

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ НА БЕСКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ

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

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

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

Разработка рецептур вяжущих связок щелочной активации на основе отходов цементной промышленности и тонкодисперсных порошков алюмосиликатной природы позволит получать новые эффективные и качественные продукты. Но в предлагаемых новых строительных композитах при неточностях проектирования свойственно появление высолов в процессе эксплуатации. Разработана специальная методика выявления высолообразований на образцах вяжущего материала «аспирационная пыль + клинкерная пыль 15% + барханный песок + щелочной раствор». Результаты исследований показали, что на образцах бетона с использованием в вяжущих связках минерального порошка из барханного песка в дозировке 20% обнаружено присутствие белых высолов, причина которым повышенное содержание щелочных оксидов в барханных песках, способствующих появлению КОН и NaOH.

Исследовалась стойкость цементного камня на бесклинкерных вяжущих щелочной активации против агрессивных реагентов. Получены рецептуры бесклинкерного вяжущего щелочной активации с коэффициентом кислотостойкости 90,2-95,4%, свидетельствующем о высоком сопротивлении действию кислот. Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют, что повышение прочности и стойкости против агрессивных кислых сред вызвано синтезируемыми гидратными новообразованиями с характерным цеолитовым происхождением. Полученные композиции можно охарактеризовать кислотостойкими и рекомендовать для производства строительных композитов, работающих в кислых средах, но важно учитывать и слабую щелочестойкость.

Ключевые слова: бесклинкерные вяжущие, высолы, кислотостойкость, аспирационная пыль, щелочной раствор, едкий натр, жидкое стекло, активатор, метасиликат натрия.

В условиях дефицита разработанного природного ресурса, постоянного удорожания энергоносителей, усиления антропогенного воздействия на экологическую среду особое внимание уделяется разработке менее ресурсо- и энергоемких технологий получения строительных композитов [1-5]. Разработка бесклинкерной технологии получения вяжущих щелочной активации с использованием некондиционного и вторичного сырья позволит в определенной мере решить проблемы экологического характера, а специфические особенности этой продукции, характеризующиеся высокой коррозионной стойкостью, морозостойкостью, низкой экзотермией, прочностью на сжатие до 100 Мпа, подтверждают ее пригодность для производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Исследованиями [6-10] доказана высокая коррозионная стойкость шлакощелочных бетонов против магниальной и сульфатной агрессии, и в слабоминерализованных средах с гидрокарбонатной жесткостью. В работе [11] получены низкоэкзотермичные шлакощелочные бетоны, с малым тепловыделением, что позволит использовать данные разработки при монолитном бетонировании, и в частности, при строительстве массивных элементов зданий и сооружений. Данные [12] подтверждают эффективность использования шлакощелочных бетонов при отрицательных температурах, что объясняется низкой температурой замерзания формовочной смеси. Установлена высокая прочность шлакощелочных цементов и возможность конденсационно-кристаллизационного твердения, что обусловлено катионным

обменом между солями щелочных металлов типа R_2CO_3 и оксидом кальция гранулированного шлака, в результате чего образуются карбонат кальция, растворы едкого натра и калия.

Но в предлагаемых новых строительных композитах при неточностях проектирования свойственна характерная особенность – это появление высолов в процессе эксплуатации. Известно, что тепловые воздействия на бетон существенно снижают риск появления белого налета, но при твердении в естественных условиях высолообразование имеет место [13, 14, 25].

Для обнаружения этого эстетически неприятного факта на поверхности бетонных композитов на основе бесклнкерных вяжущих щелочной активации был проведен эксперимент по следующей методике. В первую очередь приготавливалась вяжущая связка, состоящая из порошкообразных и жидких компонентов, но в отличие от композитов на жидком стекле, минеральные порошки техногенного происхождения обладали достаточно высокой реакционной способностью. Далее изготавливались образцы призмы размером $100 \times 100 \times 400$ мм с использованием вяжущей связки «аспирационная пыль + клинкерная пыль 15% + барханный песок + Na_2SiO_3 + $NaOH$ », в которых минеральный порошок барханного песка, полученный 30 минутным помолотом в вибрационной шаровой мельнице ВМ-20, до удельной поверхности $S_{уд} 670 \text{ м}^2/\text{кг}$, добавляли в дозировке 10 и 20%. Щелочной затворитель использовался в обоих случаях смешанный (80:20%) из метасиликата натрия Na_2SiO_3 плотностью 1420 кг/м^3 и силикатным модулем 2,8 и едкого натра (20%) плотностью 1250 кг/м^3 . Отношение щелочной раствор / реакционный компонент изменялось в зависимости от расхода минерального порошка в пределах 0,68-0,70. Реакционный компонент – аспирационная пыль электрофильтров в дозировке 65-75%. Крупный заполнитель из щебня Серноводского месторождения фракции 5-20 мм, мелкий заполнитель из кварцевого песка Червленского месторождения.

