

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-17-25

Васильева Д.В., *Попов А.Л., Местников А.Е.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

*E-mail: omsvdv2910@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГОРНОГО ПЕСКА НА СВОЙСТВА СУЛЬФАТОСТОЙКОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Аннотация. В работе обоснована эффективность и перспективность исследований в направлении разработки активной минеральной добавки на основе горного песка Якутии для общестроительных цементов с целью повышения его сульфатостойкости. Это позволит расширить спектр применения портландцементов, работающих в условиях сульфатной агрессии. Республика Саха (Якутия) располагает множеством месторождений природных песков алюмосиликатного состава или так называемых «горных песков». Одним из крупных и разработанных карьеров горных песков в Якутии является месторождение «Кильдямское», областями применения которого на сегодня являются основания и подстилающие покрытия дорог. В работе показана возможность получения активной минеральной добавки на основе данного песка. Изучено влияние дозировки и уровня дисперсности добавки на прочностные характеристики цементов и на коэффициент сульфатостойкости. Введение активной минеральной добавки на основе песка кильдямского месторождения до 15 % взамен цемента, незначительно снижает прочность при сжатии цементного камня в диапазоне 3–7 % с сохранением марочной прочности. Введение добавки свыше 15 % снижает прочность при сжатии цемента в среднем на 20 %, марочная прочность при сжатии уже не соблюдается, при этом гидратационные процессы замедляются, и с течением времени в сульфатной среде прочность на сжатие образцов сначала растет, а затем снова падает. В результате работы предложена активная минеральная добавка на основе песка кильдямского месторождения в цемент, придающая стабильный коэффициент сульфатостойкости, равный 0,95 с сохранением марочной прочности и гидратационных процессов.

Ключевые слова: портландцемент, алюмосиликатная добавка, горный песок кильдямского месторождения, сульфатостойкость.

Введение. В условиях вечной мерзлоты строительство зданий и сооружений производится на свайных фундаментах, в некоторой степени из-за засоленности и засульфаченности почв снижается и срок эксплуатации объектов, что приводит к обязательному проведению работ по усилению несущей способности конструкций зданий. Именно на территории Республики Саха (Якутия) существует данная проблема, в частности, она осложняется еще и дороговизной, и сложностью не только доставки материалов, но и самих работ, что затрудняет обслуживание эксплуатируемых объектов. Так же это сказывается и на скорости проводимых работ. Коррозия железобетонных конструкций происходит вследствие воздействия агрессивных веществ атмосферы и частых циклов заморозки-оттаивания и суровых климатических условий Крайнего Севера. Исходя из литературных данных о коррозии цементного камня в агрессивных средах и требованиям стандартов различных стран к специальным низкоалюминатным коррозионно-стойким цементам, следует вывод, что для производства таких цементов подходит использование сырьевых материалов, содержащих небольшие количества Al_2O_3 , а при использовании активных минеральных добавок необходимо максимальное связывание клинкерных минералов.

Косвенным определением степени активности минеральной добавки будет соблюдение условия, при котором процент падения прочности цемента ниже процента объема вводимой добавки. При отсутствии материалов с низким содержанием алюминатов следует вводить в состав цементов связующие с определенным содержанием кремнезема для корректировки составов кремнеземсодержащих связующих. Итак, даже для мало алюминатных цементов, чтобы повысить их сульфатостойкость необходимо связать весь минерал C_3A , который содержится в цементе, в гидросульфоалюминат. Значит, необходимо обязательно учитывать следующие параметры цемента: тонкость помола, дозировку гипса, минеральные и органические добавки в смеси и режим твердения [1–4].

В современной науке активно развивающимся направлением являются композиционные вяжущие с применением различных минеральных добавок на основе природного сырья [5–8].

Исходя из этого нами предлагается к рассмотрению применение активной минеральной добавки на основе горных песков Якутии для общестроительных цементов с целью повышения его сульфатостойкости, что позволит расширить области применения портландцементов с заданными физико-механическими свойствами для бетонов в условиях сульфатной агрессии [9].

