

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-17

Ларсен О.А., Александрова О.В., Наруть В.В., Полозов А.А., Бахрах А.М.Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет***E-mail: larsen.oksana@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Совершенствование технологии строительного производства способствует повышению качества строительства гидротехнических сооружений и их надежности. В последние десятилетия не только в нашей стране, но и в мировой практике, широкое распространение при возведении плотин получили укатанные бетоны. Технология применения укатанного бетона в гидротехническом строительстве имеет ряд преимуществ: способствует снижению трудозатрат и стоимости, позволяет полностью механизировать процесс бетонирования при использовании высокопроизводительной техники, и, тем самым, способствует повышению темпов строительства массивных сооружений. Использование минеральных наполнителей в укатанном бетоне обеспечит снижение тепловыделения, будет способствовать пониженному адиабатическому подъему температуры бетона, улучшению его эксплуатационных характеристик и повышению долговечности. Приведена методика определения пуццолановой активности вулканического шлака, пылевидной фракции отсева дробления базальта, золы-уноса и вулканического туфа по степени поглощения извести из водного раствора с одновременным измерением объема осадка в нем. По результатам проведенных исследований установлено, что вулканический шлак и пылевидная фракция отсева дробления базальта являются добавками с наименьшей величиной объема осадка в возрасте 30 сут и высокими пуццолановыми свойствами. Поэтому они могут быть приняты в качестве исходных минеральных наполнителей с пуццолановыми свойствами для получения укатанного бетона, обладающего значительными экономическими и экологическими преимуществами.

Ключевые слова: укатанный бетон, пуццолановая активность, активные минеральные добавки, гидротехнический бетон, вулканический шлак, пылевидная фракция отсева дробления.

Введение. Повышение долговечности бетонов гидротехнических сооружений в районах с сухим жарким климатом, характеризующимся большими перепадами температур и относительной влажностью, а также сильным циклическим нагревом в течение суток открытых поверхностей сооружений, является актуальной задачей. Такие сложные климатические условия создают значительные трудности в процессе приготовления, при транспортировке, укладке и уходе за монолитным бетоном и отрицательно влияют на физико-механические свойства и долговечность затвердевшего бетона [1].

В последние годы при строительстве гравитационных плотин, подпорных стен, отдельных устоев и др. получили применение укатанные бетоны, получаемые из особо жестких бетонных смесей. Плотностроение из укатанного бетона становится все более широко распространенным во всем мире, при этом плотина из укатанного бетона может быть построена с меньшими капиталовложениями и за меньшее время по сравнению с любыми другими типами плотин [2, 3].

Особо жесткие смеси укатанного бетона не поддаются уплотнению глубинными вибраторами,

уплотняются укаткой вибрационными катками, тяжелыми автомашинами, пневмокотками, отличаются пониженным расходом цемента и повышенным содержанием пуццолановых добавок [4], имеют высокую начальную прочность, необходимую для обеспечения перемещения техники в момент их уплотнения [5]. Бетонные смеси из укатанного бетона характеризуются сыпучей консистенцией из-за низкого содержания вяжущего, что обуславливает их склонность к потере связности и однородности при перегрузках, подаче в блоки и распределении, укладываются слоями толщиной 0,25–0,75 м с условием перемещения по ним тяжелых машин [6].

Использование пуццолановых портландцементов в гидротехнических сооружениях, особенно в условиях сухого жаркого климата, обладающих повышенной водопотребностью, возрастающей при повышении температуры бетонной смеси, будет способствовать увеличению усадки бетона и его трещинообразованию [7]. В то же время использование минеральных наполнителей в укатанном бетоне обеспечит снижение тепловыделения, будет способствовать понижен-

ному адиабатическому подъему температуры бетона, улучшению его эксплуатационных характеристик и повышению долговечности [8, 9].

Решением задачи повышения эксплуатационных свойств гидротехнических сооружений с использованием эффективных бетонов в условиях сухого жаркого климата является оптимизация состава бетона, использование комплексных добавок и технологии его приготовления. Улучшение характеристик малоцементных бетонов гидротехнических сооружений может достигаться за счет введения комплексных добавок на основе поверхностно-активных веществ, приводящих к устранению отрицательного воздействия климатических условий путем модификации структуры цементного камня и бетона, повышению технологичности жестких малоцементных бетонных смесей, увеличению коррозионной стойкости и плотности, снижению общей пористости, увеличению физико-механических и эксплуатационных свойств гидротехнических бетонов.

