В зависимости от активности минеральные добавки (гидравлические, пуццолановые и микронаполнители) по-своему воздействует на процессы формирования структуры цементного камня и физико-механические свойства композита [10, 11].

Пуццолановые добавки можно считать самыми перспективными в цементной отрасли, к ним относят шлаки черной металлургии, золы-унос ТЭС, цеолитсодержащие породы, опока, глиежи, вулканические пемза, туф, трепел и др. Установлен эффект от применения пуццолановых добавок в вяжущей системе, присутствие аморфных кремнезема и глинозема в составе которых положительно влияет на твердеющую активную связку «$C_3S$ – пуццолана – вода». Ускорению процессов гидратации в начальные сроки твердения способствует поверхность частиц пуццоланы, которая адсорбируя ионы $Ca^{2+}$, способствует быстрому растворению зерен трехкальциевого силиката. Гидратные соединения скапливаются слоями вокруг $C_3S$ и приводят к объемному расширению слоя новообразований на зернах клинкерного минерала. В результате происходит связывание продуктов гидратации, и в частности, гидроксида кальция в прочные гидратные соединения по следующей схеме: $xCa(OH)_2 + SiO_2 + nH_2O = xCaO{\cdot}SiO_2{\cdot}mH_2O$. Основность образованных гидросиликатных соединений может изменяться в пределах 0,8–2, и будет зависеть от количественного и качественного составов пуццолановой добавки, дисперсности, условий твердения и др. факторов. Также следует отметить, что наличие пуццоланы стабилизирует количество гидросульфоалюминатов кальция (эттрингит) на

более поздние сроки твердения искусственного камня, нейтрализуя возможность проявления сульфатной коррозии [12, 13] в бетоне.

Обозначенные положительные стороны создания наполненной вяжущей композиции «портландцемент – пуццолана» требуют более глубокого исследования с позиции использования новых рецептурно-технологических приемов и включения в систему отходов промышленности с целью рационального природопользования и защиты окружающей среды. В качестве пуццолановой составляющей в наполненной вяжущей системе использовали бетонный лом и золы ТЭЦ. Для региона Чеченская Республика поиск реального применения этому техногенному сырью давно обсуждается на многих площадках научного сообщества, так как крупнотоннажные отходы в огромных объемах заполоняют сельскохозяйственные территории, нанося ощутимый вред окружающей среде и в целом, облику региона. Помимо этого, необходимо учитывать, что на свалках скапливается полноценный сырьевой ресурс, ведь после преобразования и обогащения его можно включать повторно в технологический цикл. Что важно отметить со стороны дефицита и невозобновляемости природного минерального сырья [14, 15].

Конечно же на первом этапе исследований, проводили подготовку минеральных порошков, так как в первозданном виде мало пользы от этого материала (рисунок 1). Бетонный лом и золы ТЭЦ очищались от не нужных включений, высушивались и подвергали технологической обработке.

**Рис. 1.** Техногенные отходы

Бетонный лом дробили в лабораторной щековой дробилке ДШ6S, до фракции 5-20 мм, для использования материала в качестве крупного заполнителя бетона; мелкая растворная фракция менее 5 мм отделялась от массы и направлялась на помол в лабораторную роликовую мельницу МЛР-15. Именно мелкая фракция, содержащая определённую долю цементного камня, представляет интерес для получения наполненных вяжущих, в надежде на проявление активности со стороны непрореагировавшей ранее части клинкерного фонда в порошке добавки. Помол золы ТЭЦ и мелкой фракции бетонного лома осуществляли в течение 30 минут, удельную поверхность полученных порошков определяли на приборе ПСХ-12, результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Удельная поверхность минеральных порошков**

| Наименование добавки | Удельная поверхность порошков, $м^2$/кг, помол 30 мин |
|---|---|
| Бетонный лом | 630 |
| Золы ТЭЦ | 790 |

Микроструктуру частиц исследуемых порошков изучали на растровом электронном микроскопе Quanta 3D 200i (рисунок 2), микрочастицы бетонного лома представлены рыхлыми зернами неправильной геометрической формы, а золы ТЭЦ более плотные, имеют гладкую сферическую поверхность. Химический состав добавок, % по массе:

– бетонный лом: MgO = 1.22; $Al_2O_3$ = 5.03; $SiO_2$ = 52.8; $Na_2O$ = 0,19; CaO = 34.52; $Fe_2O_3$ = 3.33; $TiO_2$ = 0.31; $K_2O$ = 1.31; $Na_2O$ = 0.51; $SO_3$ = 0.11; ппп = 0.38.

