

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-4-178-186

Оригинальная статья / Original Paper

Строительные растворы на вяжущих щелочной активации

М.Ш. Саламанова

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика

М.Д. Миллионщикова,

364051, Россия, г. Грозный, пр. Исаева, 100, Россия

Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской
академии наук,

364051, Россия, г. Грозный, Старопромысловское шоссе, 21, Россия

Резюме. Цель. Проблемы негативного воздействия карбонатной технологии производства портландцемента остро обсуждаются на многих научных площадках и мировое сообщество стремится создавать более экологически безопасные и менее энергоемкие вяжущие материалы. Развитие бесклинкерной технологии позволит решать многие проблемы глобального масштаба, а использование вторичного или некондиционного материала расширит сырьевую базу и уменьшит нагрузку на окружающую среду. **Метод.** Проектируя рецептуры строительных растворов необходимо учитывать соответствие требованиям, предъявляемым ко всем растворам в целом, как к штукатурным, так и к кладочным, отделочным, ремонтным и т.д. Исследование составов строительных растворов проводили стандартными методиками с использованием поверенного и сертифицированного оборудования. **Результат.** Получены марки растворов М75 – 150, с подвижностью растворной смеси P_k 1-2, сохраняемостью 33-120 минут, с высокой адгезионной прочностью 0,62- 0,71 МПа. **Вывод.** Предлагаемые составы растворов позволят выполнять штукатурные, кладочные и требующих быстрого схватывания ремонтные работы, а при правильном соблюдении предлагаемых рецептов и методики изготовления строительных растворов можно будет получать качественный и долговечный материал.

Ключевые слова: щелочные цементы, аспирационная пыль, клинкерная пыль, щелочной раствор, минеральный порошок, вулканический туф, метасиликат натрия

Для цитирования: М.Ш. Саламанова. Строительные растворы на вяжущих щелочной активации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(4): 178-186. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-178-186

Mortars on binding alkaline activation

M.Sh. Salamanova

M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University

100 Kh. Isaev Ave., Grozny, 364051, Russia,

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences,

21 Staropromyslovskoe highway, Grozny 364051, Russia

Abstract. Objective. The problems of the negative impact of the carbonate technology for the production of Portland cement are hotly discussed at many scientific sites and the world community is striving to create more environmentally friendly and less energy-intensive binders. The development of clinker-free technology will allow solving many problems of a global scale, and the use of recycled or substandard material will expand the raw material base and reduce the burden on the environment. **Method.** When designing formulations for building mortars, it is necessary to take into account the compliance with the requirements for all mortars in general, both for plastering and for masonry, fin-

ishing, repair, etc. The study of the compositions of mortars was carried out by standard methods using a verified and certified equipment. **Result.** The paper presents the results of many years of work on the development of building composites based on binders of alkaline activation. Grades of solutions M75 - 150 were obtained, with the mobility of the mortar mixture Pk 1-2, shelf life of 33-120 minutes, with high adhesive strength of 0.62- 0.71 MPa. **Conclusion.** The proposed mortar compositions will make it possible to perform plastering, masonry and repair work requiring quick setting, and with proper adherence to the proposed recipes and methods for making mortars, it will be possible to obtain high-quality and durable material.

Keywords: alkaline cements, aspiration dust, clinker dust, alkaline solution, mineral powder, volcanic tuff, sodium metasilicate

For citation: M.Sh. Salamanova. Mortars on binding alkaline activation. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48(4):178-186. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-4-178-186

Введение. На протяжении многих лет ученые исследователи стремятся создавать новые рецептуры вяжущих материалов, производство которых не будет сопряжено с широкомасштабным потреблением минерального и энергетического ресурсов, высокотемпературной обработкой, сложными технологическими процессами, выбросами в атмосферу диоксида углерода, цементной пыли, серы, диоксинов и др. Сравнительный анализ современных технологий различных представителей вяжущей категории показал, что портландцемент и его «сородичи» вне конкуренции по техническим показателям, но были времена, когда силикатный цемент был не таким популярным, и повсеместно применялись в основном щелочные цементы, в состав которых входили два компонента: тонкоизмельченные шлаки черной металлургии и щелочной затворитель. Во многих развитых странах щелочные цементы занимают определённую нишу на строительном рынке и пользуются растущим спросом. Поэтому технологические подходы для развития бесклинкерной технологии и в нашей стране позволит решать многие проблемы глобального масштаба, а использование вторичного или некондиционного материала расширит сырьевую базу и уменьшит нагрузку на окружающую среду [1-9].