Получение особо жестких малоцементных бетонов для гидротехнических сооружений с высокой первоначальной прочностью, повышенной водонепроницаемостью трещиностойкостью и морозостойкостью, пониженной усадкой, низким тепловыделением возможно путем использования высокоэффективных пластификаторов, активных минеральных добавок природного и искусственного происхождения, подвергнутых механохимической активации с целью получения микронаполнителя. Микронаполнитель, подвергнутый механохимической активации, будет способствовать улучшению микроструктуры цементного камня вследствие водоредуцирования цементной системы, формирования плотной упаковки частиц полидисперсного композиционного вяжущего и гидратационного взаимодействия портландцемента с микронаполнителем [10, 11].

Для повышения коррозионной стойкости, снижения теплоты гидратации и стоимости строительства гидротехнических сооружений, улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик получаемого бетона широко применяются активные минеральные добавки природного и искусственного происхождения. Их роль заключается в связывании гидроксида кальция, имеющегося в составе известковых смешанных вяжущих или выделяющегося при гидролизе минералов портландцементного клинкера. Взаимодействие между $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и добавкой выражается в растворении компонентов в жидкой фазе, химической реакции в растворе и выделении труднорастворимых продуктов реакций. Такие реакции наблюдаются при твердении из-

вестково-пуццолановых, пуццоланового портландцемента и сульфатостойкого пуццоланового портландцемента [12, 13].

Оптимальное содержание пуццолановой добавки в укатанном бетоне, в данном случае, будет зависеть не только от ее пуццолановой активности, но и от других свойств. Одним из методов оценки пуццолановых свойств добавок является определение их активности по поглощению извести из водного раствора с одновременным изменением интенсивности увеличения объема добавки в нем [14, 15]. Этот показатель является очень важным и зависит от характера глинистых примесей в добавке [16]. Пригодными могут быть признаны добавки, набухание которых не превышает 28 см^3 . Практически доказано, что недопустимо большим набуханием характеризуются опоки и трепелы со значительной (свыше 10–15 %) примесью минералов группы монтмориллонита.

Пуццолановая активность характеризуется количеством поглощенного CaO на 1 г добавки. Причем, чем больше минеральная добавка поглощает CaO из раствора, тем более активной она будет считаться. При одинаковом поглощении извести различными добавками за данный промежуток времени более активной считается такая добавка, для которой наиболее интенсивное поглощение происходит в начале испытания. Если добавка предназначена для смешивания с портландцементом, то рекомендуется также испытывать ее в смеси с портландцементом обычным или ускоренным методом. Активность минеральных добавок, определенная по методу поглощения извести, колеблется в следующих пределах (в мг CaO на 1 г добавки): активные кремнеземистые отходы – 275 – 400; трепел и диатомит – 250–400; вулканический трасс – 80–150; вулканический пепел, пемза и туф – 40–80. При этом объем образующихся в цилиндре осадков повышается. Величина набухания колеблется в следующих пределах для различных добавок (в мл): активные кремнеземистые отходы – 40–45; трепел и диатомит – 20–40; вулканический трасс – 30–40; вулканический пепел, пемза и туф – 10–30 [14, 17]. Соответственно, использование менее активных минеральных добавок повышает их содержание в составе вяжущего. В зависимости от минимального показателя активности добавок для изготовления гидротехнического бетона их можно классифицировать на высокоактивные, среднеактивные и низкоактивные.

Тонкомолотый кварцевый песок к активным минеральным добавкам не относится, является инертным по отношению к продуктам гидратации цемента и выполняет роль микронаполни-

теля. Введение тонкомолотого кварцевого наполнителя в состав бетонов, твердеющих в автоклавных условиях, способствует значительному повышению их прочности. Инертными добавками могут служить карбонатные породы, а также минеральные добавки, входящие в номенклатуру активных добавок, но не удовлетворяющие требованиям гидравлической активности [16].

Зола-унос, как побочный продукт сжигания угля, широко применяется в гидротехническом строительстве. Пуццолановая активность будет зависеть от ее структуры, химического и минералогического состава, содержания кальция, удельной поверхности и потерь при прокаливании. Многие исследователи отмечают, что пуццолановая активность золы-уноса прямо пропорциональна ее дисперсности [18].

При строительстве плотин из укатанного бетона в последние десятилетия широкое применение получила кислая зола-уноса, используемая в 70 % случаях при их возведении [19] и являющаяся важным компонентом, определяющим технологические свойства бетонных смесей укатанного бетона. Имеется опыт применения укатанных бетонов, содержащих в своем составе сочетание пуццолановых добавок на основе шлаков и высококальциевых зол-уноса и полным отсутствием портландцементного вяжущего [20].

