ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ СИЛИКАТНАТРИЕВЫХ ЩЕЛОЧНЫХ РАСТВОРОВ ИЗ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК

© С.-А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова

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

В основу получения бетонных композитов на вяжущих щелочной активации положен отечественный и зарубежный опыт применения шлакощелочных композитов в строительстве. В данной работе проведен энергодисперсионный микроанализ исследуемых бесклинкерных композиций на основе щелочных силикат натриевых растворов из кремнеземсодержащих горных пород. Разработанные рецептуры бесклинкерных вяжущих на основе высокодисперсных порошков различной природы, затворенных щелочным раствором, приготовленным мокрым способом при температурах до 95°C и атмосферном давлении. Данная технология позволит расширить область применения щелочных цементов и получать бетоны с заданными свойствами.

Работа выполнена в рамках исследований по реализации научного проекта № 18-48-200001 «Высококачественные бетоны с повышенными эксплуатационными свойствами на основе местного природного и техногенного сырья», получившего поддержку Российского фонда фундаментальных исследований» (РФФИ).

Ключевые слова: жидкое стекло, метасиликат натрия, кремнеземсодержащие добавки, щелочные металлы, диспергирования, щелочной активатор, бесклинкерные вяжущие, высокодисперсные порошки.

Создание бесклинкерных вяжущих материалов, не требующих высокотемпературной обработки, но обладающих высокими техническими показателями, становится актуальным в настоящее время. К этой категории вяжущих можно отнести цементы щелочного затворения, в которых активной составляющей будут щелочные металлы, способные при гидратации взаимодействовать с минералами алюмосиликатной природы, образуя довольно прочные труднорастворимые соединения, идентичные продуктам гидратации традиционного вяжущего [1-6, 9].

Известен опыт использования таких вяжущих в строительстве [7,8], но если быть точнее, наиболее подробно исследованы шлакощелочные вяжущие на основе отходов черной металлургии, к которым относят доменные гранулированные шлаки, химический состав которых представлен оксидами алюминия, кремния и схож с составом портландцементного клинкера [9, 10]. Но во многих регионах нашей страны шлаки черной металлургии являются дорогим

и редким материалом, требующим огромных транспортных расходов, поэтому широкого внедрения известные разработки не получают. Но на протяжении нескольких лет нами проводятся исследования по получению бесклинкерных цементов щелочного затворения [12-15], в результате которых получены долговечные и коррозионностойкие композиты. В рецептурах вяжущих в замену доменных шлаков черной металлургии использовались высокодисперсные минеральные порошки различной природы из следующих пород: окремненный мергель, известняк, вулканический туф, песчаник, кварцевый песок, отходы цементной промышленности в виде аспирационной и клинкерной пыли электрофильтров. Все эти порошки по отдельности в заданных соотношениях смешивались с мелким заполнителем Алагирского месторождения (модуль крупности 2,8) и затворялись товарным жидким натриевым стеклом, с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,24 г/см³. Приготовленные образцы твердели первые сутки в нормальных условиях при тем-

Таблица 1 – Рецептуры и свойства бесклнкерных цементов щелочной активации

№ со- става	Высокодисперсные порошки	Щелочной актива- тор, % Na_2SiO_3	Активность МПа, 28 сут.		
			условия твердения		
			естественное	40°C	в воде
1	Кварцевый порошок, $S_{уд} = 810 \text{ м}^2/\text{кг}$	26,0	20,3	22,3	23,5
2	Мергель (700°C), $S_{уд} = 1150 \text{ м}^2/\text{кг}$	29,5	39,2	42,6	46,5
3	Вулканический туф $S_{уд} = 920 \text{ м}^2/\text{кг}$	26,5	33,1	37,6	39,4
4	Известняковая мука $S_{уд} = 1060 \text{ м}^2/\text{кг}$	29,0	13,7	16,5	9,0
5	Песчаник $S_{уд} = 1020 \text{ м}^2/\text{кг}$	26,5	14,6	17,3	9,2
6	Клинкерная пыль $S_{уд} = 240 \text{ м}^2/\text{кг}$	23,0	42,1	44,7	50,5
7	Аспирационная пыль $S_{уд} = 280 \text{ м}^2/\text{кг}$	24,0	15,4	15,6	10,1

