



ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСНОГО ПЕРЛИТА И КОЛЛОИДНОЙ ДОБАВКИ

Салимова Дилдора Баходировна,

докторант 2 курса Бухарского государственного технического
университета

Аннотация: Бетонирование массивных гидротехнических сооружений сопровождается явлением экзотермического разогрева конструкций, обусловленным процессом гидратации цемента. В естественных условиях выделяющееся в массивном бетоне тепло медленно отводится от конструкции. Зачастую между центральной частью массива и его поверхностью возникает значительная разность температур. При достижении критического значения разности температур возникают температурные трещины, нарушающие монолитность конструкций. С целью решения проблемы трещинообразования в статье рассматривается возможность получения гидротехнического бетона с использованием композиционного вяжущего на основе тонкодисперсных алюмосиликатных пород – перлитов, коллоидной добавки в виде золя кремниевой кислоты и суперпластификатора. Для получения композиционного вяжущего алюмосиликатные материалы – перлитовые породы различной степени кристалличности измельчались в лабораторной вибромельнице до необходимой удельной поверхности. Для получения коллоидной добавки – золя кремниевой кислоты – в работе использовался метод гидролиза растворимых солей, в частности, кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 без удаления катионов натрия Na^+ . Показатель трещиностойкости гидротехнического бетона $K_{\text{тр}}$ определялся косвенно по отношению прочности бетона на растяжение при изгибе к прочности на сжатие – $R_{\text{изг}}/R_{\text{ком}}$. Марку водонепроницаемости бетона оценивали экспресс-методом определения водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости. Установлено, что наиболее рациональными являются составы композиционных вяжущих, содержащих 10-20% стекловидного перлита, с удельной поверхностью 600 м²/кг, коллоидную добавку в виде



золя кремниевой кислоты в количестве 0,4% от массы цемента и суперпластификатор «Полипласт», что обеспечивает повышение прочности на сжатие гидратированного камня через 28 суток на 33% и повышение прочности на изгиб на 40-45% по сравнению с контрольным составом.

Ключевые слова: гидротехнический бетон, пластифицирующая добавка, кремнезоль, стекловидный перлит, кристаллизованный перлит, дисперсность, удельная поверхность, водостойкость, трещиностойкость, прочность при сжатии, суперпластификатор, поликарбоксилата, механоактивации, водоредукции цементной системы, портландцемент, физико-механические свойства бетона.

HYDRAULIC CONCRETE BASED ON A COMPOSITE BINDER USING DISPERSED PERLITE AND A COLLOIDAL ADDITIVE

**Dildora Bahodirovna Salimova, 2nd-year PhD student, Bukhara State
Technical University**

Abstract: Concreting massive hydraulic structures is accompanied by exothermic heating of the structures due to the cement hydration process. Under natural conditions, the heat generated in massive concrete is slowly dissipated from the structure. A significant temperature difference often develops between the central part of the massif and its surface. When this temperature difference reaches a critical value, thermal cracks appear, compromising the integrity of the structures. To address the problem of crack formation, this article examines the feasibility of producing hydraulic concrete using a composite binder based on finely dispersed aluminosilicate rocks (perlite), a colloidal additive in the form of silica sol, and a superplasticizer. To obtain the composite binder, aluminosilicate materials (perlite rocks of varying degrees of crystallinity) were ground in a laboratory vibratory mill to the required specific surface area. To obtain the colloidal additive (silicic acid sol), the study utilized the hydrolysis of soluble salts, specifically sodium fluorosilicate Na_2SiF_6 , without removing sodium cations Na^+ . The crack resistance index (K_{tr}) of hydraulic concrete was determined indirectly by the ratio of the concrete's tensile strength in bending to its compressive strength (R_{bend}/R_{comp}). The concrete's water resistance grade was assessed using a rapid method for determining its water resistance based on its air permeability. It has been established that the most effective composite binder formulations are those containing 10-20% vitreous perlite, with a specific surface area of 600



m²/kg, a colloidal additive in the form of silica sol at 0.4% of the cement weight, and the Polyplast superplasticizer. These provide a 33% increase in the compressive strength of hydrated stone after 28 days and a 40-45% increase in flexural strength compared to the control composition.