Вулканический шлак и вулканический туф, как представители пуццолановых добавок природного происхождения, встречаются во многих странах с высокой вулканической активностью, таких как Россия, Армения, Иран, Китай, Сирия, Турция, Греция, Алжир, Иордания, Саудовская Аравия, Южная Америка. Исследования показали, что пуццолановая активность вулканического шлака и вулканического туфа связана с содержанием в них алюмосиликатных составляющих [21, 22]. К вулканическим шлакам относятся термоокрашенные пористые породы благодаря высокому содержанию железа, макроскопически напоминающие технические шлаки [23].

В конце прошлого века на Камчатке были выявлены огромные по масштабам месторождения вулканических пород, которые могут обеспечить высококачественным строительным материалом не только этот регион, но и другие районы нашей страны. Ранее проводились исследования по изучению физико-механических свойств вулканических пород этого региона и бетонов на их основе. В настоящее время наблюдается резкое увеличение интереса к месторождениям вулканического шлака как сравнительно малоэнергоёмкому строительному материалу с высокими теплозащитными свойствами [23].

Производство щебня из изверженных горных пород неизбежно связано с образованием отсеков дробления в количестве 20–30 % и зависит от структурных особенностей породы и технологии ее переработки [24]. При получении базальтового щебня образуется отсев дробления с повышенным содержанием пылевидной фракции с размером частиц менее 0,16 мм, достигающий 25 % от общего объема отсева. Годовой объем использования отсеков дробления, представляющий собой отход производства, составляет всего 2–4 % от объема производства заполнителей. Такие отходы, количество которых постоянно увеличивается, подвергаются хранению на специальных складах, вывозятся в отвалы и карьеры, уменьшая, в свою очередь, полезную площадь складов и оказывая негативное воздействие на окружающую среду.

Технология производства смешанных вяжущих различного назначения включает операции дробления, сушки и помола наполнителей, которые являются энергозатратными и связаны с неизбежным пылевыделением. Поэтому применение пылевидной фракции из отсеков дробления базальта с размером частиц менее 0,16 мм будет являться перспективным направлением утилизации отходов и их дальнейшего использования. Анализ работ по использованию пылевидной фракции базальта показал положительное влияние на физико-механические свойства бетона, а также его долговечность [25]. По мнению авторов [26], такие наполнители на основе пылевидных фракций базальта обладают пуццолановой активностью, что связано с присутствием аморфной разновидности диоксида кремния на поверхности минералов группы пироксенов, породообразующих для базальтов.

Следует отметить, что данных о применении активных минеральных добавок в виде вулканического шлака и пылевидной фракции из отсеков дробления базальта с размером частиц менее 0,16 мм в составе укатанных бетонов нет. В связи с этим является перспективным провести исследования по оценке их пуццолановых свойств, оценить степень пригодности для дальнейшего использования в составе укатанного бетона.

Материалы и методы. В работе применялись следующие материалы.

1. Для приготовления известкового раствора применялась негашеная известь молотая 2 сорта производства АО «Эльдако» с основными свойствами, представленными в табл. 1.

2. Вулканический шлак Камчатского края, и Бдераканский вулканический туф из Армении и пылевидная фракция отсева дробления базальта, представляющие породы вулканического происхождения.

3. Зола-унос Черепетской ГРЭС с химическим составом, представленным в таблице 2. Данные показывают, что содержание извести

находится в пределах 2,91 %, что позволяет рассматривать данную золу-уноса как кислую.

Таблица 1

Характеристики негашеной извести строительной

Показатели	Значение
Содержание CaO + MgO	80,44 %
Содержание MgO	2,34 %
Время гашения	3 минуты
Содержание CO ₂	4 %
Гидратированная вода	15 %
Температура гашения	90 °С
Распространение O ₂	1,5 %
Остаток на сите №008	15 %

Таблица 2

Химический состав золы-уноса

Показатели	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	Влажность
Сод. в %	1,1	61,59	21,00	6,29	1,81	2,91	0,22	1,06	0,63	1,45	1,59	0,1

Пущолоановая активность минеральных добавок оценивалась по поглощению извести из водного раствора. В соответствии с ранее действующим ГОСТ 6269-63 были приготовлены два титрованных раствора. Первый раствор представлял собой насыщенный раствор извести, а второй – 0,05 н раствор соляной кислоты.