пературе $20 \pm 2^\circ\text{C}$, но через 2 суток часть образцов-близнецов помещалась периодически в сушильный шкаф при температуре 40°C на пару часов, и часть термообработанных образцов хранилась в воде. Рецептуры и результаты испытаний в зависимости от условий твердения приведены в таблице 1.

Результаты испытаний, приведенные в таблице 1, подтверждают, что прочностные показатели полученных вяжущих зависят в первую очередь от минералогического и химического составов исследуемых порошков, от наличия активных центров кристаллизации, а потом уже от условия твердения и удельной поверхности минеральных добавок. Клинкерная пыль, образующаяся на горячем конце клинкерной вращающейся печи, обладает нужным минеральным составом, при затворении щелочным раствором гидратируется с образованием гидросиликатов кальция и натрия, поэтому эти образцы и отличаются высокими прочностными значениями при твердении в водной среде. Окремненный термоактивированный мергель и вулканический туф также при активации жидкостекольным раствором набрали хорошую активность при хранении образцов в воде, что обосновано алюмосиликатной природой данных порошков. Минеральные порошки из известняка, песчаника и аспирационной пыли после активации набирали прочность при повышении температуры, полученные результаты обоснованы большим содержанием щелочноземельных соединений.

Таким образом были получены бесклнкерные гидравлические вяжущие щелочной активации, с линейкой прочности от 10 до 50 МПа, пригодные для производства бетонных композитов. Но в предлагаемых разработках самым дорогим считается товарное жидкое стекло, и для широкомасштабного использования щелочных композитов необходимо найти альтернативу этому затворителю [14, 16-18]. Поэтому на следующем этапе была поставлена цель – приготовить эффективный и менее затратный щелочной раствор. Затворитель был приготовлен мокрым способом, который заключался в растворении тонкодисперсных кремнеземистых добавок в 20% растворе едкого натрия, с последующим нагреванием до $92-95^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении.

Сущность метода состоит в том, что аморфная составляющая исследуемых добавок при диспергировании вступает в реакцию с щелочью с образованием метасиликата натрия по реакции: $2\text{NaOH} + \text{SiO}_2 = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Полученный таким способом щелочной рас-

Полученный таким способом щелочной рас-

твор метасиликата натрия в виде суспензии подвергали фильтрованию, в результате чего разделялся раствор и нерастворимый осадок. Химический состав предлагаемых щелочных растворов исследовали в НИЦКП «Нанотехнологии и наноматериалы» ГГНТУ на растровом электронном микроскопе QUANTA 3D 200i с использованием энергодисперсионной системы микроанализа (EDAX).

В качестве кремнеземистого компонента в щелочном растворе были использованы мелкие стекольные пески Шатойского месторождения (ЧР) и вулканический туф Кенженского месторождения (КБР). Химический состав минеральных добавок приведен в таблице 2.

После приготовления щелочного раствора в течение недели проводился визуальный

осмотр полученных суспензий (рис. 1 а и б), который показал, что через сутки уровень осадка в растворе на основе тонкодисперсного кварцевого порошка выше, чем в растворе с вулканическим туфом, объяснить этот факт можно тем, что кварц довольно твердый минерал, содержащийся в повышенном количестве, в начальный период труднее взаимодействует с щелочью. Спустя неделю уровень осадка изменился, он уменьшился в том же растворе, вероятно, что процесс диспергирования кварца в растворе едкого натра активизировался за счет аморфной составляющей этой добавки. Энергодисперсионный анализ и микрофотографии соответствующих растворов проводились как чистого фильтрата, так и осадка, результаты представлены на рис. 2-5.