– золы ТЭЦ: MgO = 1.44; $Al_2O_3$ = 10.31; $SiO_2$ = 55.41; $Na_2O$ = 0,19; CaO = 12.62; $Fe_2O_3$ = 5.01; $TiO_2$ = 0.32; $K_2O$ = 1.49; $Na_2O$ = 1.72; $SO_3$ = 0.76; ппп = 10.97.

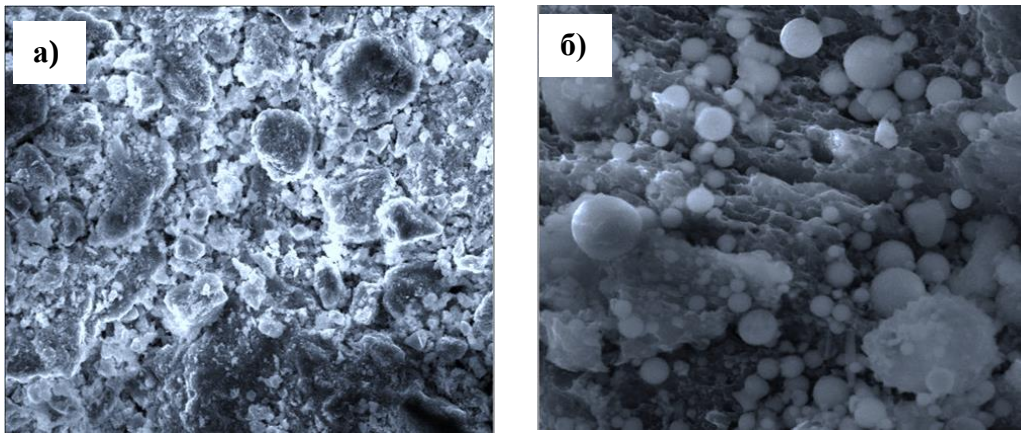


**Рис. 2.** Микрофотографии микрочастиц пуццолановой добавки:
а – бетонного лома; б – золы ТЭЦ

Проведенные исследования микроструктуры исследуемых добавок, подтвердили наличие необходимого для синтеза новообразований оксидного состава. И для проектирования пуццолановой добавки наполненных вяжущих рассматривали варьирование количественным составом, чтобы в дальнейшем исследовать вещественный состав. Для выявления оптимальной рецептуры было подобрано и испытано большое количество вяжущих композиций, и в результате установлено, что соотношение бетонный лом : зола ТЭЦ = 72 : 28 % считается наиболее рациональным. В дальнейших экспериментах использовалась комплексная добавка в указанном составе, и помол в предлагаемом количественном соотношении проводился совместный, для получения более однородных и гомогенных пуццолановых порошков. Время измельчения оставалось прежним 30 минут, удельная поверхность составила 726 $м^2$/кг. Полученную добавку на основе бинарных порошков исследовали с помощью дифрактометра «ARLX'TRA» (рисунок 3).