Образцы твердели в воздушно-сухих условиях в течение 28 суток, после чего их помещали в сосуд с водой в вертикальном положении,

уровень воды только на 4-5 см омывала образцы, остальная часть образцов подвергалась обдуванию воздухом $t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ежедневно в течение 3-4 часов на протяжении 7 дней. Далее открытая часть образцов визуальнo осматривалась на наличие высолообразований в течение 6 месяцев. Бетонные призмы из исследуемых составов продемонстрированы на рисунке 1, на образце с минеральным порошком из барханного песка в дозировке 20% обнаружены высолы в небольшом количестве.

Причина появления белого налета кроется именно в минеральном порошке из барханного песка. Изначально выбор именно этого порошка в этом эксперименте был обоснован химическим составом:

– барханные пески, %: $MgO = 2,41$; $Al_2O_3 = 7,81$; $SiO_2 = 59,54$; $K_2O = 1,44$; $CaO = 17,52$; $Fe_2O_3 = 2,60$; $Na_2O = 1,35$; $SO_3 = 0,21$; ппп = 7,12.

Необходимо было проследить, как повышенное содержание щелочных оксидов $K_2O = 1,44\%$ и $Na_2O = 1,35\%$ в дальнейшем отразится на процессе высолообразования. Значит 20% введение этой добавки способствовало появлению KOH и $NaOH$, что является следствием того, что щелочные оксиды находятся не в связанном состоянии, в структурной алюмокремнекислородной цепочке катионы K^+ и Na^+ химически не зафиксированы в структуре, из-за переизбытка. Это и приводит к свободному движению и возникновению щелочей KOH и $NaOH$. Ряд исследований [15-20] подтвердил, при наличии катионов щелочных металлов Na и K в несвязанном виде они не инкорпорируются в структуру, а дислоцируются на поверхностном слое бетона. И во избежание негативного последствия высолов необходимо связать свободные щелочные оксиды в стабильные гидратные соединения, оптимизируя рецептуры использованием дополнительных источников алюмосиликатной природы.

Применение бетонов на бесклнкерных вяжущих щелочной активации на промышленном уровне приводит к возникновению вопросов, связанных с долговечностью композитов в различных условиях: естественных, повышенной влажности, щелочных и кислых. Ранее были разработаны способ получения кислотоупорного вяжущего и вяжущее вещество на

основе высокоактивного метаксаолина [21-24], позволяющие за счет уникальных свойств бесклнкерных композитов повышать эффективность получения кислотоупорных композитов, стимулируя исследования для полноценного практического внедрения.

Исследование поведения вяжущих щелочной активации в агрессивных средах проводили согласно методике [16, 17, 26], для этого готовили образцы – балочки размером 20х20х100мм, которые после распалубки помещались в сушильный шкаф при температуре 50°C на 24 часа и через 26 суток нормально-влажностного твердения часть из них была полностью погружена в разные среды: вода, раствор 3 % серной кислоты и 3 % едкого натра.

На протяжении всего периода исследования образцы визуальнo обследовались, и на основании этого делались выводы. При достижении 6 месяцев и 1 года образцы балочки испытывали на предел прочности, на сжатие и вычисляли коэффициент стойкости с точностью 0,01.

Исследования стойкости цементного щелочного камня действию агрессивных сред проводили на образцах из следующих компонентов: аспирационная и клинкерная пыли электрофильтров вращающейся печи, окремненный мергель, вулканический туф, раствор гидроксида натрия и жидкого стекла натриевого с силикатным модулем 2,8 и плотностью 1,42 г/см³, ускоритель гидролиза и образования геля кремниевой кислоты – кремнефтористый натрий Na₂SiF₆ (ТУ 113-08-587-86), кремний-органическая жидкость – метилсиликонат натрия (ГКЖ-11) и кварцевый песок Вольского карьера. Оптимальная дозировка всех компонентов вяжущей системы была определена лабораторными испытаниями и представлена в таблице 1.

