ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА ЩЕЛОЧНЫХ ЦЕМЕНТАХ ИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ДОБАВОК

© С.-А. Ю. Муртазаев^{1,2}, М. Ш. Саламанова^{1,2}, А. А. Узаева², Р. Г. Бисултанов¹

¹ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²КНИИ РАН им. Х. И. Ибрагимова, Грозный, Россия

Проблемы декарбонизации экономики остро обсуждаются на многих научных площадках ведущих развитых стран и требуют поиска новых строительных материалов для частичной замены ресурсоемкого портландцемента. Разработка бесклнкерных вяжущих связей щелочного затворения с использованием некондиционного местного сырья позволит получать качественную продукцию. Приведены результаты электронно-зондовых исследований и рентгенофазового качественного анализа, подтверждающие эффективность данных разработок, ведь в составе структуры цементного камня подтвердилось присутствие труднорастворимых соединений гидроалюмосиликатной цеолитовой фазы переменного характера.

Ключевые слова: бесклнкерные вяжущие, щелочная активация, структура, мелкозернистый бетон, кварцевый песок, барханный песок, щелочной активатор, кремнефтористый натрий.

Существующие карбонатные технологии производства гидравлических вяжущих веществ являются весьма трудозатратными и энергоемкими процессами, сопровождающимися нерациональным использованием природных ресурсов и негативным воздействием на экологическую обстановку. Проблемы декарбонизации экономики остро обсуждаются на многих научных площадках ведущих развитых стран, ведь известно, что из-за выделяющегося в процессе получения цемента диоксида углерода производство незаменимого вяжущего считается вредным и экологически небезопасным для окружающего мира и человечества в целом. Установлено, что в результате диссоциации карбоната кальция при обжиге 1 тонны портландцементного клинкера образуется 0,54 тонны углекислого газа и попутно вырабатывается еще дополнительная порция CO₂ (около 0,35 тонн) при сжигании топлива и других технологических переделов.

Поиск новых строительных материалов обоснован мировыми тенденциями, так как традиционный ресурсоемкий портландцемент используется в строительстве без надобности и повсеместно, развитие бесклнкерной технологии позволит снизить экологическую напря-

женность в мире и решить проблемы экономического и технического характера [1-12].

В нашей стране бесклнкерная технология связана со шлакощелочными цементами и бетонами на их основе, которые пользовались большим успехом во второй половине двадцатого века. Но сложная экономическая и политическая обстановка в стране приостановила развитие этих уникальных композиций, отличающихся широкой гаммой специфических характеристик, среди которых можно выделить высокую прочность до 100 МПа, быстрое схватывание, низкую экзотермию, способность противостоять высоким температурам, морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость бетонов. В настоящее время необходимо возобновить производство вяжущих щелочного затворения и учитывать, что для многих российских регионов присутствует ограниченность и дефицитность отходов черной металлургии (шлакощелочные цементы) и рассмотреть возможность развития бесклнкерной технологии с применением вариантов альтернативных доменным гранулированным шлакам – тонкодисперсных порошков алюмосиликатного происхождения (геополимеры) [13-25].

Исследуя минерально-сырьевую базу Северного Кавказа, внимание сосредоточилось на некондиционном местном сырье, барханные пески занимают огромные площади до 2,5 тыс. км², и присутствует проблема опустынивания северного района республики. Именно наличие алюмосиликатов в глинистых примесях и натолкнуло на разработку бесклнкерных вяжущих щелочного затворения. Достаточно высокая удельная поверхность (130 м²/кг) исследуемого материала позволила снизить затраты на приготовление порошка, 10-минутное тонкое измельчение в роликовом помольном агрегате способствовало получению удельной поверхности 455 м²/кг. Далее полученный порошок барханного песка активировали смешанным щелочным раствором из товарного жидкого натриевого стекла (силикатный модуль 2,8 и плотность 1,42 г/см³) и 20% раствора едкого натра (плотностью 1,20 г/см³) в заданном соотношении 80:20%. В результате кристаллизации цементного камня на вяжущей связке «барханный порошок – Na₂SiO₃ – NaOH» образовался прочный сросток, который подвергали электронно-зондовым исследованиям, на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU производства фирмы Tescan, системы энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT. Было установлено, что исследуемый образец характеризуется тонкокristаллической структурой (рисунок 1а) с агрегативным распределением частиц (рисунок 1б), местами переходящей в массивную

скрытокристаллическую массу (рисунок 1в).