Проблема создания энергоэффективных строительных материалов остается актуальной всегда, и не только из-за роста цен на сырьевые материалы и энергоносители, но и из-за повышения требований по энергосбережению, предъявляемых к эксплуатируемым зданиям и сооружениям [10–12]. Для мощнейшего подъема строительства как отрасли в нашей республике требуется решение данной проблемы, в ходе которой так же будут рассмотрены перспективы освоения одной из главных сырьевых баз местного сырья – горных песков, позволяющих использовать в качестве заполнителей и активных добавок ценное минеральное сырье [13].

Республика Саха (Якутия) располагает множеством месторождений природных песков алюмосиликатного состава или так называемых «горных песков». Особенностью данных песков является полифракционный состав с широким диапазоном фракций: от обломков до пылевидных и глинистых частиц размерностью менее 0,16 мм. Такая особенность песков затрудняет их использование в качестве мелкого заполнителя [14]. Однако на сегодня уделено мало внимания возможности применения горных песков Якутии в качестве активных минеральных добавок. Одним из крупных и разработанных карьеров в Якутии является месторождение «Кильдямское», горные пески которого применяются в качестве инертного сырья в устройстве грунтовых оснований зданий, оснований и покрытий автомобильных дорог, пристроечных площадок, перронов и др.

Методика. Основные физико-механические характеристики цемента и песка определялись методами испытаний, приведенных и регламентируемых межгосударственными стандартами.

Оптимизация составов сульфатостойкого портландцемента проводилась по методу математического планирования. Исходя из принципа действия этого метода определяется девять основных составов, в которых варьируются два показателя. Так как данный модифицированный материал в своем составе содержит три компонента: портландцемент, активную минеральную добавку в виде тонкомолотого песка и суперпластификатор, в расчетах по оптимизации состава за первую переменную принимаем количество вводимой добавки, за вторую переменную – дисперсность добавки, определяемую удельной поверхностью. Результаты описывали через уравнение регрессии (1) с коэффициентом корреляции не менее 0,9.

$$f = y_0 + a \times x + b \times y + c \times x^2 + d \times y^2 \quad (1)$$

Для оценки коррозионной стойкости образцов цемента, изготовленных с активной минеральной добавкой на основе песка, определяли коэффициент сульфатостойкости.

Коэффициент сульфатостойкости (КС) представляет собой отношение предела прочности при сжатии после выдержки выбранного образца в коррозионной среде в течение определенного промежутка времени, к прочности образца после твердения в нормальных условиях в течение 28 суток. Расчет КС проводят по формуле:

$$КС_n = \frac{R_n}{R_{28}} \quad (2)$$

где $КС_n$ – коэффициент сульфатостойкости на n -ые сутки;

R_n – прочность на сжатие образца, выдержанного в коррозионной среде n суток, МПа;

R_{28} – прочность на сжатие образца после твердения в течение 28 суток в нормальных условиях, МПа.

Исследуемый цемент следует рассматривать как сульфатостойкий, если изготовленные образцы имеют $КС \geq 0,8$.

Основная часть. В работе использовались портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Н производства ОАО «Якутцемент» (таблица 1), пластифицирующая добавка Полипласт СП-1 производства ООО «ПолипластХИМ», горный песок месторождения «Кильдямское» (карьер в 35 км от Якутска).

Исходным материалом для образования горелых пород служат так называемые пустые шахтные породы или межугольные сланцы, сопровождающие угольные напластования. Минералогический состав этих пород характеризуется присутствием сланцевых аргиллитов, алевролитов и песчаников, смешанных в различных соотношениях. В том случае, если горение (или самообжиг) межугольных сланцев происходило в недрах земли, иногда под большим давлением толщи вышележащих слоев, горелые породы носят название природных или естественных горелых пород.

Кильдямское месторождение разбито на два участка.

Первый участок расположен на пяти сопках. Крутизна склонов колеблется от 10 до 45°. Высота сопки – от 40 до 50 метров. К склонам сопки приурочены выходы и обнажения горелых пород.

Второй участок, находящийся в одном километре от первого, также расположен на склонах сопки. Высота сопки достигает 50–60 метров. Крутизна склонов колеблется в пределах от 15 до 45°.

Различия структуры и состава первоначальных пород и разная степень обжига обуславливают наличие на месторождении целого ряда разновидностей горелых пород.