Таблица 2 – Химический состав кремнеземистых добавок, %

Оксидный состав	Вулканический туф	Кварцевый песок
MgO	2,20	6,32
Al ₂ O ₃	13,57	14,99
SiO ₂	63,67	73,83
K ₂ O	6,00	1,83
CaO	7,79	0,6
Fe ₂ O ₃	2,52	0,97
TiO ₂	2,85	1,32
SO ₃	-	0,14
ППП	1,40	-

а)

б)

Рис. 1. Снимки щелочных растворов на основе кварцевого песка и вулканического туфа, через сутки (а) и через неделю (б)

Рис. 2. Энергодисперсионный анализ щелочного раствора на основе кварцевого песка, без осадка (а), с осадком (б)

Рис. 3. Микрографии щелочного раствора на основе кварцевого песка, без осадка (а), с осадком (б)

Рис. 4. Энергодисперсионный анализ щелочного раствора на основе вулканического туфа, без осадка (а), с осадком (б)

Рис. 5. Микрографии щелочного раствора на основе вулканического туфа, без осадка (а), с осадком (б)

Таблица 3 – Рецептуры и свойства бесклнкерных цементов щелочной активации

№ состава	Высокодисперсные порошки	Щелочной активатор, % Na_2SiO_3		Активность МПа, 28 сут. условия твердения	
		кварцевый песок	вулканический туф	естественное	в воде
1	Кварцевый порошок, $S_{\text{уд}} = 810 \text{ м}^2/\text{кг}$	26,2	-	14,7	13,5
		-	26,2	15,3	14,1
2	Мергель (700°C), $S_{\text{уд}} = 1150 \text{ м}^2/\text{кг}$	29,5	-	22,9	25,4
		-	29,6	23,4	25,8
3	Вулканический туф $S_{\text{уд}} = 920 \text{ м}^2/\text{кг}$	26,6	-	17,6	19,3
		-	26,6	18,2	19,7
4	Известняковая мука $S_{\text{уд}} = 1060 \text{ м}^2/\text{кг}$	29,3	-	9,4	4,0
		-	29,3	9,6	4,6
5	Песчаник $S_{\text{уд}} = 1020 \text{ м}^2/\text{кг}$	26,7	-	7,6	3,2
		-	26,7	7,7	3,6
6	Аспирационная пыль $S_{\text{уд}} = 280 \text{ м}^2/\text{кг}$	24,2	-	10,0	5,1
		-	24,2	10,4	5,0

Результаты микроанализа показывают, что в осадках щелочных растворов содержится большее количество непрореагировавшего кремнезема. В фильтратах щелочного раствора на основе вулканического туфа, как показали исследования, большее содержание SiO_2 до 2,85%, тогда как в растворе на основе кварцевых порошков SiO_2 до 1,99%, а микрофотографии подтверждают наличие стекловидной фазы.

На дальнейшем этапе были проведены исследования, подтверждающие эффективность разработанных растворов метасиликата натрия. Для этого были приготовлены образцы-балочки из высокодисперсных порошков (таблица 1), затворенных исследуемыми щелочными растворами. После распалубки образцы подвергали тепловому воздействию в течение двух суток в сушильном шкафу (3 часа при $t = 40^\circ\text{C}$), далее одну часть образцов помещали в воду для установления гидравлическости вяжущих, а другая твердела на воздухе, для взаимодействия с углекислотой и образования геля кремниевой кислоты хотя бы на поверх-

ностных слоях образцов. Результаты исследований приведены в таблице 3.

Полученные результаты испытаний подтверждают эффективность щелочного раствора на основе вулканического туфа, особенно это проявляется в составах №2 и 3. Термоактивированный окремненный мергель и вулканические породы алюмосиликатной природы, активируясь щелочным раствором, формируют прочный геополимерный камень, представленный каркасным алюмосиликатом, затворенным щелочной средой с образованием трехмерного алюмосиликатного гидрогеля [19, 20]. Порошки карбонатной природы не обладают гидравлическими свойствами и показали невысокие результаты по прочности.