Необходимо отметить, что исследуемые композиты на вяжущих щелочной активации можно считать достаточно кислотостойкими, на протяжении 1 года ни визуальных изменений, ни существенных потерь в прочности не зафиксировано (рисунок 2 а, б). Но если рас-

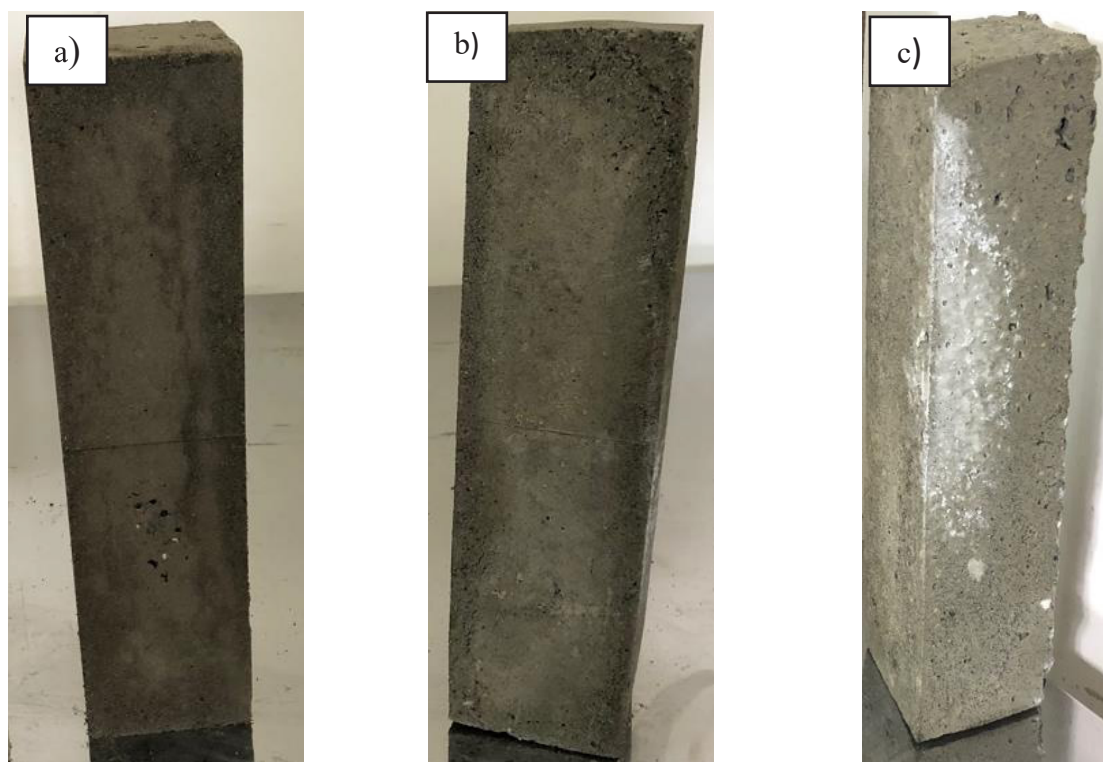


Рис. 1. Бетонные призмы на вяжущих связках «аспирационная пыль + клинкерная пыль 15% + барханный песок + Na₂SiO₃ + NaOH»; а) бездобавочный; б) 10% барханный песок; в) 20% барханный песок

Таблица 1.

Рецептуры и свойства вяжущих щелочной активации

№ пп	Компоненты	Состав, масс. %	Предел прочности на сжатие, МПа	Кислотостойкость в 3% растворе H_2SO_4 , %	Щелочестойкость в 3% растворе NaOH, %
1.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Мергель Na_2SiO_3 NaOH Na_2SiF_6 .	31,0 31,0 21,4 11 0,6 5	60,7	90,2	-
2.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Вулканический туф Na_2SiO_3 NaOH Na_2SiF_6 .	31,0 31,0 21,4 11 0,6 5	62,4	92,3	-
3.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Мергель Na_2SiO_3 NaOH Na_2SiF_6 ГКЖ-11	35,6 25,6 21,4 11 0,6 5 0,8	63,4	95,1	-
4.	Аспирационная пыль Клинкерная пыль Вулканический туф Na_2SiO_3 NaOH Na_2SiF_6 ГКЖ-11	35,6 25,6 21,4 11 0,6 5 0,8	66,5	95,4	-

смагивать их отношение к действию щелочей, то следует заметить, что через 60 суток образцы частично покрылись мелкими трещинами.