При разбивке на четыре разновидности было установлено следующее:

Проба №1. Оранжевая и светло-красная слабо обожженная горелая порода, напоминающая собой недожженный кирпич. Объемный вес отдельных образцов этой пробы колеблется в пределах от 1,66 г/см³ до 1,78 г/см³. В общей пробе эта разновидность содержится в количестве 10–15 %.

Проба №2. Темно-красная и буро-красная нормально обожженная порода, напоминающая собой хорошо обожженный кирпич. Объемный вес отдельных образцов этой пробы колеблется в пределах от 1,67 г/см³ до 1,80 г/см³. В общей пробе эта разновидность содержится в количестве 20–25 %.

Проба №3. Темно-красная и буро-красная с темно-серыми и черными разностями сильно обожженная порода. Объемный вес отдельных образцов этой пробы колеблется в пределах от 1,42 г/см³ до 1,53 г/см³. В общей пробе эта разновидность составляет основную массу, и ее содержание доходит до 50–60 %.

Проба №4. Пестрая обожженная до вспучивания шлакообразная порода. В пестрой раскраске породы преобладают цвета: черный, серый и кремово-желтый. Объемный вес отдельных образцов колеблется в пределах от 0,93 г/см³ до 1,30 г/см³. Содержание этой разности в общей пробе определяется в 15–20 %. В таблице 1 приведен химический состав всех проб месторождения. На рисунке 1 приведен внешний вид пробы 1, используемой в данной работе.

Далее в таблице 2 приведены свойства используемого в данной работе вяжущего вещества производства ОАО «Якутцемент».

Таблица 1

Химический состав горелых пород Кильдямского месторождения

Наименование проб	Содержание, %							
	Si ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	П.п.п.	Щелочи
Проба №1.	64,89	20,03	5,02	1,57	1,43	0,45	1,23	5,41
Проба №2.	65,74	19,42	7,97	0,96	1,64	0,34	1,16	2,77
Проба №3.	63,23	20,19	7,58	1,45	1,57	0,56	1,25	4,17



Рис. 1. Внешний вид песка Кильдямского месторождения

Таблица 2

Свойства портландцемента марки ЦЕМ I 32,5Н

Показатель	Значение
Нормальная плотность, %	25
Остаток на сите 008, %	7,0
Равномерность изменения объема, мм	0,11
Сроки схватывания:	
– начало, час:мин	2:35
– окончание, час:мин	3:55
Средняя активность цемента в возрасте 28 сут., МПа	40,95

Проведены основные испытания для определения физико-механических характеристик природного песка. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Исходя из полученных характеристик песок месторождения «Кильдямское» при зерновом со-

ставе и модуле крупности характерном для песков средней размерности, отличается высоким содержанием зерен менее 0,16 мм пылевидных и глинистых включений, что относит его к мелким пескам.

Таблица 3

Физико-механические характеристики природного песка

Месторождение	Кильдямское
Зерновой состав(полные остатки на ситах, в %)	
0,16	98,1
0,315	93,6
0,63	65,8
1,25	26,6
2,5	4,7
5	0
Модуль крупности, M_k	2,4
Содержание зерен размером менее 0,16 мм	4,1
Насыпная плотность, кг/м ³	1442,0
Истинная плотность, кг/м ³	2130,0
Содержание пылевидных и глинистых включений	15,3

При разработке активной минеральной добавки на основе песка Кильдямского месторождения в работе за параметры оптимизации были приняты: количество активной минеральной добавки в виде песка Кильдямского месторождения, % взамен цемента и ее дисперсность, определяемая величиной удельной поверхности, м²/кг [15]. Дозировку активной минеральной до-

бавки было решено брать не более 30 %, как регламентирует межгосударственный стандарт на цементы. Дисперсность добавки решено было варьировать в диапазоне удельной поверхности 300–500 м²/кг, так как при дальнейшем помоле происходит торможение роста удельной поверхности, что является не выгодным с точки зрения энергетических затрат (рис. 2).