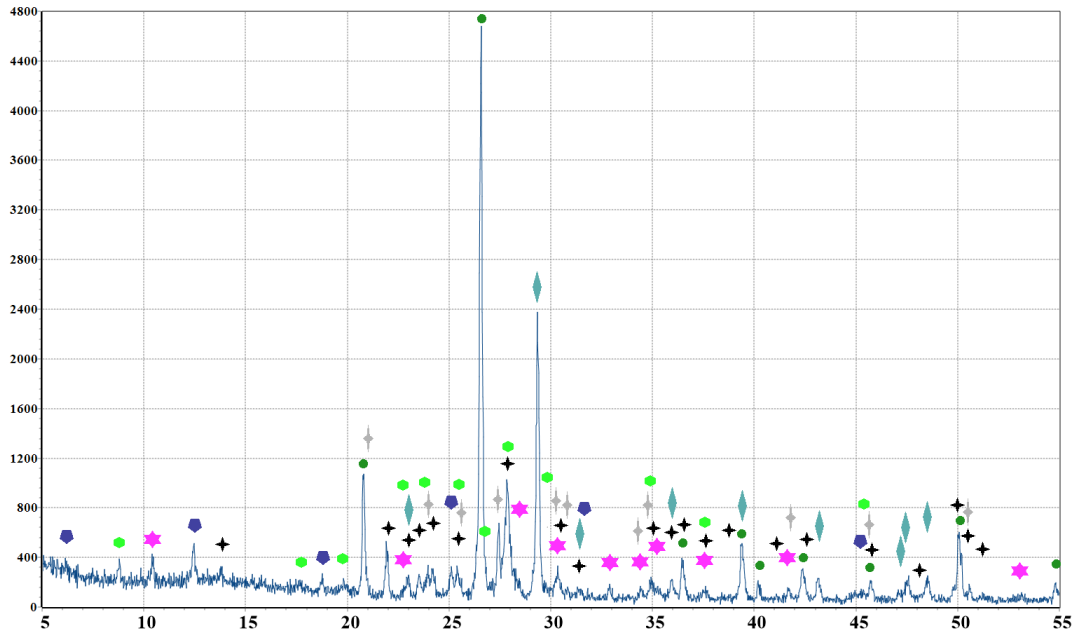


**Рис. 3.** Дифрактограмма образца в сопоставлении с данными базы PDF-2. Приведенные фазы сравнения: - кварц; - хлоризированные темно-окрашенные силикаты; - $C_2S$; - плагиоклаз (альбит); - микроклин; - кальцит; - амфибол

Результаты рентгенофазового анализа комплексной пуццолановой добавки показали наличие следующих минералов: кальцит, кварц, белит $C_2S$, хлоритизированные темноцветные силикаты кальция, альбит. Зафиксированы наиболее выразительные рефлексы, принадлежащие плагиоклазу, минералам альбит $NaAlSi_3O_8$ и анортит $CaAl_2Si_2O_8$, микроклину $K[AlSi_3O_8]$ и окристаллизованным кристаллам двухкальциевого силиката $C_2S$. Минералогический состав пуццолановой комплексной добавки позволит улучшить свойства вяжущей системы «портландцемент – пуццолана» за счет дополнительного источника негидратированных силикатов кальция, алюмосиликатов натрия и кальция. А более высокая дисперсность добавки позволит создать плотную и непроницаемую структуры бетонного композита, что положительно скажется на прочности и долговечности материала.

Рецептуры наполненного вяжущего подбирались экспериментальным путем, исследования проводились в соответствии с ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии; ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема; ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия. Установлена оптимальная рецептура наполненного комплексной пуццолановой добавкой вяжущего, количественный состав портландцемент 75%, «бетонный лом –зола ТЭЦ» 25%. В качестве основной составляющей вяжущей системы использовали портландцемент М500 без добавочный АО «Чеченцемент». Свойства полученного материала, в сравнении с контрольным образцами, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты исследований цемента**

| № | Свойства цемента | Показатели | |
|---|---|---|---|
| | | ПЦ | ПЦ – пуццолана |
| 1 | Тонкость помола, остаток на сите №008, % | 8,4 | 5,2 |
| 2 | Нормальная густота, % | 25,0 | 26,3 |
| 3 | Сроки схватывания, час-мин:<br>начало<br>конец | <br>2 часа 21 минут<br>3 часа 23 минут | <br>2 часа 52 минут<br>3 часа 40 минут |
| 4 | Активность, МПА | 50,2 | 52,4 |

Результаты испытаний показали, что экономия клинкерной доли до 25% привела к повышению водопотребности цементного теста, причина чему более высокая дисперсность наполненного цемента. Но реакционноспособные по отношению к воде частицы комплексной пуццоланы заполняют межзерновое пространство вяжущей системы, и одновременно выполняют роль водопроводящих каналов к дефектным точкам клинкерных частиц, что способствует повышению активности наполненного вяжущего.

С использованием наполненного вяжущего, природных мелкого и крупного заполнителя местного региона были подобраны и изготовлены образцы тяжелого бетона согласно ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам; ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности. Инертный материал – кварцевый песок модуль крупности 1,9, крупный заполнитель известняковый щебень фракции 5-20мм, соответствовали требованиям ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия; ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Составы и свойства тяжелых бетонных смесей и бетонов приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Результаты испытаний бетонной смеси и бетона**

| № состава | В/Ц | Расход материалов на 1 м$^3$ бетона, кг | | | | | Марка подвижности | Плотность смеси, кг/см$^3$ | Водоотделение, % по массе | Прочность на сжатие, 28 сут, МПа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Щебень | Песок | НВ | Добавка | Вода | | | | |
| 1 | 0,42 | 1200 | 618 | 400 | 4,0 | 168 | П3 | 2387 | 0,3 | 25,2 |
| 2 | 0,43 | 1190 | 613 | | | 172 | П4 | 2383 | 0,4 | 25,8 |
| 3 | 0,46 | 1180 | 608 | | | 184 | П5 | 2378 | 0,6 | 24,7 |
| 4 | 0,41 | 1170 | 622 | | | 164 | П3 | 2389 | 0,1 | 26,9 |
| 5 | 0,49 | 1180 | 610 | 400 * | 4,0 | 196 | П5 | 2380 | 0,3 | 22,5 |