Рентгенофазовый качественный анализ (РФА) выполнялся на дифрактометре «ARLX'TRA», использующем кинематическую схему Θ - Θ с горизонтальным расположением плоского образца. Для сопоставления с данными PDF-2 использованы брегговские углы 2Θ для длины волны 1,5406 Å, которые нагляднее, чем межплоскостные расстояния d , и относительные интенсивности, определённые по высоте пиков над фоном по 100-балльной шкале. Результаты сопоставлений приведены в графическом формате на рисунке 2. Анализ дифрактограммы указывает на присутствие в качестве основных фазовых компонентов кварца, близкого к альбиту плагиоклаза, слюд, кальцита и цеолита. Параметры межплоскостных расстояний слюды, характеризующиеся смещением в более высокоугловую область относительно типичных для мусковита (рисунок 2, карточка PDF 6-263), указывают на принадлежность к ряду мусковита – парагасита.

Электронно-зондовые исследования чешуек слюд выявляют их переменный состав и постоянное присутствие натрия. Цеолит по кристаллоструктурным параметрам наиболее близок к гаррониту (или тетрагональной фазе Na_{3,6}Al_{3,6}Si_{12,4}O₃₂·14H₂O (d – 7.10 (010), 3.16 (301)); в районе $\sim 26^\circ$ ($d \sim 3,424$) присутствует небольшая флуктуация, соответствующая яркому пику анальцита, что позволяет предполагать его наличие в очень незначительном количестве.

Рис. 1. Микростроение цементного камня БВЩА на основе барханных песков

Рис. 2. Дифрактограмма образца цементного камня БВЦА на основе барханных песков в сопоставлении с данными базы PDF-2. Приведенные фазы сравнения: А – кварц, Б – кальцит, В – альбит, Д – мусковит, Н – анальцит, Р – гарронит, С – парагонит, Т – фошагит

Таблица 1

Состав основных фаз, в вес. % (места анализа указаны на рисунке 3)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итого
1	5.59	3.67	11.37	38.52	1.18	0.82	0.59	5.08	25.20	92.01
2	1.08	4.70	29.02	46.22	7.19	0.00	0.00	0.00	4.82	93.02

Таблица 2

Состав основных фаз (гидрат силиката кальция), в вес. %
(места анализа указаны на рисунке 4)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	FeO	Итого
1	4.11	1.98	4.14	24.38	53.02	1.70	89.33

Таблица 3

Состав слюдяного агрегата, в вес. % (места анализа указаны на рисунке 5)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итого
1	2.55	1.23	32.90	49.97	7.44	0.23	1.05	1.00	1.45	97.82

Рис. 3. Гидраты алюмосиликатов кальция основной массы

Рис. 4. Гидраты силикатов кальция основной массы

Рис. 5. Слюдистый агрегат

Рис. 6. Гидраты алюмосиликатного состава с повышенным содержанием железа, магния и титана на поверхности агрегата

Главными структурообразующими фазами выступают гидраты натриевых алюмосиликатов кальция (обычно содержащих калий и железо) (рисунок 3, табл. 1-3), среди которых отмечаются тонкочешуйчатые слюдистые (серицитовые) агрегаты.

На поверхности агрегатов присутствуют аморфные или слабокристаллизованные гидраты алюмосиликатного состава, не диагностируемые электронно-зондовыми методами (рисунок 6, табл. 4).

По результатам рентгенофазового анализа в цементном камне БВЩА с использованием барханских песков, активированных смешанным раствором метасиликата натрия и едкого натра, обнаружено присутствие фазовых компонентов кварца, близкого к альбиту плагиоклаза, слюд, кальцита и цеолита. Электронно-зондовые исследования чешуек слюд выявляют их переменный состав и постоянное присутствие натрия, цеолитов по кристаллоструктурным параметрам наиболее близких к гаррону, среди гидратов натриевых алюмо-

силикатов кальция отмечаются тонкочешуйчатые слюдистые (серицитовые) агрегаты.