Конечно же, результаты прочности отличаются от полученных при затворении товарным жидким натриевым стеклом, но учитывая энергоэффективность данной технологии, можно считать, что предлагаемые растворы позволяют расширить область применения бесклнкерных вяжущих щелочной активации и получать бетоны с заданными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dietz A., Ramroth H., Urban T., Ahrens W., Becher H. (2004) Exposure to cement dust, related occupational groups and laryngeal cancer risk: Results of a population based case-control study. *Int J Cancer*, 108.
2. Al-Neaimi Y.I., Gomes J., Lloyd O.L. (2001) Respiratory illnesses and ventilator function among workers at a cement Factory in a rapidly developing country. *Occup Med (Lond)*, 51, Pp. 367-373.
3. Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М.Ш., Ватаев У.В. Цементная промышленность Чеченской Республики // Вестник Академии наук Чеченской Республики. № 1 (22). Грозный, 2014. С. 109-114.
4. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete // В сборнике: MATEC Web of Conferences 27. Сер. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018" 2018. С. 04018.
5. Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures / S.A. Stelmakh, M.P. Nazhnev, E.M. Shcherban, A.V. Yanovskaya, A.V. Cherpakov // Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018) Abstracts & Schedule. Edited by Yun-Hae Kim, I.A. Parinov, S.-H. Chang. 2018. С. 337.
6. Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete/ A. Shuisky, S. Stelmakh, E. Shcherban, E. Torlina// MATEC Web of Conferences Сер. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2017" 2017. С. 05011.
7. Строительные материалы на основе жидкого стекла / А.А. Солдатов, И.В. Сариев, М.А. Жаров, М.А. Абдураимова // Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности. Материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета. Н.И. Стоянов (ответственный редактор). 2016. С. 192-195.
8. Исследование свойств бетонов на бесклнкерных вяжущих / С.-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов, А.Х. Аласханов // Перспективы развития топливно-энергетического комплекса и современное состояние нефтегазового инженерного образования в России: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 105-летию М.Д. Миллионщикова, 11-12 июня 2018 г. Грозный: ФГБОУ ВО «ГГНТУ», 2018. С. 392-399.
9. Salamanova M.Sh., Murtazayev S. Yu., Ismailova Z.H. The Use of Highly Active Additives for the Production of Clinkerless Binders // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018) ISSN Part of series: AER, ISSN: 2352-5401, volume: 177 ISBN 978-94-6252-637-2, pp. 355-358.
10. Salamanova M.Sh., Murtazayev S. Yu. Clinker-free binders based on finely dispersed mineral components // Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. 12-14 september 2018, Bauhaus-Universitdt Weimar. Band 1 und 2. Weimar: 2018. B. 2. С. 707-714.
11. Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties / A.A. Volodchenko, V.S. Lesovik, L.H. Zagorodnyuk, A.N. Volodchenko // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Volume 10. Issue 19. Pages 40617-40622.
12. Designing of mortar compositions on the basis of dry mixes / V.S. Lesovik, L.K. Zagorodnyuk, A.E. Mestnikov, A.I. Kudina, D.A. Sumskoi// International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Volume 10. Issue 5. Pp. 12383-12390.
13. Composite performance improvement based on non-conventional natural and technogenic raw materials/ A.A. Volodchenko, V.S. Lesovik, A.N. Volodchenko, L.H. Zagorodnyuk, Y.V. Pukhareno// 2016. International Journal of Pharmacy and Technology 2016. 8 (3), с. 18856-18867.
14. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008-592 pp.