С теоретической точки зрения закономерности формирования структуры и свойств цементного камня на вяжущих щелочной активации схожи с процессами, протекающими при твердении гидратационных цементов и образованиями в земной коре таких минералов, как полевые шпаты, мусковит, цеолиты типа гармотом, гейландит, шабазит, морденит, эпидесмин, анальцит, и др., зарождение которых происходило в условиях высоких давлений и влажности при низких температурах. Фазовый состав цеолитовых минералов имеет характерную нестабильность, так как изменялся в зависимости от щелочности гидротермальных растворов. Механизм протекания реакций синтеза цеолитовой фазы состоит из этапов серицитизации $R \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$ как последствия распада плагиоклаза и превращения полевых шпатов $Me \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$ в соединения типа серицит-мусковит $SiO_2 : Al_2O_3 : R_2O : H_2O$ [11-19].

Постановка задачи. Приведенные доводы позволили выстроить научную концепцию получения строительной продукции с использованием вяжущих систем щелочного затворения из минеральных добавок алюмосиликатной и силикатной природы. Основным носителем свойств в таких системах будут щелочной активатор и минеральная порошкообразная составляющая алюмосиликатной природы, благодаря которым и протекают процессы геополимеризации со встраиванием катионов щелочных и щелочноземельных металлов в алюмокремнекислородные цепочки.

Методы исследования. Для подтверждения выдвинутых гипотез проводились разработки по получению строительных растворов с использованием тщательно подобранных компонентов формовочной растворной смеси. В качестве алюмосиликатного компонента использовались достаточно реакционные порошки, извлекаемые из пылеосадительной системы вращающейся клинкерообжигательной печи, в виде аспирационной и клинкерной пыли с удельной поверхностью $S_{уд}$ 280 и 210 м²/кг соответственно.

Для создания более плотной упаковки цементного камня и уменьшения межзерновой пустотности применяли минеральный порошок, полученный 40 минутным помолотом вулканического туфа $S_{уд} 534 \text{ м}^2/\text{кг}$. Основным компонентом вяжущей связки является смешанный щелочной активатор в виде метасиликата натрия с силикатным модулем 2,8 и плотностью $1,42 \text{ г/см}^3$ и раствора едкого натрия плотностью $1,22 \text{ г/см}^3$. При моделировании составов строительных растворов особую роль выполняет заполнитель, создавая жесткий скелет цементного камня. Местный сырьевой потенциал богат разнообразием тонких и мелких песков различной природы, начиная барханными и заканчивая кварцевыми песками.

Для оценивания влияния вида, крупности и формы заполнителя исследовались тонкие барханные пески Шелковского месторождения и мелкие кварцевые пески Червленского месторождения. Основные качественные характеристики песков различных месторождений приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики мелкого заполнителя
Table 1. Main characteristics of fine aggregate

Кварцевый песок Червленского месторождения/ Quartz sand of the Chervlenskoye deposit						
Наименование показателя/ Name of indicator	Значение показателя/ Indicator value					
Размер сит, мм/ Sieve size, mm	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16
Частные остатки, %/ Private balances, %	1,5	4,5	15,4	44,6	32,2	1,8
Полные остатки, %/ Total balances, %	1,5	6,0	21,4	66,0	98,2	
Модуль крупности/ Size modulus	1,9 (мелкий/ small)					
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %/ Content of dust and clay particles, %	1,93					
Истинная плотность зерен, кг/м ³ True grain density, kg/m ³	2621					
Насыпная плотность, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	1532					
Пустотность песка, %/ Voidness of sand, %	41,4					
Барханный песок Шелковского месторождения/Dune sand of the Shelkovskoye deposit						
Размер сит, мм/ Sieve size, mm	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16
Частные остатки, %/ Private balances, %	-	3,5	2,7	3,1	31,7	59
Полные остатки, %/ Total balances, %	-	3,5	6,2	9,3	41,0	
Модуль крупности/ Size modulus	0,6 (тонкий/ thin)					
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %/ Content of dust and clay particles, %	5,4					
Истинная плотность зерен, кг/м ³ True grain density, kg/m ³	2650					
Насыпная плотность, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	1390					
Пустотность песка, %/ Voidness of sand, %	48					