Проведенные исследования подтвердили эффективность данных разработок, ведь в составе структуры цементного камня подтвердилось присутствие труднорастворимых соединений гидроалюмосиликатной цеолитовой фазы переменного характера. Для оценивания прочностных показателей вяжущих связок были приготовлены образцы-кубы мелкозернистого бетона размером 7 см с использованием следующих компонентов: барханный порошок с удельной поверхностью $S_{уд}$ 455 м²/кг, смешанный щелочной затворитель из метасиликата натрия (силикатный модуль 2,8 и плотность 1,42 г/см³) и 20% раствора едкого натра (плотностью 1,20 г/см³); песок фракционированный, полученный смешиванием в соотношении 55:45% отсева дробления горных пород Аргунского месторождения и мелкого песка Червленского месторождения. Для ускорения выпадения в осадок геля кремниевой кислоты использовался кремнефтористый натрий в количестве 5%

Таблица 4

Состав обогащенных железом и магнием алюмосиликатных агрегатов
(места проведения микроанализа указаны на рисунке 6)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итог
1	9.37	5.48	10.23	53.97	0.41	1.24	4.48	0.23	0.10	7.58	93.09
2	2.62	3.06	16.12	41.92	0.19	3.24	4.42	0.21	0.05	7.95	79.80

Таблица 5

**Составы и свойства мелкозернистых бетонов на основе вяжущих связок
«барханный порошок – щелочной раствор»**

№ состава	Расход материалов, кг на 1 м ³					Плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа в возрасте сут.	
	Барханный порошок	Фракционированный песок	Na ₂ SiO ₃	NaOH	Na ₂ SiF ₆		7	28
1	400	1700	160	40	10	2310	11,3	16,2
2	450	1680	180	50	11	2312	14,1	22,5
3	500	1610	185	55	11	2350	17,6	26,1
4	510	1600	185	55	11	2355	20,4	32,9
5	520	1600	190	60	11	2360	26,5	37,4

от массы щелочного раствора. Варьировали долей мелкого заполнителя, что повлекло за собой к изменению расхода щелочного затворителя и прочностным показателям (таблица 5). Образцы испытывались по стандартным методикам согласно ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам; ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности.

Результаты исследований показали, что в составах 4 и 5 наблюдается сравнительно высокий прирост прочности, конечно это обосновано тщательным проектированием всех со-

ставляющих бетонной смеси, именно в таком соотношении в контактной зоне наблюдается достаточно прочное срастание частичек вяжущей связки и фракционированного кварцевого песка, так как рельеф поверхности заполнителя шероховатый и изъеденный, угловатой формы, и это способствует повышению адгезии в межфазовой зоне. Полученные результаты подтверждают практическую значимость бесклнкерной технологии, щелочные цементы позволят в полной мере обеспечивать частичную замену дорогому и энергоемкому портландцементу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez F.J. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation / F.J. Lopez, S. Sugita, M. Tagaya, T. Kobayashi // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. № 2. P. 16-27.
2. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 73-77.
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin – Based Geopolymer // Materials 2016. Vol. 9. P. 767.
4. Krivenko P. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, M. Mokhort, V. Puchkar // Proceed. 3rd International Symposium “Non-traditional cement&concrete” (Brno). 2008. P. 400-409.
5. Рахимова Н.Р. Прочность камня композиционных шлакощелочных вяжущих с цеолитсодержащими добавками / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов // Известия КазГАСУ. 2008. № 2 (10). С. 131-134.
6. Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Муртазаева Р. С-А. Структура и свойства вяжущих щелочной активации с использованием цементной пыли // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. № 2 (Т. 46). С. 148-158.

7. Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
8. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M. Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing (Особенности получения мелкозернистых бетонов на основе бесклнкерных вяжущих щелочного затворения) 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23-27 September 2019, Belgorod: 2019. Pp. 385-388.
9. Zhang Z., Provis J. L., Zou J., Reid A., Wang Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research. 2016. P. 163-173.
10. Рахимова Н. Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // Строительные материалы. 2008. №9. С. 77-80.
11. Hardjito, D. On the development of fly ash-based geopolymer concrete / D. Hardjito, S. Wallah, D. Sumajouw, B. Rangan // ACJ Materials Journal. 2004. Vol. 101. Pp. 467-472.
12. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 pp.
13. Fadhil Nuruddin M. Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete / M. Fadhil Nuruddin, S. Demie, M. Fareed Ahmed, Nasir Shafiq. // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. №75. P. 908914.
14. Рахимова Н. Р. Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности / Н. Р. Рахимова, Р. З. Рахимов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. № 16. С. 204-216.
15. Villa C., Pecina E. T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. P. 2084-2090.
16. Alex T. C., Nath S. K., Kumar S., Kalinkin A. M., Gurevich B. I., Kalinkina E. V., Tyukavkina V. V. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere // International Journal of Mineral Processing. 2013. T. 216. C. 102-107.
17. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M. Sh., Mintsayev M. Sh., Bisultanov R. G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 500-503.
18. Bataev D. K.-S., S- A. Yu. Murtazayev, Salamanova M. Sh., Viskhanov S. S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклнкерных вяжущих щелочной активации) // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 457-460.
19. Рахимов М. М., Хабибуллина Н. Р., Рахимов Р. З. Механизм отверждения боратных солевых растворов шлакощелочными вяжущими // Цемент и его применение. 2016. №3. С. 96-99.
20. Ушеров-Маршак А. В., Перишина Л. А., Цуак М. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками. Ч. 1 // Цемент. 2002. №6. С. 6-9
21. Dombrowski K., Buchwald A., Weil. The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // Journal of Materials Science. Vol. 42. №9. 2007. P. 3033-3043.
22. Khater H. M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. №4. P. 225-242.
23. Саламанова М. Ш., Нахаев М. Р., Исмаилова З. Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклнкерного вяжущего щелочной активации //

Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2020. Т. 3. № 1. С. 21-29.

24. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Ismailova Z. Kh., Ibragimov S. Kh. Wastes recycling in the construction (Повторное использование отходов промышленности в строительстве) // ETSaP-2019 «Углеводороды и минералы: извлечение, транспортировка, хранение и обработка» в серии IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 663. № 1. P. 1-7.
25. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // MATEC Web of Conferences 27. Сер. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFoCE 2018" 2018. С. 04018.

PRODUCTION OF FINE-GRANULAR CONCRETE ON ALKALINE CEMENT FROM ALUMINUM SILICATE ADDITIVES

© S.-A. Yu. Murtazaev^{1,2}, M. Sh. Salamanova^{1,2}, A. A. Uzaeva², R. G. Bisultanov¹

GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

CRI of the RAS named after Kh. Ibragimov, Grozny, Russia

The problems of decarbonization of the economy are hotly discussed at many scientific sites of leading developed countries and require the search for new building materials to partially replace resource-intensive Portland cement. The development of clinker-free binders of alkaline mixing using substandard local raw materials will make it possible to obtain high-quality products. The results of electron probe studies and X-ray phase qualitative analysis, confirming the effectiveness of these developments, because in the structure of the cement stone, the presence of sparingly soluble compounds of the hydroaluminosilicate zeolite phase of a variable nature was confirmed.

Keywords: clinker-free binders, alkaline activation, structure, fine-grained concrete, quartz sand, dune sand, alkaline activator, sodium silicofluoride.

REFERENCES

1. Lopez, F. J. Sugita S., Tagaya, M. and Kobayashi, T. (2014) 'Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation'. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. №2. P. 16-27.
2. Murtazaev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Nakhaev, M. R. (2020) 'Vozmozhnye puti al'ternativnogo resheniya problem v tsementnoi industrii'. *Stroitel'nye materialy*. [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. Building materials]. №1-2. Pp. 73-77.
3. Chen, L., Wang, Z., Wang, Y. and Feng, J. (2016) 'Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin – Based Geopolymer'. *Materials*. Vol. 9. P. 767.
4. Krivenko, P., Petropavlovskii, O., Mokhort, M. and Puchkar, V. (2008) 'Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement'. *Proceed. 3rd International Symposium "Non-traditional cement&concrete"* (Brno). Pp. 400-409.
5. Rakhimova, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2008) 'Prochnost' kamnya kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchikh s tseolitsoderzhashchimi dobavkami'. *Izvestiya KazGASU*.