Полученные результаты подтверждают высокое сопротивление действию кислот, коэффициент кислотостойкости 90,2-92,3%, а при использовании в рецептуре вяжущей щелочной связки метилсиликоната натрия кислотостойкость увеличилась на 4,5-5,0%. Минеральный порошок из вулканического туфа зарекомендовал себя лучше окремненного мергеля, и это благодаря повышенному содержанию алюмосиликатов в химическом составе $Al_2O_3 = 13,67\%$; $SiO_2 = 74,29\%$.

Аспирационная пыль содержит в своем составе определенную долю слабообожженных глинистых минералов, продукта термообработки каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ в

виде аморфизированной формы каолинитового ангидрида $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, алюмокремнекислородная цепочка Si-O-Al-O-Si разрушается под действием щелочной среды, в результате сложных процессов геополимеризации образуется трехмерный полимерный каркас (алюмосиликатный гидрогель) [14, 27]. Образующие гидратные новообразования отличаются характерным алюмосиликатным происхождением, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа (рисунок 3, таблица 2), присутствие которых и является результатом повышения прочности и стойкости против агрессивных кислых сред.

Щелочные катионы натрия входят в состав каркаса и компенсируют отрицательный заряд, создаваемый при выстраивании тетраэдров AlO_4 между кремнекислородными тетраэдрами.

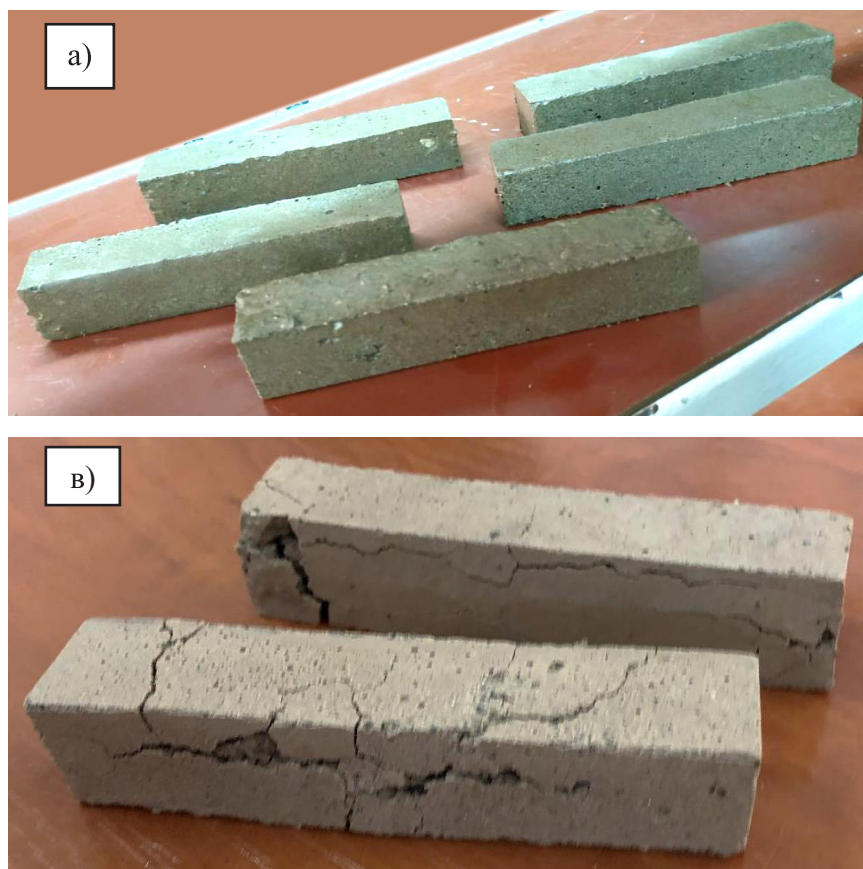


Рис. 2. Образцы бесклнкерных вяжущих щелочной активации после испытаний: а) на кислотостойкость; в) на щелочестойкость

ми, а алюминий создает дефицит положительного заряда, который компенсируется вхождением в структуру каркаса щелочных катионов. Таким образом, катионы натрия находятся заземленными в прочной связи алюмосиликатного каркаса, способствуя синтезу водостойкого и кислотоупорного материала.