Key words: *hydraulic concrete, plasticizing additive, silica sol, glassy perlite, crystallized perlite, dispersion, specific surface, water resistance, crack resistance, compressive strength, superplasticizer, polycarboxylate, mechanical activation, water reduction of cement system, Portland cement, physical and mechanical properties of concrete.*

ВВЕДЕНИЕ. В настоящее время, в связи с развитием гидротехнического строительства в 12 областях и регионах Узбекистана, возникает потребность в бетонах для гидротехнических сооружений. Согласно ГОСТ 26633-2015, в качестве вяжущего для производства гидротехнических бетонов рекомендуется использовать сульфатостойкие и пуццолановые цементы. Однако использование таких цемента приводит к значительному удорожанию гидротехнического бетона, поскольку эти виды портландцемента значительно дороже обычного портландцемента, а объём производства таких цемента ограничен [1].

Бетоны для гидротехнических сооружений должны отвечать повышенным требованиям к долговечности, предъявляемым к ним в условиях эксплуатации на границе воздушной и водной сред. В таких условиях наиболее опасно образование трещин в гидротехнических бетонах. В результате гидратации цемента выделяется тепло, которое первоначально вызывает сжимающие напряжения в гидротехнических сооружениях. Затем, в результате снижения температуры, происходит усадка бетона и возникают растягивающие напряжения. В момент, когда растягивающие напряжения превышают прочность бетона на разрыв, образуются трещины [2-4]. Улучшение характеристик гидротехнического бетона может быть достигнуто путем введения в портландцемент активных минеральных добавок, которые устраняют негативное влияние высокого градиента температур при гидратации цемента за счёт модификации структуры цементного камня, повышения водонепроницаемости, повышения коррозионной стойкости, снижения общей пористости, повышения физико-механических и эксплуатационных свойств гидротехнического бетона [5-7]. Кроме того, формирование физико-механических характеристик бетона взаимосвязано с образованием новых



сложных гидратных соединений с улучшенными характеристиками и определенной кристаллизационной структурой, что также влияет на физико-механические свойства бетона. Известны работы по использованию микрокремнезема в сочетании с поверхностно-активными веществами, которые в соответствии со своей химической природой оказывают положительное влияние на улучшение свойств искусственного камня, однако эффективность их действия вследствие ограниченной реакционной активности не обеспечивает создание бетона нового уровня свойств [8]. В представленной работе для получения гидротехнического бетона использованы перлитовые породы, подвергнутые механохимической активации в энергоёмких устройствах, ультрадисперсная кремнезёмистая добавка и суперпластификатор на основе поликарбоксилата. Ультрадисперсная кремнезёмистая добавка в виде золя и активная минеральная добавка, подвергнутая механоактивации, будут способствовать улучшению микроструктуры цементного камня за счёт водоредукции цементной системы, образованию плотной упаковки частиц дисперсного композиционного вяжущего и гидратационного взаимодействия портландцемента с кремнезёмсодержащими добавками [9], что позволит повысить физико-механические свойства бетона с их применением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для улучшения свойств и повышения трещиностойкости гидротехнического бетона на основе тонкодисперсных, коллоидных добавок и поверхностно-активных веществ в качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2020 производства ООО «Тимлюйцемент». В качестве активных минеральных добавок в зависимости от состава использовали тонкомолотый стекловидный и кристаллизованный перлит Мухор-Талинского месторождения (Республика Бурятия). Химический состав стекловидного и кристаллизованного перлита представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав стекловидного и кристаллизованного перлита, масс. %



Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	R ₂ O	p.p.p.
Перлит стекловидный	68,40	13,75	0,50	0,06	0,50	0,30	0,15	0,10	3,91	3,37	-	5,97
Кристаллизованный перлит	73,13	11,7	1,08	1,71	0,55	0,30	-	-	-	-	6,4	7,65

Перлиты предварительно измельчали в лабораторной вибромельнице ВИ-4х350 до удельной поверхности 550–600 м²/кг. В качестве поверхностно-активного вещества использовали суперпластификатор на основе модифицированных поликарбоксилатов (ООО «Полипласт-Сибирь»), вводимый в цемент с водой затворения в количестве 0,2% от массы цемента. Основу суперпластификатора «Полипласт» составляют эфиры поликарбоксилатов. Для получения золя кремниевой кислоты – коллоидной добавки – в работе использовался метод гидролиза растворимых солей, в частности кремнефторида натрия NaSiF без удаления натрия: $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaF} + 4\text{HF} + \text{H}_4\text{SiO}_4$, (1).