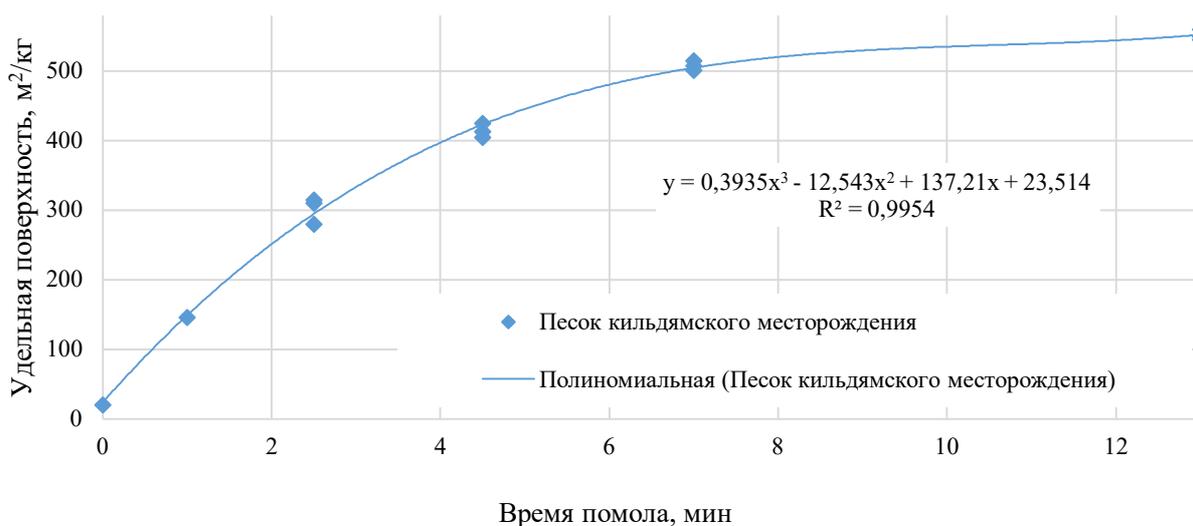


Рис. 2. Кинетика размолоспособности песка Кильдямского месторождения

Дозировка пластификатора принята за 1,5 % от массы цемента, которая определена достиже-

нием предельного значения распыла цементного теста при пошаговом увеличении концентрации пластификатора (рисунок 3) [16].

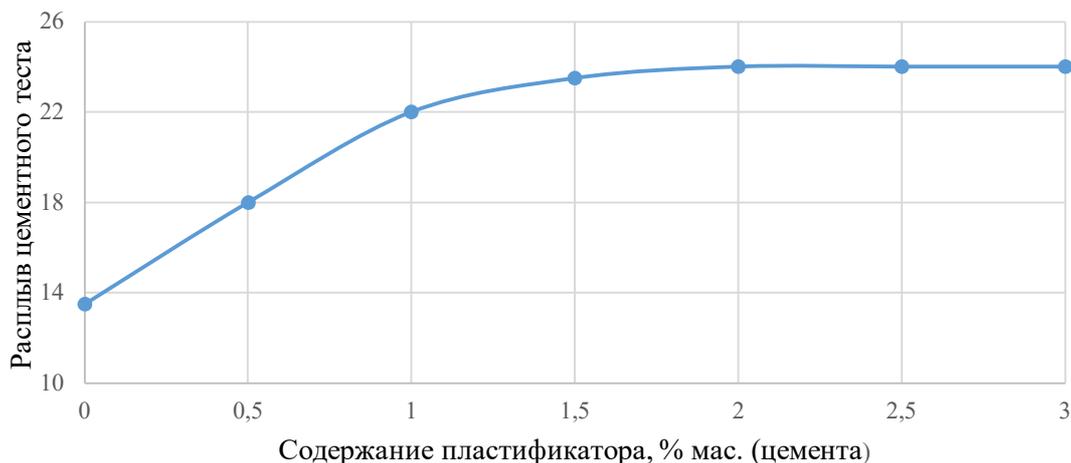


Рис. 3. Зависимость расплыва цементного теста от дозировки пластификатора

На основе выбранных варьируемых факторов (табл. 4) составлен план полнофакторного эксперимента (табл. 5). Согласно матрице планирования, были составлены соответствующие со-

ставы, получены образцы и испытаны их основные физико-механические характеристики (табл. 6). При этом данные были получены для образцов в возрасте 28 и 56 суток.

