

**Ж.Н. Молдамуратов<sup>1,\*</sup>, В. Piatek<sup>2</sup>, Ш.М. Култаева<sup>1</sup>, Ж.А. Усенкулов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Жешувский технологический университет, Жешув, Польша

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

**Информация об авторах:**

Молдамуратов Жангазы Нуржанович – PhD, ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>, e-mail: zhanga\_m\_n@mail.ru

Piatek Bartosz – PhD, ассоциированный профессор, Жешувский технологический университет, Жешув, Польша

<https://orcid.org/0000-0001-5824-1892>, e-mail: piatek@prz.edu.pl

Култаева Шынар Маликовна – PhD, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-2409-1184>, e-mail: mk1610sh@gmail.com

Усенкулов Женисбек Амантаевич – кандидат технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-3404-1153>, e-mail: alem505@mail.ru

\*Автор корреспонденции: zhanga\_m\_n@mail.ru

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ  
НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ АБРАЗИВНОМУ ИСТИРАНИЮ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ**

**Аннотация.** *Представлены результаты экспериментального исследования влияния поверхностно-активных веществ и водоцементного соотношения на сопротивляемость абразивному истиранию гидротехнических бетонов. Проведены серии лабораторных испытаний и натурных обследований гидротехнических сооружений для определения влияния различных факторов на износостойкость гидротехнического бетона к абразивным воздействиям. Исследования проводились методом сравнения лабораторных испытаний на абразивность истирания бетонов и растворов. В качестве гидрофильной поверхностно-активной добавки в опытах использовалась сульфитно-спиртовая барда (ССБ), а в качестве гидрофобной – мылонафт. Структурные изменения свойств изучались методом электронно-микроскопического анализа. Установлено наличие зависимостей истираемости бетона от ряда факторов: водоцементного отношения и прочности, вида заполнителя, тонкости помола цемента, возраста образцов, применения добавок поверхностно-активных веществ, способа укладки.*

**Ключевые слова:** *поверхностно-активные вещества, гидротехнический бетон, цементный раствор, абразивность, истирание.*

**Введение**

Практике эксплуатации гидротехнических сооружений известно много случаев разрушения бетона этих сооружений донными наносами [1]. В гидротехнических сооружениях, расположенных на горно-предгорных участках рек, бетон может подвергаться разрушению в результате истирания или износа (т. е. совместного действия истирания и удара) наносами различной крупности [2].

Исследования морозостойкости, химической стойкости и других свойств бетона проведены довольно широко, а исследования износостойкости бетона в

данное время находятся на стадии изучения, чем и объясняется то обстоятельство, что ГОСТ на гидротехнический бетон не содержит требований к бетону с точки зрения сопротивляемости его на износ [3].

До настоящего времени для повышения износостойкости бетона обычно ограничиваются рекомендациями повысить его марку. Однако, как показывают опыты [4], эти рекомендации ничем не обоснованы. Установлено, что портландцемент одинаковой с пуццолановым цементом прочности имеет стойкость к истиранию значительно выше последнего [5]. Очевидно, что и бетоны на пуццолановом портландцементе окажутся менее стойкими к истиранию, чем бетоны на портландцементе [6].

Таким образом, проектирование трудноистираемого бетона не аналогично проектированию бетона заданной марки по прочности. Для получения бетона с повышенной стойкостью к истиранию необходима постановка специальных исследований [1-3].

Вопрос о необходимости подобных исследований неоднократно поднимался рядом ученых [7]. В отечественной и зарубежной литературе по вопросам истираемости бетонов и растворов можно встретить мнения отдельных исследователей, которые часто сильно разнятся и даже противоречат друг другу [8-11].

Так как стандартные методы испытания бетонов и растворов на истирание отсутствуют, то понятны попытки связать величину сопротивления бетона и раствора истиранию с такими величинами, определение которых хорошо известно и стандартизировано [12]. Особенно заманчиво было установить связь между показателями прочности и истираемости цемента и бетона [7-10]. Делались попытки связать сопротивление цементного камня и бетона истиранию его плотностью [9].

Исследователи [6-8] при изучении свойств цементов исходят из положения о наличии зависимости физико-механических свойств цемента от его минералогического состава. С этой точки зрения они рассматривают способность цементов того или иного минералогического состава сопротивляться истиранию.

Установлено, что наиболее стойкими против истирания являются алитовые цементы, а наименьшую стойкость показывают белитовые цементы. Что касается  $C_3A$  и  $C_4AF$ , то существенного влияния их количества на истираемость цементов не наблюдается [12, 16].

К другим выводам пришел [15], который считает, что  $C_3A$  оказывает отрицательное влияние на истираемость цементов,  $C_4AF$  положительное,  $C_3S$  и  $C_2S$  не оказывают решающего влияния на показатели истираемости.