Примечание: НВ – наполненное вяжущее портландцемент 75% : «бетонный лом –зола ТЭЦ» 25%;состав № 5* – портландцемент М500 без добавки АО «Чеченцемент»; добавка Sika ViscoCrete 5-600 SK на основе поликарбоксилатных эфиров, дозировка 1,0% от массы цемента.

Как показали данные исследований, технические свойства бетонной смеси и бетона изменяются в зависимости от количественного состава инертного материала, так как расход вяжущего оставался постоянным. Состав 5 показал максимальный прирост прочности 26,9 МПа, минимальное водоотделение 0,1 %, что указывает на правильно подобранный состав формовочной смеси на 1м$^3$ бетона, расход кварцевого песка 622 кг и комплексная пуццолановая добавка в количестве 134 кг, суперпластификатор Sika ViscoCrete 5-600 SK, препятствует расслоению бетонной смеси и ухудшению свойств верхних слоев бетона.

Таким образом, результаты рентгенофазового анализа комплексной пуццолановой добавки подтвердили наличие минералов: кальцит, кварц, белит $C_2S$, силикатов кальция разной основности, альбит, анортит, микроклин. Вещественный состав вяжущей системы «портландцемент – пуццолана» позволит создавать более плотную структуру камня, а за счет дополнительного активного источника негидратированных силикатов кальция, алюмосиликатов натрия и кальция повышается прочность бетонных композитов.

Установлена оптимальная рецептура наполненного вяжущего, количественный состав портландцемент 75%, «бетонный лом –зола ТЭЦ» 25%. Свойства полученного материала на порядок выше контрольных образцов. С использованием местного инертного материала и экономии 25 % клинкерной доли разработаны составы тяжелого бетона классов В20–22,5, широко применяемые при заливке фундаментов, плит перекрытий, лестничных маршей, элементов мощения и других бетонных и железобетонных изделий.

В заключение следует отметить, что полученные результаты исследований позволят расширить сырьевую базу для цементной отрасли и строительных материалов в целом. Даже небольшая экономия дорогого и ресурсоемкого материала положительно отразится на окружающей среде, так как проблемы декарбонизации экономики актуальны и требуют всеобщего реагирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экологический фактор снижения углеродного следа в среде обитания // Бетон и железобетон. 2022. №3 (611). С. 10-14.
2. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов // Строительные материалы. 2022. №10. С. 41-51.
3. Нелюбова В.В., Усиков С.А., Строкова В.В., Нецвет Д.Д. Состав и свойства самоуплотняющегося бетона с использованием комплекса модификаторов // Строительные материалы. 2021. №12. С. 48-54.
4. Strokova V.V., Nikulina M.V., Baskakov P.S., Abzalilova A.V., Esina A.Y. Influence of a hydrophobic emulsion on the surface properties of coatings of water-dispersion acrylic paint. Materials Science Forum. 2021 1040 MSF: Pp. 165-171.

5. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Коллеганов Н.А. К определению трещиностойкости железобетонных балок из различных видов бетонов // Инженерный вестник Дона. 2023. №1(97). С. 533-548.
6. Chepurnenko A.S., Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Yazyev B.M. Simplified model for determining the stress-strain state in massive monolithic foundation slabs during construction // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. (18 (3)): 126-136.
7. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Fediuk R.S., Usanova K.Iu. Composite binders with superabsorbent polymers // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023 (3(108)): 10803.
8. Alaskhanov A.Kh., Lesovik V.S., Tolstoy A. “Green” composites based on technogenic raw materials // AIP Conference Proceedings. 2023. Pp. 153-158.
9. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны // Москва.: Ассоциация строительных вузов. 2006. 289 с.
10. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов // Строительные материалы. 2008. №3. С. 20-24.
11. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы //Приволжский научный журнал. 2018. Т. 46. № 2. С. 65–70.
12. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. // Строительные материалы. 2008. №3. С. 9-13.
13. Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Муртазаева, Т.С-А., Хубаев М. С-М. Высококачественные модифицированные бетоны на основе минеральных добавок и суперпластификаторов различной природы // Инновации и инвестиции. 2015. №8. С. 159-163.
14. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Бисултанов Р.Г. Горные породы вулканического происхождения как заполнители для получения легких бетонов // Научное обозрение. 2015 №7. С. 105-113.
15. Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Мовсулов М.М. Перспективные возможности получения качественных мелкозернистых композитов // Научно-технический журнал Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX. №2(32). С. 94-101.
16. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Корянова Ю.И. Разработка полиморфной вяжущей системы на основе карбонатной добавки //Научно-технический журнал Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Том XIX. №3(33). С. 96-103.
17. Salamanova M.Sh., Gatsaev Z.Sh., Syzrantsev V.V. Investigation of the properties of alkaline binders with the addition of finely dispersed bentonite. Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering. 2022. Vol. 17. No. 8. Pp. 1017-1026.
18. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu. Cements of alkaline activation the possibility of reducing the energy intensity of building composites. Construction Materials] 2019. No. 7. Pp. 32–40. DOI: https://doi. org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40