Таблица 4

Условия планирования эксперимента для разработки составов сульфатостойкого цемента

Факторы		Варьирование факторов			Интервалы варьирования
Вид (натуральный)	Вид (кодированный)	-1	0	+1	
Содержание добавки, %	X	0	15	30	15
Удельная поверхность, м ² /кг	Y	300	400	500	100

Таблица 5

Матрица планирования

№ точки плана	Факторы			
	X	Y	Содержание добавки, %	Удельная поверхность, м ² /кг
1	-1	-1	0	300
2	0	-1	15	300
3	+1	-1	30	300
4	-1	0	0	400
5	0	0	15	400
6	+1	0	30	400
7	-1	+1	0	500
8	0	+1	15	500
9	+1	+1	30	500

Таблица 6

Основные физико-механические характеристики сульфатостойкого цемента

№ точки плана	Сроки схватывания		Нормальная густота	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент сульфатостойкости в 28-суточном возрасте	Коэффициент сульфатостойкости в 56-суточном возрасте
	Начало	Конец				
1	170	290	26,37	33,23	0,83	0,79
2	190	280	24,50	33,21	0,95	0,85
3	170	320	22,25	28,51	1,02	0,90
4	170	290	26,37	33,23	0,83	0,79
5	210	300	25,00	32,52	0,95	0,94
6	210	320	22,75	28,68	1,04	0,96
7	170	290	26,37	33,23	0,83	0,79
8	220	310	25,50	32,43	0,98	0,91
9	230	320	23,00	30,36	1,10	0,94

Результаты испытаний для цемента с активной минеральной добавкой на основе песка кильдямского месторождения представлены в виде уравнений регрессии:

$$f = 0.9772 + 0.0096 \times x - 0.0010 \times y - 0.0000066667 \times x^2 + 0.0000015 \times y^2$$

Коэффициент сульфатостойкости в возрасте 28 суток:

Коэффициент сульфатостойкости в возрасте 56 суток:

$$f = 0.1506 + 0.0107 \times x - 0.0031 \times y - 0.0002 \times x^2 - 0.0000036667 \times y^2$$

На основе уравнений регрессии построены графические зависимости влияния варьируемых факторов на коэффициент сульфатостойкости цемента (рисунок 4).

Анализ уравнений регрессии и построенных поверхностей отклика показал, что максимальное значение коэффициента сульфатостойкости достигается при содержании добавки 30 % и ее удельной поверхности 500 м²/кг в цементном камне – в возрасте 28 суток и при содержании добавки 15 % и удельной поверхности 400 м²/кг в цементном камне – в возрасте 56 суток.

При этом цементный камень после 28 суток в сульфатной среде не подвергается коррозии

при введении добавки более 15 %, а напротив обладает повышенной прочностью при сжатии, что приводит к значению коэффициента сульфатостойкости более единицы. Данный факт наиболее вероятно связан с пуццолановым взаимодействием минеральных компонентов песка и портландцемента.

При достижении 56 суток нахождения цементного камня в сульфатной среде активно набранная прочность при сжатии с содержанием добавки 30 % снижается до уровня прочности цементного камня с содержанием добавки 15 %. При этом также вклад удельной поверхности добавки в сульфатостойкость цемента снижается.

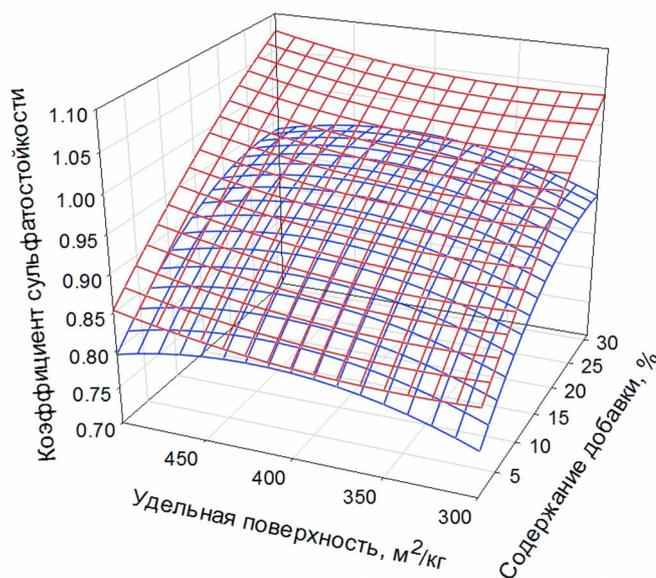


Рис. 4. Зависимости коэффициента сульфатостойкости цемента от дисперсности и содержания активной добавки кильдямского песка: красная поверхность – после 28 суток в сульфатной среде, синяя поверхность – после 56 суток в сульфатной среде