В представленной рецептуре кислотостойкого вяжущего, за счет присутствия в его составе реакционно активных компонентов, оптимизированы процессы формирования структуры и прочности в проектируемом материале и, соответственно, тем самым повышены физико-механические и эксплуатационные ха-

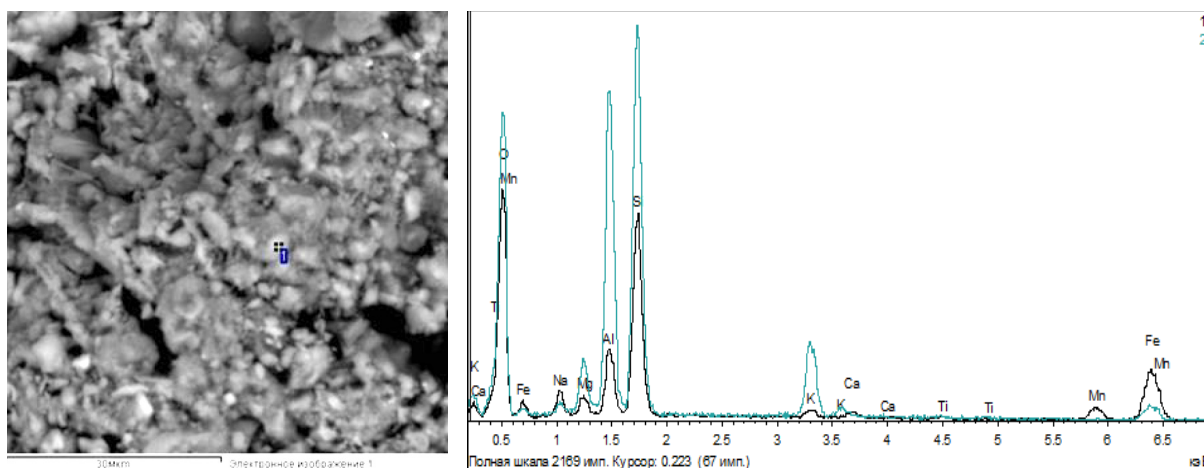


Рис. 3. Гидраты алюмосиликатов кальция основной массы

Таблица 2.

Состав основной массы, в вес. % (место анализа на рисунке 3)

Спектр	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	FeO	Итог
1	2.55	1.20	32.98	49.97	7.44	0.25	1.00	1.00	1.45	97.80

рактеристики. Таким образом, использование указанного кислотостойкого вяжущего щелочной активации на основе высокоактивных минеральных компонентов позволяет повысить эффективность получения кислотостойких материалов.

Полученные композиции можно охарактеризовать кислотостойкими и рекомендовать для производства строительных композитов, работающих в кислых средах, но важно учитывать и слабую щелочестойкость. Разработан-

ная технология получения щелочного вяжущего способствует повышению эффективности бесклнкерных строительных композитов путем снижения себестоимости, улучшения физико-механических свойств конечного продукта, а также способствует расширению сырьевой базы бесклнкерной технологии за счет использования активированных щелочным раствором отходов цементной промышленности, не требующих тепловой обработки и длительного измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-Based Geopolymers for Targeted Adsorbents to Heavy Metal Ion Separation // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. 2014. №2. Pp. 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. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin- Based Geopolymer // Materials. 2016. Vol. 9. Pp. 767.
4. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Сайдумов М. С., Исмаилова З. Х. Влияние активных центров поверхности на реакционную способность минеральных добавок // Современная наука и инновации. 2017. №2 (18). С. 168-175.
5. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. №2 (Т. 46). С. 65-70.
6. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing // 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. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93
7. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture // Cement and Concrete Research. 2016. Pp. 163-173.
8. Рахимова Н. Р. Состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов // Строительные материалы. 2008. №9. С. 77-80.
9. Hardjito D., Wallah S., Sumajouw D., Rangan B. On the development of fly ash-based geopolymer concrete // ACJ Materials Journal. 2004. Vol. 101. Pp. 467-472.
10. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 p.