Насыщенный раствор извести готовился из 50 г негашеной извести и 20–25 л дистиллированной воды в емкости с плотно закрытой резиновой пробкой, в которую была вставлена трубка с натронной известью. Взбалтывание раствора производилось 2-3 раза в сутки в течение трех суток. Перед приготовлением раствора негашеная известь высушивалась при температуре 110 °С в течение 2 часов для предотвращения поглощения водяных паров. После этого емкость с раствором вскрывалась, отфильтровывалось небольшое количество раствора, далее производился отбор пипеткой 50 мл в коническую колбу и его титрование 0,05 н раствором соляной кислоты для определения его степени насыщения. Его необходимая концентрация должна была находиться в пределах 1,05-1,15 г CaO на 1 л при титровании.

Приготовление 0,05 н раствора соляной кислоты заключалось в растворении 4,0–4,5 мл HCl с истинной плотностью 1,19 г/см³ в 1 л воды.

Для титрования раствора применялся кислотно-щелочной индикатор метиловый оранжевый, изменяющий свой цвет в зависимости от pH среды: от желтого в щелочной среде до красного в кислой. Индикатор добавлялся в количестве 2–

3 капель в 50 мл раствора извести, таким образом, чтобы его цвет изменяется на желтый. После этого 50 мл раствора извести титровался с помощью раствора соляной кислоты до изменения с желтого цвета на красный с регистрацией израсходованного количества объем раствора HCl.

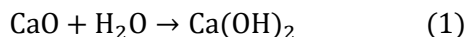
Все исследуемые добавки сначала измельчались на куски величиной около 1 см, после чего от них отбирали среднюю пробу массой 50–100 г, которую высушивали при температуре 105–110 °С и измельчали в порошок в фарфоровой ступке. После этого брали 10 г порошка каждой добавки, которые истирали в агатовой ступке в более мелкий порошок для того, чтобы весь порошок прошел сквозь сито с сеткой № 008. Непосредственно перед испытанием подготовленную таким образом пробу высушивали до постоянной массы и хранили в небольших стеклянных банках с притертыми пробками.

Далее с помощью бюретки в цилиндр заливалось 100 мл насыщенного известкового раствора, который затем закрывали пробкой и энергично взбалтывали для предотвращения осаждения добавки на дно цилиндра. Взбалтывание цилиндров осуществлялось один раз в сутки.

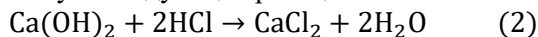
Через два дня с момента заполнения цилиндров измерялся объем осадков, образующийся на дне цилиндров. Далее отобранный пипеткой для титрования раствор из цилиндра в количестве 50 мл раствора заливали в колбу емкостью 250 см³ и подвергали титрованию раствором соляной

кислоты после добавления 2–3 капель метилового оранжевого. Далее взбалтывание цилиндров производилось один раз в сутки, а измерение объема образованного осадка и титрование производилось один раз в двое суток. Продолжительность эксперимента составила один месяц [14].

Негашеная известь CaO превращается в гидроксид кальция по следующему химическому уравнению:



Химическое уравнение во время титрования соответствует следующей реакции:



Концентрация (C_2) остаточного CaO в 50 мл раствора цилиндра рассчитывается по закону эквивалентности:

$$C_2 = \frac{V_1 \cdot C_1 \cdot a \cdot b}{c}, \quad (3)$$

где C_2 – концентрация остатка в 50 мл раствора [мг]; V_1 – потребляемый объем раствора HCl во время титрования [мл]; C_1 – концентрация раствора HCl ($C_1 = 0,05$ н); a – эквивалентная молярная масса Ca(OH)₂ ($a = \frac{72}{2} = \frac{37 \text{ г}}{\text{экв.моль}}$);

b – молярная масса CaO ($b = \frac{56 \text{ г}}{\text{моль}}$); c – молярная масса Ca(OH)₂ ($c = \frac{74 \text{ г}}{\text{моль}}$);

Количество B , поглощенного CaO на 1 г добавки в течение двух дней, рассчитывается по следующему уравнению:

$$B = C_0 - C_2, \quad (4)$$

где C_0 – начальная концентрация извести в цилиндре после добавления 50 мл раствора извести:

$$C_0 = \frac{C_2 + A}{2}, \quad (5)$$

где A – концентрация CaO в 50 мл насыщенного раствора извести в начале эксперимента.

Результаты. Объем израсходованного раствора HCl при титровании 50 мл насыщенного раствора извести в начале эксперимента составил 63 мл. Концентрация CaO в 50 мл насыщенного раствора извести в начале эксперимента составила $A=88,2$ мг.

В табл. 3 приведены данные о пуццолановой активности вулканического шлака, пылевидной фракции отсева дробления базальта, золы-уноса и вулканического туфа в течение 30 суток.