Полученный золь кремниевой кислоты в виде водного раствора имеет плотность 1,018 г/см³, значение водородного показателя pH = 4,5–4,8, вводился в состав бетона с водой затворения в оптимальной концентрации 0,4% от массы цемента. В качестве поверхностно-активного вещества использовался суперпластификатор «Полипласт ПК тип S» на основе модифицированных поликарбоксилатов, вводимый в состав цемента с водой затворения. Основу суперпластификатора «Полипласт» составляют эфиры поликарбоксилатов. Вяжущее готовили путём тщательного перемешивания портландцемента и тонкодисперсного стекловидного и кристаллизованного перлита, измельчённого до удельной поверхности 550–600 м²/кг. Бетонная смесь на композиционном вяжущем марки по удобоукладываемости ПЗ (осадка конуса 12 см) готовилась путём перемешивания в лабораторном бетоносмесителе в течение 1 мин предварительно дозированных компонентов: портландцемента, тонкодисперсного перлита, песка с модулем крупности $M_{кр.} = 2,1$, щебня фракции 10–20 мм и воды с добавлением дозированного кремнезёмсодержащего компонента – золя кремниевой кислоты и суперпластификатора Полипласт. Из равноподвижной бетонной смеси формовали



образцы-кубы размером $100 \times 100 \times 100$ мм, которые испытывали по стандартным методикам. Для каждого вида испытаний образцы изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний», ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности на контрольных образцах», ГОСТ 12730.5-2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости», ГОСТ 24452-2023 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона». Показатель трещиностойкости гидротехнического бетона $K_{тр}$ определяли косвенно по отношению прочности бетона на растяжение при изгибе к прочности на сжатие – $R_{изг}/R_{ком}$. Оптимальная концентрация золя – 0,75%. Гидролиз кремнефторида натрия происходит по следующей реакции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Все исследуемые компоненты в рациональных количествах обеспечивают улучшение физико-механических свойств гидротехнического бетона (таблица 2). Введение тонкомолотого перлита в состав бетона приводит к увеличению водосвязующего отношения на 7–13%. Использование поликарбоксилатного суперпластификатора Полипласт в оптимальном количестве 0,2% от массы вяжущего не только снижает расход воды на 9–16%, компенсируя тем самым потерю прочности гидратированного камня, связанную с уменьшением количества цемента в составе, но и изменяет структуру затвердевшего бетона.

Таблица 2. Влияние дисперсного перлита с удельной поверхностью 600 м²/кг и кремнезоля на физико-механические свойства гидротехнического бетона



Имя	Прочность при сжатии, МПа, после затвердевания			Прочность на изгиб, МПа, после закалки на		Utr (Rben /Rcom)
	3 дней	7 дней	28 дней	7 дней	28 дней	
Контрольный состав	24,6	34,8	38,7	4,1	7,1	0,18
ПК + 10% Стекловидный перлит + Полипласт	25,4	36,3	39,9	4,3	7,3	0,18
ПК + 20% Стекловидный перлит + Полипласт	25,6	37,4	40,7	4,5	6,9	0,17
ПК + Золя 6 + Полипласт	30,8	37,4	40,9	5,6	9,1	0,22
ПК + 10% Стекловидный перлит + Золя + Полипласт	33,1	39,0	48,6	6,9	10,6	0,22
ПК + 20% Стекловидный перлит + Золя + Полипласт	35,2	42,4	53,4	7,8	10,9	0,20
ПК + 10% Кристаллизованный перлит + Золя + Полипласт	32,6	38,5	41,1	4,0	6,9	0,16
ПК + 20% Кристаллизованный перлит + Золя + Полипласт	33,2	40,0	42,9	4,4	7,6	0,17

Коллоидная добавка в сочетании с тонкомолотым перлитом и пластификатором положительно влияет на повышение прочности бетона. Максимальные значения прочности при сжатии показали составы с добавлением стекловидного перлита и золя кремниевой кислоты: ПК + 20% стекловидного перлита + золя в количестве 0,4% от массы цемента + Полипласт – 53,4 МПа, что на 33% выше прочности контрольного состава соответственно. Применение поликарбоксилатного полимера в сочетании с тонкодисперсными и ультрадисперсными кремнеземсодержащими добавками в наибольшей степени, начиная с раннего возраста, повышает прочность бетона на растяжение при изгибе. Максимальные значения прочности бетона на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток показали составы: ПЩ + 10% стекловидного перлита + золя в количестве 0,4% от массы цемента – 10,6 МПа; ПЩ + 20% стекловидного перлита + золя в количестве 0,4% от массы цемента – 10,9 МПа, что в среднем на 40-45% превышает прочность на изгиб контрольного состава бетона. Повышение прочности обусловлено влиянием перлита на структуру и химико-минералогический состав гидротехнического бетона на