15. Geopolymer technology: The current state of the art /P. Duxson, A. Fernandez, J. Provis, J. Mater. //Sci. 2007. V. 42. Pp. 2917-2933.
16. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок / С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов, З.Х. Исмаилова // Научный журнал «Современная наука и инновации». Ставрополь – Пятигорск, 2017. №2 (18). С. 168-175.
17. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
18. Martschuk V., Stark T. Untersuchungen zurn Frost-Tausalz-Widerstaud von Mochleistungs betonen // Thesis: Wiss.Z. Bauhaus -Univ. Weirnar. 1998. V. 44. № 1-2. Pp. 92-103.
19. Larbi, J. A., Bijen J.M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems // Cem. andConcr. Res. 1990. V. 20. №5. Pp. 783-794.
20. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders / N. I. Kozhuhova, I. V. Zhernovskiy, M. S. Osadchaya, V. V. Strokov, R. V. Tchizhov // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. Issue 22. Pp. 16945-16955.

PREPARATION OF LIQUID-GLASS SILICATE-SODIUM ALKALINE SOLUTIONS FROM SILICON-CONTAINING ADDITIVES

© S-A. Yu. Murtazaev, Salamanova M. Sh.

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

Alkaline mixing cements in which the alkaline metals will be the active component can interact with aluminosilicate minerals during hydration to form strong and insoluble compounds. The basis for the production of concrete composites on alkaline binding binders is based on domestic and foreign experience in the use of slag base composites in construction. In this work, an energy dispersive microanalysis of the clinker-free compositions under study based on alkaline silicate sodium solutions from silica-containing rocks was carried out. Developed formulations of clinkerless binders on the basis of highly dispersed powders of various nature, closed with an alkaline solution prepared by the wet method at temperatures up to 95 °C and atmospheric pressure. This technology will allow you to expand the scope of alkaline cements and get concretes with desired properties.

Keywords. Liquid glass, sodium metasilicate, silica-containing additives, alkali metals, dispersing, alkaline activator, linkless binders, highly dispersed powders.

REFERENCES

1. Dietz, A., Ramroth, H., Urban, T., Ahrens, W. and Becher, H. (2004) Exposure to cement dust, related occupational groups and laryngeal cancer risk: Results of a population based case-control study. Int J Cancer, p. 108.