Анализируя результаты зернового состава и физических свойств, можно констатировать, что кварцевые пески находятся в зоне мелких, но насыпная плотность кварцевого песка $1,53 \text{ г/см}^3$, форма зерен остроугольная и зернистая, что позволяет его считать рекомендуемым для строительства; а барханные пески относятся к разряду тонких с насыпной плотностью меньше $1,50 \text{ г/см}^3$, форма частичек окатанная и сферичная, содержание глинистых и пылевидных фракций составило 5,4%, что характеризует данный заполнитель к категории некондиционных. Проектируя рецептуры строительных растворов необходимо учитывать соответствие требова-

ниям, предъявляемым ко всем растворам в целом, как к штукатурным, так и к кладочным, отделочным, ремонтным и т.д.

Это в первую очередь, необходимая пластичность раствора, так как важно обеспечить удобоукладываемую массу для заполнения пустот и неровностей на различных поверхностях; прочность и адгезионное сцепление раствора с кирпичным или бетонным основанием, обязательные критерии, в противном случае не избежать деформаций вплоть до разрушения ограждений; сохраняемость растворной смеси для предотвращения преждевременного схватывания раствора до его использования после приготовления [16-28]. Составы и свойства разработанных строительных растворов приводятся в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Составы и свойства растворных смесей на основе вяжущих связок щелочной активации

Table 2. Compositions and properties of mortar mixtures based on binders of alkaline activation

№ состава/composition number	Состав В:3 /Composition B:3	Расход компонентов растворной смеси, кг/м ³ Consumption of mortar components							Характеристики растворной смеси Characteristics of the mortar mixture		
		Вулканический туф/ Volcanic tuff	Активный порошок Active Powder		Мелкий заполнитель Small aggregate		Щелочной раствор Alkaline solution		Плотность растворной смеси, кг/м ³ / Mortar mixture density, kg/m3	Глубина погружения конуса, см/ Immersion depth of the cone, cm	Сохраняемость, мин. Preservation, min.
			Аспирационная пыль/ Aspiration dust	Клинкерная пыль/ Clinker dust	Червленский песок/ Chervlensky sand	Барханный песок/ Dune sand	Na ₂ SiO ₃	NaOH			
1.	1:1	70	494	105	1045	-	272	68	2093	7	33
2.	1:1	71	498	105	-	1020	248	62	2044	8	35
3.	1:2	38	285	57	1360	-	248	62	2059	6	64
4.	1:2	38	290	57	-	1333	224	56	2006	7	62
5.	1:3	17	127	25	1490	-	264	66	1998	4	122
6.	1:3	17	133	25	-	1470	256	64	1974	5	120

Обсуждение результатов. Результаты исследований показали, что формовочные смеси состава 1:1 с использованием вулканического порошка и реакционноактивных порошков из аспирационной и клинкерной пыли можно считать подвижными 7 – 8 см, марка по подвижности Пк 2, отделения жидкой фазы не наблюдалось.

В растворных смесях состава 1:2 наблюдалось снижение расхода щелочного затворителя, что объясняется уменьшением доли вяжущей порошкообразной составляющей. Подвижность по погружению конуса показала 6 см на кварцевых песках Червленского месторождения и 7 см на барханных песках.

В растворных смесях состава 1:3 явно ощущался дефицит реакционноактивных порошков, раствор щелочного затворителя увеличился, плотность формовочной массы уменьшилась до 1974 кг/м³.