композиционном вяжущем. Существенную роль играет химический фактор воздействия перлита, выражающийся в изменении баланса гидратированных фаз в составе цементного камня в сторону увеличения объёма более прочных и устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция (ГСК) с образованием плотных конгломератных структур [9, 10]. Аморфная фаза кремнезёма, содержащаяся в больших объёмах в стекловидном перлите, приводит к повышению прочности на сжатие за счёт замены механически слабой фазы гидроксида кальция на более прочную гидросиликатную фазу [11]. Наличие стекловидной фазы (60–80%) в составе перлита обуславливает повышение прочности композиционного цемента по сравнению с использованием кристаллизованного перлита равного химического состава, что связано с увеличением содержания аморфной фазы в алюмосиликатных породах, их дальнейшей аморфизацией при тонком помоле в энергоёмких измельчителях [12]. Аморфный кремнезем в перлите связывает свободный гидроксид кальция, образующийся при гидратации цемента, с образованием дополнительного количества низкоосновных гидросиликатов кальция. Кроме того, как показали исследования, морфология частиц исходных измельченных материалов природного и искусственного происхождения изменяется в зависимости от способа измельчения [13].

В энергоемком измельчителе, к которому относится стержневая виброизмельчитель, при измельчении стекловидного перлита образуются более округлые зерна материала с небольшим количеством шероховатостей на поверхности, вследствие чего частицы плотнее прилегают друг к другу с увеличением поверхности контакта, что свидетельствует об эффективности измельчения сырья в стержневой виброизмельчитель. При измельчении кристаллизованного перлита образуются зерна плоской, удлинённой формы с образованием менее плотной упаковки смесей с его использованием. Коллоидная добавка, представленная золей кремниевой кислоты, превращается в гель, уплотняя микроструктуру твердеющей системы, а также повышает гидратационную активность силикатсодержащих минералов портландцемента и взаимодействует с гидролизной известью, обеспечивая образование тоберморитоподобных гидросиликатов кальция, которые, в свою

очередь, армируют твердеющую систему, обеспечивая повышенную прочность на изгиб [14]. Показатель трещиностойкости гидротехнического бетона $K_{тр}$, косвенно оцененный по отношению $R_{изг}/R_{ком}$, с использованием тонкодисперсного перлита и золя кремниевой кислоты, составляет 0,22, что на 21% превышает показатель трещиностойкости бетона без добавок. Результаты исследования физико-механических свойств бетона подтверждают стойкость бетона на композиционном вяжущем с коллоидными и пластифицирующими добавками к трещинообразованию. Для повышения долговечности и трещиностойкости гидротехнического бетона были проведены исследования по определению деформационных свойств бетона (таблица 3).

Таблица 3. Деформационные свойства гидротехнического бетона на композиционном вяжущем

Состав	Прочность призмы, МПа		Модуль упругости Ев, МПа × 10 ³		Коэффициент Пуассона	
	3 дней	28 дней	3 дней	28 дней	3 дней	28 дней
ПК	19,8	34,6	22974	32362	0,18	0,216
ПК + 20% стекловидного перлита + Полипласт	23,4	40,2	24084	35680	0,18	0,202
ПК + соль + Полипласт	25,6	39,6	23742	34493	0,17	0,191
ПК + 20% стекловидного перлита + соль + Полипласт	30,1	46,3	26247	37345	0,17	0,199

Призматическая прочность гидротехнического бетона на оптимальных составах с совместным применением тонкодисперсного перлита, золя кремния и суперпластификатора Полипласт по отношению к прочности на сжатие составляет 17%, тогда как на контрольных образцах это соотношение составляет 9%, что подтверждает повышенную трещиностойкость бетона. Увеличение призматической прочности гидротехнического бетона обусловлено в основном высокой кубической прочностью представленных составов бетона по сравнению с контрольным образцом.