- [The strength of the stone of composite slag-alkali binders with zeolite-containing additives. News of KazGASU]. №2 (10). Pp. 131-134.
6. Salamanova, M. Sh., Aliev, S. A. and Murtazaeva, R. S-A. (2019) 'Struktura i svoystva vyazhushchikh shchelochnoi aktivatsii s ispol'zovaniem tsementnoi pyli // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. [Structure and properties of alkaline activation binders using cement dust. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences]. №2 (T. 46). Pp. 148-158.
 7. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. Privolzhsky scientific journal]. №2 (T. 46). Pp. 65-70.
 8. Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh., Alashanov, A. and Ismailova, Z. (2019) 'Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing' (Osobennosti polucheniya melkozernistykh betonov na osnove besklinkernykh vyazhushchikh shchelochnogo zatvoreniya) *14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*, 23-27 September 2019, Belgorod. Pp. 385-388.
 9. Zhang, Z., Provis J. L., Zou, J., Reid, A., Wang (2016) Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymers manufacture. *Cement and Concrete Research* – 2016. Pp. 163-173.
 10. Rakhimova, H. P. (2008) 'Sostoyaniye i perspektivnye napravleniya razvitiya issledovaniy i proizvodstva kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchikh, rastvorov i betonov'. *Stroitel'nye materialy*. [State and promising directions of development of research and production of composite slag-alkali binders, solutions and concretes. Stroitel'nye materialy]. №9. Pp. 77-80.
 11. Hardjito, D., Wallah, S. Sumajouw, D. and Rangan, B. (2004) 'On the development of fly ash-based geopolymer concrete'. *ACI Materials Journal*. Vol. 101. Pp. 467-472.
 12. Davidovitz, J. (2008) *Geopolymer. Chemistry and applications*. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 592 p.
 13. Nuruddin, M. Fadhil, S. Demie, Ahmed, M. Fareed and Shafiq, Nasir. (2011) 'Effect of Superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and Microstructure Properties of Self- Compacting Geopolymer Concrete'. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. №75. P. 908914.
 14. Rakhimova N.R. and Rakhimov, R. Z. (2013) 'Kompozitsionnye shlakoshchelochnye vyazhushchie s mineral'nymi dobavkami razlichnogo tipa aktivnosti'. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. [Composite slag-alkali binders with mineral additives of various types of activity. Bulletin of the Volga Regional Bra]. №16. Pp. 204-216.
 15. Villa C., Pecina E. T., Torres R., Gomez L. (2010) Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*. Vol. 24. P. 2084-2090.
 16. Alex, T. C., Nath, S. K., Kumar, S., Kalinkin, A. M., Gurevich, B. I., Kalinkina, E. V. and Tyukavkina, V. V. (2013) 'Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere'. *International Journal of Mineral Processing*. V. 216. Pp. 102-107.
 17. Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintshev, M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Melkozernistye betony na osnove vyazhushchikh shchelochnoi aktivatsii) *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). Vol. 1. R. 500-503.
 18. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S- A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. (2019) 'Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders' (Ispol'zovanie tsementnoi pyli v proizvodstve besklinkernykh vyazhushchikh shchelochnoi aktivatsii). *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov*

- (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). Vol. 1. R. 457-460.
19. Rakhimov, M. M., Khabibullina, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2016) 'Mekhanizm otverzhdeniya boratnykh solevykh rastvorov shlakoshchelocnymi vyazhushchimi'. *Tsement i ego primeneniye*. [The mechanism of curing borate salt solutions with slag-alkali binders // Cement and its application]. №3. Pp. 96-99.
20. Usharov-Marshak, A. V., Pershina, L. A. and Tsiak, M. (2002) 'Sovmestimost' tsementov s khimicheskimi i mineral'nymi dobavkami'. *Ch. 1. Tsement*. [Compatibility of cements with chemical and mineral additives. Part 1. Cement]. №6. P. 6-9
21. Dombrowski, K., Buchwald, A. and Weil (2007) 'The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers'. *Journal of Materials Science*. Vol. 42. №9. Pp. 3033-3043.
22. Khater, H. M. (2015) 'Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT'. *Advances in Nano Research*. Vol. 3. №4. Pp. 225-242.
23. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova Z. Kh. (2020) 'Zakonomernosti protekaniya protsessov formirovaniya struktury i prochnosti besklinkernogo vyazhushchego shchelocnoi aktivatsii'. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal «Stroitel'nye materialy i izdeliya»*. [Regularities of the processes of formation of the structure and strength of the linker-free binder with alkaline activation. International scientific research journal "Building materials and products"]. V. 3. № 1. Pp. 21-29.
24. Murtazayev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh., Ismailova, Z. Kh. and Ibragimov, S. Kh. (2019) 'Wastes recycling in the construction (Povtornoie ispol'zovanie otkhodov promyshlennosti v stroitel'stve)'. *ETSP-2019 «Uglevodorody i mineraly: izvlechenie, transportirovka, khranenie i obrabotka» v serii IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. V. 663. №1. P. 1-7.
25. Nesvetaev, G., Koryanova, Y. and Zhilnikova, T. (2018) 'On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concret'e. *V sbornike: MATEC Web of Conferences 27. Ser. "27th R-S-P Seminar; Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018"*. P. 04018.