Выводы. Таким образом, разработан состав цемента, обладающий стабильным коэффициентом сульфатостойкости 0,95. Введение активной минеральной добавки на основе песка Кильдямского месторождения до 15% незначительно снижает прочность на сжатие цементного камня в диапазоне 3–7% с сохранением марочной прочности, при этом коэффициент сульфатостойкости после выдержки в сульфатной среде 56 суток снижается менее чем на 5 % по сравнению со значением в возрасте 28 суток. Введение добавки свыше 15 % снижает прочность при сжатии цемента в среднем на 20 %, марочная прочность

при сжатии уже не соблюдается. Коэффициент сульфатостойкости цементного камня с добавкой более 15 % после выдержки в сульфатной среде 28 суток имеет значение выше единицы, что говорит о том, что цемент изначально не набрал 100 % прочность при сжатии и в сульфатной среде продолжались гидратационные процессы. После выдержки образцов в сульфатной среде 56 суток коэффициент сульфатостойкости снижается более чем на 10 % и стремится к значениям равным при дозировке добавки до 15 %.

Исходя из этого наилучшей дозировкой активной минеральной добавки является 15 % взамен цемента с величиной удельной поверхности 400 м²/кг. При данных значениях достигается стабильный коэффициент сульфатостойкости, сохраняется скорость гидратационных процессов и марочная прочность при сжатии цемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толыпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М. В., Щигорев Д.С. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей второго типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №. 2. С. 27–32. doi: 10.12737/article_5c73fbf6df9f53.10093605.
2. Толыпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М.В., Щигорев Д.С. Сульфатостойкость бетона на основе химически активного заполнителя из нефелинсодержащих пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №. 10. С. 21–26. doi: 10.12737/article_59cd0c585e1768.86979091.
3. Бердов Г.И., Камха М.А., Парубов А.Г., Себелев И.М. Влияние ультразвуковой активации воды на гидратацию и твердение цемента и трехкальциевого алюмината // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1991. №. 8. С. 53–56.
4. Фролов Н.В. Экспериментальные исследования кинетики развития коррозионных повреждений бетона в изгибаемых железобетонных элементах при силовых и средовых воздействиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №. 2. С. 34–43. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-2-34-43>.
5. Borges Marinho A.L., Mol Santos C.M., Franco de Carvalho J.M., Mendes J.C. Ladle furnace slag as binder for cement-based composites // Journal of Materials in Civil Engineering. American Society of Civil Engineers. 2017. №. 11(29). 04017207.
6. Федюк Р.С., Лесовик В.С., Лисейцев Ю.Л., Тимохин Р.А., Битуев А.В., Заяханов М.Е., Мочалов А.В. Композиционные вяжущие для бетонов повышенной ударной стойкости // Инженерно-строительный журнал. 2019. №. 1(85). С. 28–38. doi:10.18720/MSE.85.3
7. Han F., Zhang H., Pu Sh., Zhang Z. Hydration kinetics of composite binder containing slag at different temperatures // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2015. №. 2(121). С. 815–827.
8. Banevičienė V., Malaiškienė J., Zach J., Dvorak K. Composite binder containing industrial by-products (Fcccw and psw) and nano SiO₂ // Materials. 2021. № 7(14). 1604
9. Vasileva D., Protodiakonov E., Egorova A., Antsupova S. Modifying admixtures to cement compositions produced from local raw materials // MATEC Web of Conferences. 2018. №. 143. 02006.
10. Alfimova N.I., Gridchin A.M., Glagolev E.S., Lesovik R.V., Levchenko O.V., Pirieva S.I. Effective composite binders // Advances in Engineering Research. Atlantis Press. 2017. Vol. 133. Pp. 42–47.
11. Omrany H., Ghaffarianhoseini A., Ghaffarianhoseini A., Raahemifar K., Tookey J. Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. №. 62. С. 1252–1269.
12. Wu Y., Wang J.-Y., Monteiro P.J.M., Zhang M.-H. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings // Construction and Building Materials. 2015. №. 87. Pp. 100–112.
13. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2018. №.4(327). 042033.
14. Vasileva D.V., Fyodorov V.I., Mestnikov A.E. Physical and mechanical properties of granulated foam glass – Foam zeolite and light concrete based on it // AIP Conference Proceedings. 2018. № 1(2015). 020109.
15. Каймонов В.В., Егорова А.Д., Попова М.Н., Докунаева А.А., Васильева Д.В. Повышение сульфатостойкости бетонов на основе портландцемента в условиях Якутии // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №. 8. С. 40–41.
16. Местников А.Е., Семенов С.С., Васильева Д.В. Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов Якутии в технологии строительных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. №. 12-1. С. 80–84.