Модуль упругости составов гидротехнического бетона с использованием тонкодисперсного перлита + суперпластификатора Полипласт и состава золя кремния+ суперпластификатора Полипласт увеличился в среднем на 3–5% через 3 суток и на 7–10% через 28 суток по сравнению с контрольным составом. Состав с совместным применением стекловидного перлита, золя кремнезёма и суперпластификатора Полипласт повышает модуль упругости по сравнению с контрольным составом в возрасте 3 суток на 14%, в возрасте 28 суток – на 15% соответственно. Увеличение модуля упругости гидротехнического бетона на основе композиционного вяжущего происходит за счёт уплотнения структуры за счёт взаимодействия перлита, золя и суперпластификатора с продуктами гидратации цемента и образования дополнительных связей в виде гидросиликатов кальция. Также увеличение модуля упругости связано с более низким водоцементным отношением, при котором уменьшается пористость, что обуславливает увеличение модуля упругости [15, 16]. Коэффициент Пуассона в возрасте 3 суток для состава со стекловидным перлитом остался неизменным по сравнению с контрольным составом. Коэффициент Пуассона для составов: кремнезоль + Полипласт и стекловидный перлит + золь + Полипласт снизился на 5% по сравнению с контрольным составом.

В возрасте 28 суток коэффициент Пуассона для составов: стекловидный перлит+ Полипласт; золь + Полипласт; стекловидный перлит + золь + Полипласт снизился на 6, 11 и 8% соответственно. Снижение коэффициента Пуассона модифицированного бетона можно объяснить тем, что при введении поликарбоксилатного суперпластификатора и золя кремниевой кислоты за счёт модификации структуры бетона образуется большее количество структурных элементов в гидратных оболочках зерен, а следовательно, увеличивается поверхность скольжения частиц, что приводит к более интенсивному снижению поперечных деформаций и снижению коэффициента Пуассона [17, 18]. Для обеспечения долговечности гидротехнического бетона важно обеспечить высокое значение водонепроницаемости. Марка бетона по водонепроницаемости, оцененная экспресс-методом определения водонепроницаемости бетона по его воздухопроницаемости, для составов гидротехнического бетона с использованием тонкодисперсного перлита + суперпластификатора Полипласт и состава кремниевого

золя + суперпластификатора Полипласт составляет W12 и W14, что превышает водонепроницаемость бетона без добавок на 20 и 40% соответственно (таблица 4).

Таблица 4. Марка бетона по водонепроницаемости

Соединение	Время падения давления в камере прибора ВВ-2, с	Марка бетона по водонепроницаемости
ПК	186 сек.	W10
ПК + 20% стекловидного перлита + Полипласт	294 сек.	W12
ПК + Золя + Полипласт	391 сек.	W14
ПК + 20% стекловидного перлита + Золя + Полипласт	573 сек.	W16

Состав с совместным использованием стекловидного перлита, кремнезоля и суперпластификатора Полипласт повышает марку бетона по водонепроницаемости на 60% по сравнению с контрольным составом – до W16. Повышение водонепроницаемости объясняется тем, что в процессе поликонденсации, протекающей на всех стадиях золь-гель процесса, образуются микрогелевые структуры, содержащие молекулы различной молекулярной массы (от мономера до полимеров) [19–21]. Поликонденсация в объёме частиц приводит к их уплотнению. На стадии гелеобразования эта реакция способствует укреплению коагуляционных контактов между частицами [22]. В свою очередь, продукты гелеобразования заполняют микропоры структуры бетона частицами золя и продуктами его взаимодействия, создавая тем самым плотную структуру [23–25]. Введение перлита в состав бетона приводит к образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, которые, в свою очередь, также повышают водонепроницаемость.

ВЫВОДЫ. Получение прочного бетона для гидротехнических сооружений с высокой начальной прочностью, повышенной водостойкостью и трещиностойкостью возможно за счёт использования высокоэффективных пластификаторов, активных минеральных добавок природного происхождения, подвергнутых механоактивации с целью получения тонкодисперсных добавок, а также ультрадисперсных добавок, полученных с использованием золь-гель технологий. Таким образом, можно