11. Корнеев В. И., Данилов В. В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
12. Fadhil, Nuruddin M., Demie S., Fareed, Ahmed M., Nasir, Shafiq. 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. 2011. № 75. Pp. 908-914.
13. 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. Vol. 216. Pp. 102-107.
14. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite // Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Pp. 2084-2090.
15. Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З. Композиционные шлакощелочные вяжущие с минеральными добавками различного типа активности // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. № 16. С. 204-216.
16. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsaeв M.Sh., Bisultanov R. G. Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging // 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. Pp. 500-503. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914231>
17. Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Viskhanov S.S. Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders // 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. Pp. 457-460. <https://www.atlantispress.com/proceedings/isees-19/125914222>
18. 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.
19. Dombrowski K. The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers // Journal of Materials Science. Vol. 42. № 9. 2007. Pp. 3033-3043.
20. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // Alkali Activated Materials. 2008. Pp. 523-525.
21. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // Advances in Nano Research. 2015. Vol. 3. № 4. Pp. 225-242.
22. Khater H. M., El Nagar A. M., Ezzat M. Optimization of Alkali Activated Grog / Ceramic Wastes Geopolymer Bricks // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2016. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37-46.
23. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // Int. J. Chem. Sci. 2016. № 14 (Vol. 1). Pp. 115-126.
24. 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. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>
25. Тарамов Ю. Х., Цамаева П. С., Эльмурзаев А. А. Влияние состава битума на эксплуатационные свойства / Ю. Х. Тарамов, П. С. Цамаева, А. А. Эльмурзаев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18. № 1 (27). С. 54-62.
26. Батаев Д. К. С. К вопросу разработки полимерных композиционных материалов для накопительных конвейеров с регламентированным диапазоном фрикционных свойств. / Д. К. С. Батаев, У. Гойтемиров, Ш. И. Анкаров, М. В. Эдилсултанова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2018. Т. 3. № 6 (14). С. 76-81.
27. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Мажиев Х. Н. Численное исследование влияния строения грунтовой толщи на спектральный состав колебаний на поверхности при интенсивных нагрузках // Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах. Труды III-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. 2005. С. 269-271.

STUDY OF THE CEMENT STONE RESISTANCE ON CLINKER-FREE BINDERS OF ALKALINE ACTIVATION

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

¹GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

²Kh. Ibragimov Complex Institute of the RAS, Grozny, Russia

The development of formulations for binders of alkaline activation based on waste from the cement industry and fine powders of aluminosilicate nature will make it possible to obtain new effective and high-quality products. But in the proposed new building composites, with design inaccuracies, the appearance of efflorescence during operation is typical. A special technique for detecting efflorescence on samples of binder material "aspiration dust + clinker dust 15% + dune sand + alkaline solution" has been developed. The research results showed that the presence of white efflorescences was found on concrete samples using mineral powder from dune sand in binders at a dosage of 20%, the reason for which is an increased content of alkali oxides in dune sands, which contribute to the appearance of KOH and NaOH.

The resistance of cement stone on alkaline activation clinker-free binders against aggressive reagents was studied. The formulations of a clinker-free binder of alkaline activation with an acid resistance coefficient of 90.2-95.4%, indicating a high resistance to acids, have been obtained. The results of X-ray phase analysis indicate that the increase in strength and resistance to aggressive acidic environments is caused by synthesized hydrate formations with a characteristic zeolite origin. The resulting compositions can be characterized as acid-resistant and recommended for the production of building composites operating in acidic environments, but it is also important to take into account weak alkali resistance.

Keywords: clinker-free binders, efflorescence, acid resistance, aspiration dust, alkaline solution, caustic soda, liquid glass, activator, sodium metasilicate