Таблица 3

Показатели пуццолановой активности минеральных добавок различного происхождения

Продолжительность эксперимента, дни	Количество извести, поглощаемое из известкового раствора в мг CaO на 1 г активной минеральной добавки			
	Вулканический шлак	Зола-уноса	Пылевидная фр. отсева дробления базальта	Вулканический туф
2	32,6	28,0	30,8	33,6
4	56,5	45,1	45,4	51,0
6	70,7	59,6	60,1	63,3
8	77,3	76,8	75,2	79,4
10	95,5	90,8	89,5	92,0
12	103,2	98,4	97,9	104,2
14	113,5	113,0	107,4	117,8
16	126,7	125,9	122,1	129,9
18	139,6	146,3	135,3	142,4
20	151,7	156,9	146,2	154,3
22	165,7	171,9	160,9	169,2
24	179,6	187,0	171,9	180,5
26	192,1	201,3	185,8	193,0
28	205,4	216,2	199,1	205,3
30	218,2	230,7	212,1	217,6

В табл. 4 представлены данные по объему образовавшегося осадка вулканического шлака, золы-уноса, пылевидной фракции отсева дробления базальта и вулканического туфа в течение 30 дней.

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что все исследованные добавки проявляют пуццолановые свойства. Однако их пуццолановая активность в начальные сроки и возрасте 30 суток различна. В начальные

сроки (4 сут) такая добавка, как вулканический шлак, проявляет наилучшие свойства (56,5 мг), в то время как зола-уноса в начальные сроки обнаруживает наименьшую способность – (45,1 мг). В возрасте восьми суток от начала эксперимента все добавки имели практически одинаковые показатели: вулканический шлак – 77,3 мг; зола-уноса – 76,8 мг; отсев дробления базальта – 75,2 мг и вулканический туф – 79,4 мг. Через две

недели был установлен прирост активности вулканического туфа на 6 % по сравнению с остальными добавками. По окончании эксперимента (30 суток) наибольшую активность проявила кислая зола-уноса, величина которой составила 230,7 мг, в то время как показатели вулканического шлака, пылевидной фракции отсева дробления базальта и вулканического туфа составили 218,2 мг; 212,1 мг и 217,6 мг соответственно. Несмотря на это, все добавки можно отнести к высокоактивным со степенью поглощения извести более 200 мг за 30 сут [14].

Не менее важным показателем при оценке качества и пригодности пуццолановых добавок является объем образуемого осадка, величина которого, как уже было сказано выше, зависит от

характера глинистых примесей в добавке. Анализ данных табл. 4 показывает, что наименьшим набуханием в возрасте 30 сут обладает вулканический шлак (5,7 см³) и пылевидная фракция отсева дробления базальта (5,5 см³), в то время как у вулканического туфа и золы-уноса эти показатели составили 13 см³ и 16,5 см³ соответственно. Несмотря на практически одинаковую пуццолановую активность всех добавок, наиболее пригодными для разработки состава укатанного бетона, по нашему мнению, могут служить вулканический шлак и пылевидная фракция отсева дробления базальта, имеющиеся в неограниченном количестве и выступающих в дальнейшем сырьевыми источниками для разработки составов новых строительных материалов.

Таблица 4

Объемы образующихся осадков исследуемых добавок в течение 30 дней

Продолжительность эксперимента, дни	Объем осадка активных минеральных добавок, см ³			
	Вулканический шлак	Зола-унос	Пылевидная фр. отсева дробления базальта	Вулканический туф
2	2,5	3	3	5
4	2,5	5,5	3,5	10,5
6	3	5,9	3,5	10,5
8	3,5	6,5	4,5	10,5
10	3,5	7	4,5	10,5
12	3,5	7	4,5	10,5
14	3,5	7,5	4,8	10,5
16	3,5	10	5,1	12,5
18	4,5	11	5,3	12,5
20	4,5	12	5,5	12,5
22	4,5	13	5,5	12,5
24	5	15	5,5	13
26	5,5	15,5	5,5	13
28	5,5	16	5,5	13
30	5,7	16,5	5,5	13

Выводы. При строительстве гидротехнических сооружений получили распространение укатанные бетоны, получаемые из малоцементных особо жестких бетонных смесей, содержащие в своем составе различные пуццолановые добавки и их сочетания. Однако совместное использование вулканического шлака и пылевидной фракции отсева дробления базальта в качестве пуццолановых добавок для укатанного бетона не изучено.

Проведен анализ пуццолановой активности вулканического шлака, пылевидной фракции отсева дробления базальта, золы-уноса и вулканического туфа в возрасте 30 сут по степени поглощения извести из водного раствора с одновременным изменением интенсивности увеличения объема добавки в нем.