заклучить, что эффективна добавка для гидротехнического бетона на основе стекловидного перлита, золя кремниевой кислоты и суперпластификатора на основе поликарбоксилатных полимеров, применение которой способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, формированию более плотной микроструктуры цементного камня, одновременно улучшая прочностные свойства модифицированного цементного камня в бетоне, что, по нашему мнению, может повысить термическую трещиностойкость гидротехнического бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Grigoriev V.G., Kozlova V.K., Andryushina E.E., Shkrobko E.V., Likhoshesterov A.A. (2012) Composite Portland cements for hydraulic engineering construction // Polzunovsky Vestnik. no. 1-2. pp. 62-64. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompozitsionnye-portlandtsementy-dlya-gidrotehnicheskogo-stroitelstva>.
2. Ivanov A.A., Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Khardaev P.K. (2023) Study of the influence of finely dispersed additives on the properties of composite binders for hydraulic concrete // Vestnik of VSGUTU. no. 2 (89). pp. 80-88. DOI: 10.53980/24131997_2023_2_80
3. Li Q., Liang G., Hu Y., Zuo Z. (2014) Numerical analysis on temperature rise of a concrete arch dam after sealing based on measured data // Mathematical Problems in Engineering. No 6, pp. 1-10. DOI:10.1155/2014/602818
4. Aniskina N.A, Chong Chyk Nguyen. (2020) The problem of temperature cracking in concrete gravity dams // Bulletin of MGSU. no. 3. pp. 380-398. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.380-398
5. Yerramala A., Ganesh Babu K. (2011) Transport properties of highvolume fly ash roller compacted concrete // Cement and Concrete Composites. no. 33, issue. 10. pp. 1057–1062. DOI:10.1016/j.cemconcomp.2011.07.010
6. Dolen T.P., Ibáñez-de-Aldecoa R., Eharz J.L., Dunstan M.R.H. (2003) Successful large RCC dams– what are the common features?//Proceedings of the fourth international symposium on roller compacted concrete(RCC)dams.no.2. pp. 127–137. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-17
7. Larsen O.A., Aleksandrova O.V., Narut V.V., Polozov A.A., Bakhrakh A.M. (2020) Study



of the properties of active mineral additives for use in hydraulic engineering // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. no. 8. pp. 8-14. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-8-8-17

8. Shane D., Mark T., Cheeseman C.R. (2010) Comparison of test methods to assess pozzolanic activity // Cement and Concrete Composites. no. 32 (2). pp. 121–127. DOI:10.1016/j.cemconcomp. 2009.10.008

9. Urkhanova L.A., Tsydypova A.T. (2018) Effect of silica sol on the physical and mechanical properties of polystyrene concrete // Construction materials. no. 1–2. pp. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-45-51>

10. Lesovik V.S., Zhernovoy F.E., Glagolev E.S. (2009) Use of natural perlite in the composition of mixed cements // Construction materials. no. 6. pp. 84–87. URL: <https://elibrary.ru/kuucdt?ysclid=m09bh8i6g321380846>

11. Hai T.H., Thuc L.V. (2017) The effect of splitting concrete placement on controlling thermal cracking in mass concrete // Journal of Science and Technology in Civil Engineering. vol. 11. issue 6. pp. 22–28. URL: <http://stce.nuce.edu.vn/index.php/en/article/view/932>

12. Hang X., Shi R., Dai H., Liu Q., Zhang X. (2019) Simulation and research on temperature field of taishan roller compacted concrete gravity dam // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. vol. 237. p. 032117. DOI: 10.1088/1755-1315/237/3/032117

13. Lkhasaranov S.A., Urkhanova L.A., Ivanov A.A., Smirnyagina N.N. (2024) Study of phase composition of composite binders for hydraulic concrete // Bulletin of VSGUTU. no. 2 (93). DOI 10.53980/24131997_2024_2_112

14. Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O., Sarkisov Y.S. (2020) Study of the properties of cement stone with a complex additive // Bulletin of TSUACE. vol. 22, no. 4. pp. 147–156. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-147-156

15. Г.К.Зарипова, Д.Б.Салимова. Исследование проблемы бетонных работ в гидротехническом строительстве. **“Сув ва ер ресурслари” аграр-гидромелиоратив илмий-оммабон журнал.** № 6(6), 2022г. – Бухоро: 125-135-стр. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=1xFax7AAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&sortby=pubdate&citation_for_view=1xFax7AAAAAJ:l7t_Zn2s7bgC

16. Г.К.Зарипова, Д.Б.Салимова. [Требования к бетонам гидротехнических сооружений.](#)



“Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science”. 2023/3/30. Том 3. № 3. 114-119-стр.

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=1xFax7AAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&sortby=pubdate&citation_for_view=1xFax7AAAAAJ:Zh0EY9V9P6UC