Таблица 3. Свойства растворов на основе вяжущих связок щелочной активации
Table 3. Properties of solutions based on binders of alkaline activation

№ состава/ composition number	Плотность раствора, кг/м ³ The density of the solution,	Водопоглощение по массе, % Water absorption by mass	Прочность на сжатие, МПа, при t = 20 ± 2 °С Compressive strength, MPa, at t = 20 ± 2 °С		Адгезионная прочность, МПа на 28 суток Adhesion strength, MPa for 28 days	
			7 сут.	28 сут.	Бетон concrete	Кирпич brick
1.	2024	3,1	9,2	14,6	0,641	0,686
2.	1975	3,5	7,5	12,3	0,632	0,670
3.	1990	2,7	8,4	14,0	0,708	0,627
4.	1938	3,0	8,0	13,4	0,698	0,619
5.	1927	7,6	2,2	9,3	0,630	0,634
6.	1902	7,8	1,6	8,2	0,625	0,629

Удобоукладываемость смеси ухудшилась, пластичность уменьшилась, подвижность по погружению эталонного конуса составила 4 – 5 см, конечно же это обусловлено невысоким расходом активной порошкообразной составляющей в составе вяжущей связки. Сохраняемость растворной массы изменялась в зависимости от многих факторов, в первую очередь, от консистенции состава, в рецептурах 1:1 этот показатель был минимальный в пределах 25 - 33 минут, конечно же, это обусловлено высоким содержанием активной составляющей. В следующих рецептурах при увеличении расхода мелкого заполнителя (1:2; 1:3) сохраняемость увеличивалась от 45 минут 1,5 часов. Вид заполнителя, его гранулометрия, минералогия влияет на сохраняемость растворной смеси, на барханном песке – 28 – 35 минут, на кварцевом 25 – 33 минут (рис. 1).

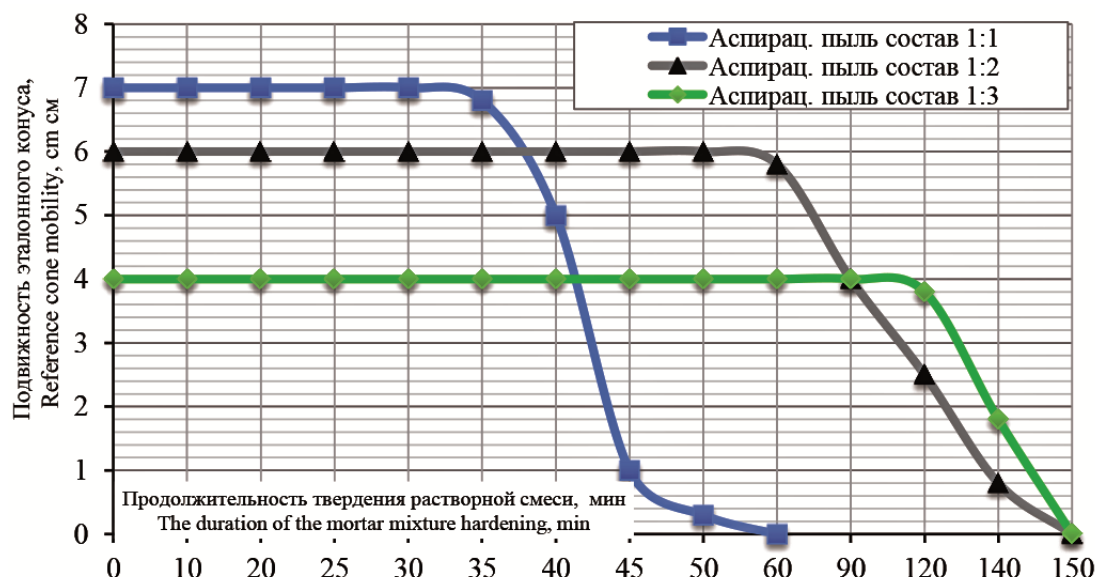


Рис. 1. Зависимость сохраняемости растворной смеси от количества и вида активного порошка

Fig. 1. Dependence of the preservation of the mortar mixture on the amount and type of active powder

Следовательно, полученные составы растворных смесей в зависимости от консистенции и технологических свойств можно использовать в различных областях строительства, составы

1:1 – для проведения срочного ремонта конструктивных элементов зданий и сооружений; 1:2 и 1:3 – в кладочных и штукатурных работах.

График зависимости сохранения первоначальной подвижности от продолжительности твердения растворной смеси показал, что составы на основе аспирационной пыли более удобоукладываемые, и жизнеспособность у них выше. Наиболее рациональным является состав 1:2 на основе вяжущей связки «аспираторная пыль – клинкерная пыль – минеральный порошок – ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$)», так как подвижность сохраняется более 60 минут и в течение часа постепенно снижается. При дальнейшем повышении доли заполнителя сохраняемость в такой же аналогии изменяется.