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. Pp. 16-27.
2. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanov, a 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. Construction materials]. №1-2. Pp. 73-77. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-73-77>
3. Chen, L., Wang, Z., Wang, Y. and Feng, J. (2016) Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin-Based Geopolymer. *Materials*. Vol. 9. Pp. 767.
4. 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'. *Nauchnyi zhurnal «Sovremennaya nauka i innovatsii»*. [Influence of surface active centers on the reactivity of mineral additives. Scientific journal "Modern Science and Innovations"]. №2 (18). Pp. 168-175.
5. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya al'yumosilikatnoi 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.
6. 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'. *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. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22974-0_93*
7. Zhang, Z., Provis, J. L., Zou, J., Reid, A. and Wang, H. (2016) Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture. *Cement and Concrete Research*. Pp. 163-173.
 8. Rakhimova, H. P. (2008) 'Sostoyanie i perspektivnye napravleniya razvitiya issledovaniy i proizvodstva kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchikh, rastvorov i betonov' *Stroitel'nye materialy*. [State and perspective directions of development of research and production of composite slag-alkaline binders, mortars and concrete]. №9. Pp. 77-80.
 9. Hardjito, D., Wallah, S., Sumajouw, D. and Rangan, B. 'On the development of fly ash-based geopolymer concrete'. *ACJ Materials Journal*. 2004. Vol. 101. Pp. 467-472.
 10. Davidovitz, J. (2008) *Geopolymer. Chemistry and applications*. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 592 p.
 11. Korneev V.I. and Danilov V.V. (1996) *Rastvorimoe i zhidkoe steklo*. [Soluble and liquid glass]. Stroyizdat. St. Petersburg, 216 p.
 12. Fadhil, Nuruddin M., Demie, S., Fareed and Ahmed M., Nasir, Shafiq. (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. Pp. 908-914.
 13. 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*. Vol. 216. Pp. 102-107.
 14. Villa, C., Pecina, E. T., Torres, R. and Gomez, L. (2010) 'Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite'. *Construction and Building Materials*. Vol. 24. Pp. 2084-2090.
 15. 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-alkaline binders with mineral additives of various types of activity. Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. №16. S. 204-216.
 16. Murtazayev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsae, and M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) 'Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 500-503. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914231>
 17. 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'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 457-460, available at: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/isees-19/125914222>
 18. Rakhimov, M. M., Khabibullina, N. R. and Rakhimov, R. Z. (2016) 'Mekhanizm otverzheniya boratnykh solevykh rastvorov shlakoshchelochnymi vyazhushchimi'. *Tsement i ego primeneniye*. [The mechanism of curing of borate salt solutions with slag-alkaline binders. Cement and its application]. №3. Pp. 96-99.
 19. Dombrowski, K. (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.
 20. Pawlasova, S. and Skvara, F. (2008) 'High-Temperature Properties of Geopolymer Materials'. *Akali Activated Materials*. Pp. 523-525.
 21. 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.

22. Khater, H. M., El Nagar, A. M., Ezzat, M. (2016) 'Optimization of Alkali Activated Grog/Ceramic Wastes Geopolymer Bricks'. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5. Issue 1. Pp. 37-46.
23. Nagajothi, S. and Elavenil, S. (2016) 'Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand'. *Int. J. Chem. sci.* № 14 (Vol. 1). Pp. 115-126.
24. Salamanova, M. Sh., Nakhaev, M. R. and Ismailova, Z. Kh. (2020) 'Zakonomernosti protekaniya protsessov formirovaniya struktury i prochnosti besklinskernogo vyazhushchego shchelochnoi aktivatsii'. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal «Stroitel'nye materialy i izdeliya»*. [Patterns of the processes of formation of the structure and strength of a clinker-free binder of alkaline activation. *International Research Journal "Building Materials and Products"*]. V. 3. № 1. Pp. 21-29. Available at: <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-21-29>
25. Taramov, Yu. Kh., Tsamaeva, P. S. and Elmurzaev, A. A. (2022) 'Vliyanie sostava bituma na jekspluatatsionnye svoystva'. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki*. [Influence of bitumen composition on operational properties. *Herald of GSTOU. Technical sciences*]. V. 18. № 1 (27). Pp. 54-62.
26. Bataev, D.K. S, Goitemirov, U., Apkarov, Sh. I., and Edilsultanov, M. V. (2018) 'K voprosu razrabotki polimernyh kompozicionnyh materialov dlja nakopitel'nyh konvejerov s reglamentirovannym diapazonom frikcionnyh svoystv'. *Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'*. [On the issue of developing polymer composite materials for storage conveyors with a regulated range of friction properties. *Grozny Natural Science Bulletin*]. V. 3. № 6 (14). Pp. 76-81.
27. Zaalishvili, V. B., Melkov, D. A., Mazhiev, Kh. N. (2005) 'Chislennoe issledovanie vlijanija stroenija gruntovoj tolshhi na spektral'nyj sostav kolebanij na poverhnosti pri intensivnyh nagruzkah'. *V sbornike: Geotekhnicheskie problemy stroitel'stva na prosadochnyh gruntah v seismicheskikh rajonah. Trudy III-go Central'no-Aziatskogo geotekhnicheskogo simpoziuma*. [Numerical study of the influence of the structure of the soil stratum on the spectral composition of vibrations on the surface under intense loads. In the collection: *Geotechnical problems of construction on subsidence soils in seismic regions. Proceedings of the III Central Asian Geotechnical Symposium*]. Pp. 269-271.