Установлено, что все исследованные добавки обладают пуццолановыми свойствами, яв-

ляются высокоактивными и могут быть использованы при разработке состава укатанного бетона.

Определена величина набухания исследованных добавок. Установлено, что все исследованные добавки могут быть пригодными для изготовления гидротехнического бетона, так как объем осадка активных минеральных добавок не превышает 28 см³. Наименьшими показателями по объему осадка обладают вулканический шлак и пылевидная фракция отсева дробления базальта.

При разработке состава укатанного бетона необходимо учитывать положительные свойства добавок, а именно высокую пуццолановую активность вулканического шлака в начальные сроки (4 сут) и пылевидной фракции отсева дробления базальта в возрасте 30 сут, а также небольшие изменения увеличения объема добавки при

испытаниях в известковом растворе. Использование положительных качеств таких добавок будет способствовать разработке состава бетона, обладающего значительными экономическими и экологическими преимуществами. Их применение будет способствовать обеспечению взаимодействия с продуктами гидратации цемента, снижению расхода вяжущего в бетоне, тем самым понижая тепловыделение при твердении, повышая водостойкость, сульфатостойкость и водонепроницаемость укатанного бетона для гидротехнических сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воробьев А.А., Елфимов В.И. Повышение качества бетонных работ в условиях сухого жаркого климата // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2005. №1 (11). С. 85–88.
2. Судаков В.Б., Толкачев Л.А. Современные методы бетонирования высоких плотин. М.: Энергоатомиздат. 1988, 254 с.
3. Федоров В.М. Применение укатанных бетонов в водохозяйственном строительстве // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 65 (01). С. 1–12.
4. Andriolo Fr. R. Materials and RCC quality requirements // Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams. 2003. № 2. Pp. 61–70.
5. Ortega F., Andriolo F.R. Discussions regarding the use of materials and the design of RCC dams // Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams. 2003. № 2. Pp. 829–837.
6. Рекомендации по применению укатанных бетонов в гидротехническом строительстве. Л.: ВНИИГ. 1985, 21 с.
7. Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата. М.: Стройиздат. 1977, 81 с.
8. Yerramala A., Ganesh Babu K. Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete // Cement and Concrete Composites. 2011. № 33, Iss. 10. Pp. 1057–1062.
9. Dolen T.P., Ibañez-de-Aldecoa R., Eharz J.L., Dunstan M.R.H. Successful large RCC dams – what are the common features? // Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams. 2003. № 2. Pp. 127–137.
10. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. М.: МИСИ-МГСУ. 2013, 201 с.
11. Бабаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф., Гольдина И.Я. Повышение прочности цементного камня // Цемент. 1990. № 9. С. 13–15.
12. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат. 1984, 255 с.
13. Shane D., Mark T., Cheeseman C.R., Comparison of test methods to assess pozzolanic activity // Cement and Concrete Composites. 2010. № 32 (2). Pp. 121–127.
14. Бутт Ю.М. Практикум по технологии вяжущих веществ и изделий из них. М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам. 1953, 470 с.
15. Потапова Е.Н., Манушина А.С., Зырянов М.С., Урбанов А. В. Методы определения пуццолановой активности минеральных добавок // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2017. № 7-8. С. 29–33.
16. Виноградов Б.Н. Сырьевая база промышленности вяжущих веществ СССР. М.: Недра. 1971, 324 с.
17. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат. 1979, 476 с.
18. Velázquez S., Monzó J., Borrachero M. V., Soriano L., Payá J. Evaluation of the pozzolanic activity of spent FCC catalyst/fly ash mixtures in Portland cement pastes // Thermochemica Acta. 2016. № 632. Pp. 29–36.
19. Ляпичев Ю.П. Проектирование и строительство современных высоких плотин. М.: РУДН. 2009, 343 с.
20. Aref M. al-Swaidani, Samira D. Aliyan, Nazeer Adarnaly. Mechanical strength development of mortars containing volcanic scoria-based binders with different fineness // Engineering Science and Technology. 2016. № 19, Iss. 2. Pp. 970–979.
21. Урханова Л.А., Заяханов М.Е. Вяжущие и бетоны на основе вулканических шлаков // Строительные материалы. 2006. № 7. С. 22–24.
22. Al-Swaidani A.M. Efficiency of nano-volcanic scoria in the concrete binder // SN Applied Science. 2019. № 1 (9). 15 p.
23. Наседкин В.В., Соловьева Т.Н., Гараев А.М., Магер А.В. Вулканический шлак и пемза, их месторождения и генезис. М.: Наука. 1987, 126 с.
24. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. Учебник для студентов вузов. М.: Высшая школа. 1991, 272 с.
25. Dobiszewska M., Schindler A.K., Pichor W. Mechanical properties and interfacial transition zone microstructure of concrete with waste basalt powder addition // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 177. Pp. 222–229.
26. Нгуен В.К., Чумаков Л.Д. Комплексное использование базальтовых заполнителей в бетоне // Вестник МГСУ. № 1. 2009. С. 164–167.