2. Al-Neaimi, Y. I., Gomes, J., Lloyd, O. L. (2001) Respiratory illnesses and ventilator function among workers at a cement Factory in a rapidly developing country. *Occup Med (Lond)*, 51, pp. 367-73.
3. Murtazaev, S.-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Vataev, U. V. (2014) 'Tsementnaya promyshlennost' Chechenskoj respubliki' [Cement industry of the Chechen Republic]. *Vestnik Akademii Nauk Chechenskoj respubliki*. №1 (22). Grozny. Pp. 109-114.
4. Nesvetaev, G., Koryanova, Y. and Zhilnikova, T. (2018) 'On effect of super plasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete' *Proceedings of MATEC Web of Conferences 27. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018"*. P. 04018.
5. Stelmakh, S. A., Nazhnev, M. P., Shcherban, E. M., Yanovskaya, A. V. and Cherpakov, A. V. (2018) 'Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures' *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018) Abstracts & Schedule. Edited by Yun-HaeKim, I.A. Parinov, S.-H. Chang*. P. 337.
6. Shuisky, A., Stelmakh, S., Shcherban, E., Torlina, E. (2017) 'Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete' *MATEC Web of Conferences Ser. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTME 2017"*. P. 05011.
7. Soldatov, A. A., Sariev, I. V., Zharov, M. A. and Abduraimova M. A. (2016) 'Stroitel'nye materialy na osnove zhidkogo stekla: V sbornike: Aktual'nye problem stroitel'stva, transporta, mashinostroeniya i tekhnosfernoi bezopasnosti. Materialy IV-i ezhegodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. N.I. Stoyanov (otvetstvennyi redaktor). [Construction materials based on liquid glass. In proceedings: Actual problems of construction, transport, engineering and technosphere safety. Materials of the IVth annual scientific and practical conference of the North Caucasus Federal University. N.I. Stoyanov (executive editor)]. Pp. 192-195.
8. Murtazaev, S.-A. Yu., Salamanova, M. Sh., Saidumov, M. S. and Alaskhanov A. Kh. (2018) 'Issledovanie svoystv betonov na besklinkernykh vyazhushchikh' *Perspektivy razvitiya toplivno-energeticheskogo kompleksa i sovremennoe sostoyanie neftegazovogo inzhenerenogo obrazovaniya v Rossii, posvyashchennaya 105-letiyu M.D. Millionshchikova: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii 11-12 iyunya 2018 g. FGBOU VO «GGNTU»*. [Investigation of the properties of concrete on clinker-free binders. Prospects for the development of the fuel and energy complex and the current state of oil and gas engineering education in Russia, dedicated to the 105th anniversary of M.D. Millionschikov: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference June 11-12, 2018. FSBE HE "GSTOU"]. Grozny. Pp. 392-399.
9. Salamanova, M. Sh., Murtazayev, S. Yu. and Ismailova, Z. H. (2018) 'The Use of Highly Active Additives for the Production of Clinkerless Binders'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018)* ISSN Part of series: AER, ISSN: 2352-5401, volume: 177 ISBN 978-94-6252-637-2. Pp. 355-358.
10. Salamanova M. Sh. and Murtazayev S. Yu. (2018) Clinker-free binders based on finely dispersed mineral components. *Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. 12-14 september 2018, Bauhaus-Universitdt Weimar. Band 1 und 2. Weimar. B. 2. Pp. 707-714.*
11. Volodchenko, A. A., Lesovik, V. S., Zagorodnyuk, L. H. and Volodchenko, A. N. (2015) 'Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties: *International Journal of Applied Engineering Research*. Volume 10. Issue 19. Pp. 40617-40622.
12. Lesovik, V. S., Zagorodnyuk, L. K., Mestnikov, A. E., Kudinova, A. I., Sumskoi, D. A. (2015) 'Designing of mortar compositions on the basis of dry mixes' *International Journal of Applied Engineering Research*. Volume 10. Issue 5. Pp. 12383-12390.
13. Volodchenko, A. A., Lesovik, V. S., Volodchenko, A. N., Zagorodnyuk, L. H., and Pukharensko, Y. V. (2016) 'Composite performance improvement based on non-conventional natural and technogenic raw materials' *International Journal of Pharmacy and Technology 2016. №8 (3)*, pp. 18856-18867.

14. Davidovitz, J. (2008) 'Geopolymer'. *Chemistry and applications*. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. Pp. 592.
15. Duxson, P., Fernandez, A., Provis, J., Mater, J. Geopolymer technology: The current state of the art //Sci. 2007. V. 42. Pp. 2917-2933.
16. Murtazaev, S-A.Yu. Salamanova, M. Sh., Saidumov, M. S. and Ismailova, Z. Kh. (2017) 'Vliyanie aktivnykh tsentrov poverkhnosti na reaktsionnuyu sposobnost' mineral'nykh dobavok' [The effect of surface active sites on the reactivity of mineral additives] *Nauchnyi zhurnal «Sovremennaya nauka i innovatsii»*. Stavropol – Pyatigorsk. №2 (18). Pp. 168-175.
17. Murtazaev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. [Prospects for the use of thermally activated aluminosilicate materials]. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. №2 (V. 46). Pp. 65-70.
18. Martschuk, V. and Stark, T. (1998) Untersuchungen zum Frost-Tausalz-Widerstand von Mochleistungsbetonen. Thesis: Wiss.Z. Bauhaus -Univ. Weirnar. V. 44. № 1-2. Pp. 92-103.
19. Larbi, J. A. and Bijen, J. M. (1990) Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems. *Cem. andconcr. res.* V20. №5. pp. 783-794.
20. Kozhuhova, N. I., Zhernovskiy, I. V., Osadchaya, M. S., Strokova, V. V. and Tchizhov R. V. (2014). 'Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders'// *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*. Vol. 9. Issue 22. Pp. 16945-16955.