Еще одним достаточно важным показателем, необходимым для получения прочной и долговечной конструкции является адгезионная прочность строительного раствора к основному материалу. Методика исследования адгезии раствора проводилась согласно ГОСТ 31356-2013 - Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний.

Для определения силы отрыва образца затвердевшего раствора на основе БВЩА от основания были подготовлены стенды из бетонной плиты и кирпичной стены, для имитации более естественных эксплуатационных условий, на которые равномерно укладывали разработанные составы растворных смесей составов 1:1, 1:2 и 1:3, толщина массы оставалась постоянной и составляла 1 см. Прочность на отрыв измеряли с помощью прибора – Адгезиметр Е142, для этого на образцы строительных растворов на вяжущих щелочной активации (СРЩА) заданного размера приклеивали эпоксидным клеем металлический штамп с анкером для крепления к прибору.

Процесс проведения испытаний представлен на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Проведение испытаний на отрыв раствора от бетонного основания
Fig. 2. Conducting tests for the separation of the solution from the concrete base



Рис. 3. Проведение испытаний на отрыв раствора от кирпичной стены
Fig. 3. Conducting tests for the separation of mortar from a brick wall

По характеру отрыва СРЩА можно судить о контактной зоне «строительный раствор – основание» и в зависимости от этого предложено 3 схемы разрушения:

- 1) Схема А – отрыв по зоне контакта «раствор – основание», в этом случае адгезионная прочность в зоне соприкосновения меньше сил сцепления раствора и основания;
- 2) Схема Б – отрыв произошел по линии раствора, в этом случае адгезия в зоне контакта и основания больше прочности самого раствора;
- 3) Схема В – отрыв зафиксирован по основанию, в этом случае прочность раствора и в зоне контакта преобладает прочность основания.

Проведя визуальный осмотр образцов на вяжущих связках «активный + минеральный порошки 10% + Na_2SiO_3 + NaOH » после испытания, можно констатировать, что характер отрыва СРЦА всех исследуемых составов 1:1, 1:2 и 1:3 от бетонного основания происходит по схеме Б, но в составе 1:3 в процессе отрыва по контуру обнаружена прослойка бетонной плиты. Характер отрыва СРЦА составов 1:1, 1:2 и 1:3 от кирпичной стены происходит также по схеме Б, но в составе 1:1 в процессе отрыва местами по контуру образца вырвана некоторая доля кирпичной кладки, следовательно, на поверхностных слоях раствора, где контакт с углекислотой максимальный прочность растворной части выше, чем в теле массива.

Вывод. При изучении характера разрыва образцов СРЦА установлено, что прочность растворной части меньше прочности в контактной зоне. Анализируя результаты показателей адгезионной прочности по всем составам в целом можно отметить, что она изменяется в пределах 0,62 – 0,71 МПа. На мелком заполнителе Червленского месторождения показали адгезию 0,71 МПа с бетонной основой и 0,62 МПа с кирпичным основанием. Следует отметить, что при изучении адгезии СРЦА в зоне поверхностных слоев образцов с воздухом прочность выше, чем в самой растворной части, так как при взаимодействии щелочного раствора с углекислым газом: $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4 \downarrow + \text{Na}_2\text{CO}_3$ образуется гель кремниевой кислоты, ускоряющий процесс твердения и набора прочности материала.

Таким образом, разработаны составы строительных растворов щелочного затворения различных марок М75 – 150, подвижность растворной смеси марки Пк 1 и Пк 2, сохраняемость от 33 минут до 1,5 часа, высокой адгезионной прочности от 0,62 до 0,71 МПа. Получены составы растворов позволяют выполнять широкий спектр работ, как штукатурных, кладочных, так и требующих быстрого схватывания ремонтных. При правильном соблюдении предлагаемых рецептов и методики изготовления строительных растворов можно будет получить качественный и долговечный материал.