Информация об авторах:

Васильева Дарья Вячеславовна, старший преподаватель кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». E-mail: omsvdv2910@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

Попов Александр Леонидович, доцент кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». E-mail: surrukin@gmail.com. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

Местников Алексей Егорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». E-mail: mestnikova@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

Поступила 23.03.2022 г.

© Васильева Д.В., Попов А.Л., Местников А.Е., 2022

*Vasileva D.V., *Popov A.L., Mestnikov A.E.*

North-Eastern Federal University

**E-mail: omsv2910@mail.ru*

INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF AN ALUMOSILICATE ADDITIVE BASED ON MOUNTAIN SAND ON THE PROPERTIES OF SULFATE-RESISTANT PORTLAND CEMENT

Abstract. The paper substantiates the effectiveness and prospects of research in the direction of developing an active mineral additive based on mountain sand of Yakutia for general construction cements in order to increase its sulfate resistance. This will expand the range of application of Portland cements operating in conditions of sulfate aggression. The Republic of Sakha (Yakutia) has many deposits of natural sands of aluminosilicate composition or the so-called "mountain sands". One of the large and developed quarries of mountain sands in Yakutia is the Kildyamskoye deposit. Today it is used for foundations and underlying road surfaces. The paper shows the possibility of obtaining an active mineral additive based on this sand. The influence of the dosage and dispersion level of the additive on the strength characteristics of cements and on the coefficient of sulfate resistance is studied in the range of $5\pm 2\%$ while maintaining brand strength. The introduction of an additive of more than 15% reduces the strength of cement by an average of 20%, the grade strength is no longer observed, while hydration processes slow down and over time in a sulfate environment, the strength of the samples first increases and then falls again. As a result of the work, an active mineral additive based on the sand of the Kildyamskoye deposit in cement is proposed. This gives a stable sulfate resistance coefficient equal to 0.95 while maintaining brand strength and hydration processes.

Keywords: Portland cement, aluminosilicate additive, mountain sand of the Kildyam deposit, sulfate resistance.