REFERENCES

1. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kaprielov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an environmental factor in reducing the carbon footprint in the environment // Concrete and reinforced concrete. 2022. No. 3 (611). Pp. 10-14.
2. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A. Optimization of concrete technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations // Construction materials. – 2022. No. 10. Pp. 41-51.
3. Nelyubova V.V., Usikov S.A., Strokova V.V., Netsvet D.D. Composition and properties of self-compacting concrete using a complex of modifiers // Construction materials. 2021. No. 12. Pp. 48-54.
4. Strokova V.V., Nikulina M.V., Baskakov P.S., Abzalilova A.V., Esina A.Y. Influence of a hydrophobic emulsion on the surface properties of coatings of water-dispersion acrylic paint. Materials Science Forum. 2021 1040 MSF: 165-171.
5. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Kolleganov N.A. To determine the crack resistance of reinforced concrete beams from various types of concrete // Engineering Bulletin of the Don. 2023. No. 1(97). Pp. 533-548.
6. Chepurnenko A.S., Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I., Yazyev B.M. Simplified model for determining the stress-strain state in massive monolithic foundation slabs during construction // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. (18 (3)): Pp. 126-136.
7. Lesovik V.S., Popov D.Yu., Fediuk R.S., Usanova K.Iu. Composite binders with superabsorbent polymers // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023 (3(108)): 10803.
8. Alaskhanov A.Kh., Lesovik V.S., Tolstoy A. “Green” composites based on technogenic raw materials // AIP Conference Proceedings. 2023. Pp. 153-158.
9. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concrete // Moscow: Association of Construction Universities. 2006. 289 p.
10. Kalashnikov V.I. Industry of non-metallic building materials and the future of concrete // Construction materials. 2008. No. 3.Pp. 20-24.
11. Murtazaev S.A. Yu., Salamanova M.Sh. Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature // Volga Scientific Journal. 2018. T. 46. No. 2. Pp. 65-70.
12. Kaprielov S.S. Modified high-strength concrete of classes B80 and B90 in monolithic structures. // Construction Materials. 2008. No. 3. Pp.9-13.
13. Salamanova M.Sh., Saidumov M.S., Murtazaeva, T.S-A., Khubaev M. S-M. High-quality modified concrete based on mineral additives and superplasticizers of various natures // Innovations and investments. 2015. No. 8. Pp. 159-163.
14. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Aliev S.A., Bisultanov R.G. Rocks of volcanic origin as fillers for producing lightweight concrete // Scientific review. 2015 No. 7. Pp. 105-113.
15. Salamanova M.Sh., Bisultanov R.G., Movsulov M.M. Promising possibilities for producing high-quality fine-grained composites // Scientific and technical journal Vestnik GGNTU. Technical science. 2023. Volume XIX. No. 2(32). Pp. 94-101.
16. Murtazaev S-A.Yu., Salamanova M.Sh., Koryanova Yu.I. Development of a polymorphic binder system based on a carbonate additive // Scientific and technical journal Vestnik GGNTU. Technical science. 2023. Volume XIX. No. 3(33). Pp. 96-103.

17. Salamanova M.Sh., Gatsaev Z.Sh., Syzrantsev V.V. Investigation of the properties of alkaline binders with the addition of finely dispersed bentonite. Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering. 2022. Vol. 17. No. 8. Pp. 1017-1026.
18. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu. Cements of alkaline activation the possibility of reducing the energy intensity of building composites. Construction Materials] 2019. No. 7. Pp. 32-40. DOI: https://doi. org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40