Существуют также разногласия по вопросу о том, в какой степени изменяется стойкость бетона к истиранию по мере увеличения расхода цемента на  $1\text{ м}^3$  бетона.

Многие исследователи сходятся во мнении, что при увеличении водоцементного отношения сопротивление истиранию бетона падает. Однако между истираемостью бетона и водоцементным отношением не существует никакой зависимости [6-11].

## Материалы и методы

Образцы из цементного раствора и бетона для испытания на истираемость готовились в виде полых цилиндров наружного диаметра 314 мм, внутреннего 228 мм, толщиной 44 мм и высотой 214 или 143 мм. Сопутствующие образцам на истирание кубики на сжатие изготавливались размерами 10×10×10 см. Образцы из раствора и бетона готовились вручную, после чего подвергались вибрации на виброплощадке. Затем образцы в формах помещались во влажную среду и через 48 часов расформовывались.

Образцы из раствора готовились пластичной консистенции с осадкой малого конуса 2,5 см, подвижность бетонной смеси соответствовала осадке стандартного конуса 2,5 – 3,5 см. За 2 дня до испытания образцы помещались в воду для насыщения.

Укладка штыкованной бетонной смеси производилась послойно, в формы для образцов высотой 214 мм в 3 слоя, высотой 143 мм – в 2 слоя с проштыковкой каждого слоя 100 раз.

Кубики на сжатие готовились по стандартной методике. При разработке методики испытаний образцов необходимо было решить ряд вопросов, а именно: количественную оценку истираемости; выбор и дозировку абразива; период истирания и количество периодов; количество образцов-близнецов.

Основные исследования истираемости растворов и бетонов проведены на портландцементе Шымкентского завода без активных минеральных добавок и добавок-наполнителей, активностью в 28 дней 462 кг/см<sup>2</sup>, с удельной поверхностью 2740 см<sup>2</sup>/г. В дополнительных опытах использован портландцемент Карагандинского завода, активностью в 28 дней 431 кг/см<sup>2</sup>, с удельной поверхностью 3450 см<sup>2</sup>/г.

В исследованиях для раствора и бетона применялись песок и гравий, отсеянные из естественной смеси песчано-гравийных отложений реки Сырдария. В качестве мелкозернистого заполнителя использован песок, щебень получен дроблением сарыагашского гравия.

Процессы, превосходящие при абразивном истирании растворов и бетонов, могут быть представлены следующим образом. Зерна абразива имеют шероховатые поверхности. При движении происходит зацепление выступов шероховатости абразива о выступы шероховатости истираемого материала. Срыв с зацеплений обоих хрупких тел сопровождается срезом выступов тела или абразива.

Бетон (раствор) является неоднородным телом, состоящим из твердых минеральных частиц, распределенных в цементном камне.

В первые несколько дней твердения цементный камень представляет собой изотропную недифференцированную массу с многочисленными вкрапленными зернами неразложившегося клинкера. Новообразования находятся в коллоидном состоянии. Процесс твердения сопровождается уплотнением геля и кристаллизацией гидроалюмината кальция и гидрата окиси кальция.

К месячному сроку твердения в коллоидной массе наблюдается большое количество рассеянных в ней субмикроскопических и очень мелких кристаллов,

а также неразложившихся зерен клинкера. Однако преобладающее содержание геля в цементном камне сохраняется очень долго.

Таким образом, цементный камень в бетоне в основном представляет собой аморфную массу гидросиликата кальция, в которую погружены обломки непрореагировавших цементных зерен. Вся масса пронизана тонкими игольчатыми кристаллами гидроалюмината кальция и кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Цементный камень при длительном твердении в основном состоит из геля гидросиликата кальция (около 60%) и кристаллов гидрата окиси кальция (не менее 15%) [9].

Установлено, что твердость кристаллического гидрата окиси кальция невелика. В шкале твердости Мооса он занимает 3-4 место. Еще меньшую твердость имеет гелеобразная масса гидросиликата кальция [10]. Частицы песка абразива, представленные, главным образом, кварцем и полевым шпатом, имеют твердость в пределах 6-7.

Выступы зерен абразива-песка, как более твердые, при движении по поверхности цементного камня «пропахивают» мягкий гель гидросиликата кальция и обламывают кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , и иглы гидроалюмината кальция, сами получая незначительные повреждения.

Механический процесс истирания сопровождается растворением в воде обнаженных кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Параллельно с описанными процессами в более глубоких «зонах предразрушения», очевидно, происходит ослабление цементного камня «расклинивающим действием водных пленок» в «микротрещинах» материала.