Библиографический список:

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.908 – 914.
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. – С. 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 бесклинкерных 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., Першина Л.А., Циак 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. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // *Alkali Activated Materials*. – 2008. – P. 523 – 525.
23. 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.
24. 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. – P. 37– 46.
25. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand // *Int. J. Chem. Sci.* – 2016. – № 14(S1). – P. 115 – 126.
26. Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р., Исмаилова З.Х. Закономерности протекания процессов формирования структуры и прочности бесклинкерного вяжущего щелочной активации //Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». – 2020. – Т.3. – №1. – С. 21-29.
27. 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.
28. 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.

References:

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: 16 – 27.
2. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Nahaev M.R. Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. *Stroitel'nye materialy* [Stroitelnye materialy]. 2020;1-2:73-77. (In Russ)
3. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin - Based Geopolymer. *Materials*. 2016; 9: 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;400-409.
5. Rakhimova, N.R. Stone strength of composite slag-alkali binders with zeolite-containing additives / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov // *Izvestiya KazGASU*. 2008; 2 (10): 131-134. (In Russ)
6. Salamanova M.Sh., Aliev S.A., Murtazaeva R.S.-A. Structure and properties of alkaline activation binders using cement dust [Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki] *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2019;. 46(2): 148-158. (In Russ)
7. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. *Privolzhsky scientific journal*. 2018; 46(2): 65–70. (In Russ)
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 бесклинкерных вяжущих щелочного затворения) 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) V. G. Shukhov Belgorod State Technological University, 23–27 September 2019, Belgorod: 2019;385-388. (In Russ)
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;163 – 173.
10. Rakhimova H.P. State and promising directions of development of research and production of composite slag-alkali binders, solutions and concretes. [Stroitel'nye materialy] *Construction Materials*. 2008; 9:77 - 80. (In Russ)
11. Hardjito, D. On the development of fly ash-based geopolymer concrete / D. Hardjito, S. Wallah, D. Sumajouw, B. Rangan. *ACJ Materials Journal*. 2004;101:467– 472.
12. Davidovitz, J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008; 592.

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: 908 – 914.
14. Rakhimova N.R. Composite slag-alkali binders with mineral additives of various types of activity / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov. *Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*. 2013; 16: 204 - 216. (In Russ)
15. Villa C., Pecina E.T., Torres R., Gomez L. Geopolymer synthesis using alkaline activation of natural zeolite. *Construction and Building Materials*. 2010; 24: 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; 216: 102 – 107.
17. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintshev 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;1:500 – 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; 1: 457 – 460.
19. Rakhimov M.M., Khabibullina N.R., Rakhimov R.Z. The mechanism of curing borate salt solutions with slag-alkali binders. *Cement and its application*. 2016; 3: 96 - 99.
20. Usharov-Marshak AV, Pershina LA, Tsiak M. Compatibility of cements with chemical and mineral additives. Part 1 *Cement and its application*. 2002; 6: 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*. 2007; 42(9): 3033 – 3043.
22. Pawlasova S., Skvara F. High-Temperature Properties of Geopolymer Materials // *Alkali Activated Materials*. 2008; 523 – 525.
23. Khater H.M. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT // *Advances in Nano Research*. 2015; 3(4):225 – 242.
24. 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; 5(1): 37– 46.
25. Nagajothi S., Elavenil S. Strength assessment of geopolymer concrete using M-sand. *Int. J. Chem. Sci*. 2016; 14(S1): 115 – 126.
26. Salamanova M.Sh., Nakhaev M.R., Ismailova Z.Kh. Regularities of the processes of formation of the structure and strength of the linker-free binder with alkaline activation. *International research journal "Building materials and products"*. 2020; 3(1): 21-29. (In Russ)
27. Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M.Sh., Ismailova Z. Kh., Ibragimov S. Kh. Wastes recycling in the construction. ETSaP-2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019;663(1):1-7.
28. 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. Ser. "27th R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP), TFOCE 2018" 2018; 04018.

Сведения об авторах:

Саламанова Мадина Шахидовна, кандидат технических наук, доцент, институт строительства, архитектуры и дизайна, кафедра технологии строительного производства, e-mail: madina_salamanova@mail.ru ORCID 0000-0002-1293-7090

Information about authors:

Madina Sh. Salamanova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Institute of Construction, Architecture and Design, Department of Construction Production Technology, e-mail: madina_salamanova@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 19.10.2021.

Одобрена после рецензирования /Reviced 20.11.2021.

Принята в печать /Accepted for publication 20.11.2021.