Информация об авторах

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Наруть Виталий Викторович, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: insolent88@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Полозов Артём Алексеевич, студент. E-mail: Gnomepatry@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Бахрах Антон Михайлович, магистрант. E-mail: antonbahrah@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Поступила 12.07.2020 г.

©Ларсен О.А., Александрова О.В., Наруть В.В., Полозов А.А., Бахрах А.М., 2020

**Larsen O.A., Aleksandrova O.V., Naruts V.V., Polozov A.A., Bakhrakh A.M.*

National Research Moscow State University of Civil Engineering

**E-mail: larsen.oksana@mail.ru*

STUDY OF THE PROPERTIES OF ACTIVE MINERAL ADDITIVES FOR USE IN HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTION

Abstract. *Improving the technology of construction production contributes to improving the quality of construction of hydraulic structures and their reliability. In recent decades, rolled compacted concrete has become widespread in the construction of dams in our country and in world practice. The technology of rolled compacted concrete in hydraulic engineering projects has a number of advantages: it reduces labor costs and expenses, allows fully mechanization the concreting process with implement of high-performance equipment, and thereby increases the rate of construction of massive structures. The use of mineral fillers in rolled concrete will reduce heat generation, contribute to a reduced adiabatic rise in the temperature of concrete, improve its performance and increase durability. The test method for assessing pozzolanic activity of volcanic scoria, fly ash, crushed powder of basalt and volcanic tuff by degree of absorbed lime from a saturated calcium hydroxide solution with a simultaneous change in volume is described. The studies have shown that volcanic scoria and crushed powder of basalt are additives with the lowest volume increase at the age of 30 days, they show the high pozzolanic properties and can be selected as initial pozzolanic materials for production rolled compacted concrete with significant economic and environmental advantages.*

Keywords: *rolled compacted concrete, pozzolanic activity, mineral additives, hydraulic concrete, volcanic scoria, waste basalt powder.*

REFERENCES

1. Vorobyov A.A., Elfimov V.I. Enhancement the quality of concrete work in dry hot climate conditions [Povyshenie kachestva betonnyh rabot v usloviyah suhogo zharkogo klimata]. Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya. 2005. No. 1 (11). Pp. 85–88. (rus)
2. Sudakov V.B., Tolkachyov L.A. Advanced concreting methods of high dams [Sovremennye metody betonirovaniya vysokih plotin]. Moscow: Energoatomizdat. 1988, 254 p. (rus)
3. Fyodorov V.M. Use of rolled compacted concrete in hydraulic engineering construction

[Primenenie ukatannyh betonov v vodohozyajstvennom stroitelstve]. Science magazine of KubGAU. 2011. No. 65 (01). Pp. 1–12. (rus)

4. Andriolo Fr.R. Materials and RCC quality requirements. Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams. 2003. Vol. 2. Pp. 61–70.

5. Ortega F., Andriolo F.R. Discussions regarding the use of materials and the design of RCC dams. Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams. 2003. Vol. 2. Pp. 829–837.

6. Guidelines for the use of rolled compacted concrete in hydraulic engineering construction [Rekomendacii po primeneniuyu ukatannyh betonov v

gidrotekhnicheskom stroitel'stve]. Leningrad: VNIIG. 1985, 21 p. (rus)

7. Guidelines for the concreting in a dry hot climate [Rukovodstvo po proizvodstvu betonnyh rabot v usloviyah suhogo zharkogo klimata]. Moscow: Strojizdat. 1977, 81 p. (rus)

8. Yerramala A., Ganesh Babu K. Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2011. Vol. 33, Iss. 10. Pp. 1057–1062.

9. Dolen T.P., Ibáñez-de-Aldecoa R., Eharz J.L., Dunstan M.R.H. Successful large RCC dams – what are the common features? *Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete (RCC) dams*. 2003. Vol. 2. Pp. 127–137.

10. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Structure and properties of concretes with nanomodifiers based on technogenic waste [Struktura i svojstva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennyh othodov]. Moscow: MISI-MGSU. 2013, 201 p. (rus)

11. Babaev Sh.T., Bashlykov N.F., Gol'dina I.Ya. Strength improvement of cement paste [Povyshenie prochnosti cementnogo kamnya]. *Cement*. 1990. No. 9. Pp. 13–15. (rus)

12. Volzhenskij A.V., Ivanov I.A., Vinogradov B.N. Use of ashes and fuel slags in production of building materials [Primenenie zol i toplivnyh shlakov v proizvodstve stroitel'nyh materialov]. Moscow: Strojizdat. 1984, 255 p. (rus)

13. Shane D., Mark T., Cheeseman C.R., Comparison of test methods to assess pozzolanic activity. *Cement and Concrete Composites*. 2010. Vol. 32 (2). Pp. 121–127.

14. Butt Yu.M. Educational aid of binders technology and their products [Praktikum po tekhnologii vyazhushchih veshchestv i izdelij iz nih]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatelstvo literatury po stroitel'nym materialam. 1953, 470 p. (rus)

15. Potapova E.N., Manushina A.S., Zyryanov M.S., Urbanov A.V. Pozzolanic activity evaluation methods of mineral additives [Metody opredeleniya puccolanovoj aktivnosti mineral'nyh dobavok]. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2017. No. 7-8. Pp. 29–33. (rus)

16. Vinogradov B.N. Raw materials base of USSR binders industry [Syr'evaya baza promyshlennosti vyazhushchih veshchestv SSSR]. Moscow: Nedra. 1971, 324 p. (rus)

17. Volzhensky A.V. Mineral binders [Mineral'nye vyazhushchie veshchestva]. Moscow: Strojizdat. 1979, 476 p. (rus)

18. Velázquez S., Monzó J., Borrachero M.V., Soriano L., Payá J. Evaluation of the pozzolanic activity of spent FCC catalyst/fly ash mixtures in Portland cement pastes. *Thermochimica Acta*. 2016. Vol. 632. Pp. 29–36.

19. Lyapichev Yu.P. Design and construction of modern high dams [Proektirovanie i stroitel'stvo sovremennyh vysokih plotin]. Moscow: RUDN. 2009, 343 p. (rus)

20. Aref M. al-Swaidani, Samira D. Aliyan, Nazeer Adarnaly. Mechanical strength development of mortars containing volcanic scoria-based binders with different fineness. *Engineering Science and Technology*. 2016. Vol. 19, Iss. 2. Pp. 970–979.

21. Urhanova L.A., Zayahanov M.E. Binders and concretes based on volcanic slags [Vyazhushchie i betony na osnove vulkanicheskikh shlakov]. *Building materials*. 2006. No. 7. Pp. 22–24. (rus)

22. Al-Swaidani A.M. Efficiency of nano-volcanic scoria in the concrete binder. *SN Applied. Science*. 2019. Vol. 1 (9). 15 p.

23. Nasedkin V.V., Solovieva T.N., Garaev a.m., Mager A.V. Volcanic slag and pumice, their deposits and Genesis [Vulkanicheskij shlak i pemza, ikh mestorozhdeniya i genesis]. Moscow: Nauka, 1987, 126 p. (rus)

24. Itskovich S.M., Chumakov L.D., Bazhenov Yu.M. Technology of concrete aggregates. Textbook for University students [Tekhnologiya zapolnitelej betona. Uchebnik dlya studentov vuzov]. Moscow: Vysshaya shkola. 1991, 272 p. (rus)

25. Dobiszewska M., Schindler A.K., Pichor W. Mechanical properties and interfacial transition zone microstructure of concrete with waste basalt powder addition. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol.177. Pp. 222–229.

26. Nguen V.K., Chumakov L.D. Multiple use of basalt aggregates in concrete [Kompleksnoe ispolzovanie bazal'tovyh zapolnitelej v betone]. *Vestnik MGSU*. No. 1. 2009. Pp. 164–167. (rus)

Information about the authors

Larsen, Oksana A. PhD, Assistant professor. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Aleksandrova, Olga V. PhD, Assistant professor. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Naruts, Vitaly V. Postgraduate student. E-mail: insolent88@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Polozov, Artyom A. Student. E-mail: Gnomepatry@yandex.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Bakhrakh, Anton M. Master. E-mail: antonbahrah@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 12.07.2020

Для цитирования:

Ларсен О.А., Александрова О.В., Наруть В.В., Полозов А.А., Бахрах А.М. Исследование свойств активных минеральных добавок для применения в гидротехническом строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 8. С. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-17

For citation:

Larsen O.A., Aleksandrova O.V., Naruts V.V., Polozov A.A., Bakhrakh A.M. Study of the properties of active mineral additives for use in hydraulic engineering construction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 8. Pp. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-17