REFERENCES

1. Tolypina N.M., Shigoreva E.M., Golovin M.V., Shigorev D.S. Increase of concrete inoxidizability by application of active fillers of the second type [Povysheniye korrozionnoystoykosti betonov putem primeneniya aktivnykh zapolniteley vtorogo tipa]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2019. Vol. 4. No. 2. Pp. 27–32. doi: 10.12737/article_5c73fbf6df9f53.10093605.
2. Tolypina N.M., Shigoreva E.M., Golovin M.V., Shigorev D.S. Sulphate resistance of concrete made from reactive filler based on nepheline bearing rocks [Sul'fatostoykost' betona na osnove khimicheskiiaktivnogo zapolnitelya iz nefelinsoderzhashchikh porod]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. Vol. 2. No. 10. Pp. 21–26. doi: 10.12737/article_59cd0c585e1768.86979091.
3. Berdov G.I., Kamkha M.A., Parubov A.G., Sebelev I.M. Influence of ultrasonic activation of water on hydration and hardening of cement and tricalcium aluminate [Vliyaniye ul'trazvukovoy aktivatsii vody na gidratatsiyu i tverdeniye tsementa i trekhkal'tsiyevogo alyuminata]. Izvestia of higher educational institutions. Construction and architecture. 1991. No. 8. Pp. 53–56.
4. Frolov N. Experimental studies of the kinetics of the developmental corrosive damages of concrete in bent reinforced concrete elements under force and environmental effects [Eksperimental'nyye issledovaniya kinetiki razvitiya korrozionnykh povrezhdeniy betona v izgibayemykh zhelezobetonnykh elementakh pri silovykh i srednikh vozdeystviyakh]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 34–43. doi: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-34-43.
5. Borges Marinho A.L., Mol Santos C.M., Franco de Carvalho J.M., Mendes J.C. Ladle furnace slag as binder for cement-based composites. Journal of Materials in Civil Engineering. American Society of Civil Engineers. 2017. Vol. 29. No. 11. 04017207.
6. Fediuk R.S., Lesovik V.S., Liseitsev Yu.L., Timokhin R.A., Bituyev A.V., Zaiakhanov M.Ye., Mochalov A.V. Composite binders for concretes with improved shock resistance [Kompozitsionnyye vyazhushchiye dlya betonov povyshennoy udarnoy stoykosti]. Magazine of Civil Engineering. St-Petersburg State Polytechnical University. 2019. Vol. 85. No. 1. Pp. 28–38. DOI: 10.18720/MCE.85.3
7. Han F., Zhang H., Pu Sh., Zhang Z. Hydration kinetics of composite binder containing slag at different temperatures. Journal of Thermal Analysis

and Calorimetry. 2015. Vol. 121. No. 2. Pp. 815–827.

8. Banevičienė V., Malaiškienė J., Zach J., Dvorak K. Composite binder containing industrial by-products (Fccw and psw) and nano SiO₂. Materials. 2021. Vol. 14. No. 7. 1604

9. Vasileva D., Protodiakonov E., Egorova A., Antsupova S. Modifying admixtures to cement compositions produced from local raw materials. MATEC Web of Conferences. 2018. No. 143. 02006.

10. Alfimova N.I., Gridchin A.M., Glagolev E.S., Lesovik R.V., Levchenko O.V., Pirieva S.I. Effective composite binders. Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. Pp. 42–47.

11. Omrany H., Ghaffarianhoseini A., Ghaffarianhoseini A., Raahemifar K., Tookey J. Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. No. 62. Pp. 1252–1269.

12. Wu Y., Wang J.-Y., Monteiro P.J.M., Zhang M.-H. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings. Construction and Building Materials. 2015. No. 87. Pp. 100–112.

13. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. No. 4. 042033.

14. Vasileva D.V., Fyodorov V.I., Mestnikov A.E. Physical and mechanical properties of granulated foam glass – Foam zeolite and light concrete based on it. AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2015. No. 1. P. 020109.

15. Kaimonov V.V., Egorova A.D., Popova M.N., Dokunaeva A.A., Vasilyeva D.V. Improving the sulfate resistance of concretes based on Portland cement in the conditions of Yakutia [Povyshenie sul'fatostojkosti betonov na osnove portlandcementsa v usloviyah Yakutii]. Industrial and civil engineering, 2013. No. 8. Pp. 40–41.

16. Mestnikov A.E., Semenov S.S., Vasilyeva D.V. Rational use of mineral resources of Yakutia in the technology of building materials [Racional'noe ispol'zovanie mineral'no-syr'evyh resursov Yakutii v tekhnologii stroitel'nyh materialov]. Fundamental research. 2017. No. 12-1. Pp. 80–84.

Information about the author

Vasileva, Daria V. Senior lecturer. E-mail: omsvdv2910@mail.ru. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Popov, Aleksandr L. PhD. E-mail: surrukin@gmail.com. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Mestnikov, Alexey E. DSc, Professor. E-mail: mestnikovae@mail.ru. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Received 23.03.2022

Для цитирования:

Васильева Д.В., Попов А.Л., Местников А.Е. Влияние параметров алюмосиликатной добавки на основе горного песка на свойства сульфатостойкого портландцемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 9. С. 17–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-17-25

For citation:

Vasileva D.V., Popov A.L., Mestnikov A.E. Influence of the parameters of an aluminosilicate additive based on mountain sand on the properties of sulfate-resistant portland cement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 9. Pp. 17–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-17-25