В пуццолановых портландцементных добавках взаимодействие между гидравлической добавкой и гидратом извести при обыкновенных температурах протекает довольно медленно. В первые недели твердения гидравлическая добавка из насыщенного раствора поглощает гидрат извести, который находится в коллоидально-дисперсном состоянии. При этом она превращается в набухающую массу, имеющую коллоидальный характер. Параллельно с этим, а затем более энергично идет связывание извести активным кремнеземом в новое химическое соединение кристаллического состояния, которое в общем виде может быть представлено выражением  $m\text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ . Процесс этот идет месяцами [12]. Некоторые исследователи полагают, что в течение года гидравлическая добавка связывает не более 20%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Таким образом, в течение довольно длительного времени твердения пуццоланового портландцемента в его составе по сравнению с обычным портландцементом будет находиться повышенное содержание коллоидальных масс, что отрицательно отразится на его стойкости к истиранию. Этим объясняются результаты исследований, по которым истираемость цементных растворов на цементе с добавками 25% опоки во все сроки от 28 дней до 1 года оказалась в 1,7 – 2,0 раза больше, чем на портландцементе без добавок [12, 13].

## Результаты и обсуждения

Основное внимание при исследованиях было уделено вопросу истираемости бетонов. Исследовано влияние на истираемость растворов водоцементного отношения, прочности, пористости и возраста образцов. Результаты опытов по выявлению зависимости истираемости образцов из раствора от В/Ц, прочности и возраста приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость истираемости образцов из цементного раствора от водоцементного отношения, прочности и возраста

В/Ц	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>			Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	Истираемость, кг/см <sup>2</sup> *час		
	28 сут.	90 сут.	198 сут.		28 сут.	90 сут.	198 сут.
0,50	290	-	-	34	1,00	-	-
0,65	235	339	422	31	1,70	0,66	0,24
0,80	157	-	-	21	4,00	-	-

Как видно из таблицы 1, истираемость с уменьшением В/Ц падает. При этом увеличение прочности происходит менее интенсивно, чем понижение истираемости.

В таблице 2 приведены результаты испытаний сопротивляемости истиранию вибрированных бетонов различного вида и состава, а для сравнения – и раствора состава 1:3 (в возрасте 28 дней). Из таблицы видно, что для всех разновидностей бетона падение прочности за счет повышения В/Ц приводит к увеличению истираемости бетонных образцов.

Вследствие повышения В/Ц в бетоне усиливается водоотделение. Часть воды выделяется на поверхности бетона (раствора), другая часть скопится под зернами заполнителя. При испарении воды и отсасывании ее внутрь зерен цемента остаются поры и капилляры, которые ослабляют цементный камень бетона (раствора). В процессе истирания, по мере разрушения цементного камня, зерна заполнителя обнажаются. В тот момент, когда сила потока, стремящаяся сорвать частицу заполнителя, превысит силу сцепления зерна с цементным камнем, произойдет отрыв и унос частицы потоком.

Повышение В/Ц способствует скоплению воды у зерен заполнителя, чем облегчается их отрыв от массы бетона.

Таким образом, с увеличением В/Ц, падение прочности цементного камня и уменьшение сил адгезии, удерживающих зерна заполнителя, и являются основными причинами падения стойкости растворов и бетонов против истирания.

Из данных таблицы 2 следует, что бетон на мелкозернистом песке показал более низкую стойкость к истиранию, чем бетон той же прочности на песке нормальной крупности.

Опыты, проведенные на образцах из раствора, показали, что с увеличением возраста образцов повышается их стойкость к истиранию. По-видимому, аналогичные закономерности должны существовать и в бетоне.

Таблица 2 – Результаты испытаний бетонов и растворов на истираемость

№	Вид бетона или раствора	В/Ц	Расход цемента на 1м <sup>2</sup> бетона (раствора)	Отношение объема (площади) цементного теста к объему (площади) заполнителей	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Истираемость, кг/см <sup>2</sup> *час
1	Бетон на цементе Шымкентского завода, песке и гравии из реки Сырдария	0,55	324	0,41	307	0,29
		0,65	269	0,37	245	0,45
		0,75	227	0,33	170	0,72
2	Бетон на цементе Шымкентского завода, гравии и мелкозернистом песке из реки Сырдария	0,55	366	0,48	298	0,44
		0,65	302	0,43	193	0,65
		0,75	256	0,39	114	0,97
3	Бетон на цементе Шымкентского завода, песке и гравии из реки Сырдария и щебне	0,55	407	0,56	340	0,11
		0,65	312	0,44	278	0,14
		0,75	272	0,41	189	0,29
4	Бетон на цементе Шымкентского завода, песке и гравии из реки Сырдария	0,55	324	0,41	319	0,13
		0,65	269	0,37	213	0,19
		0,75	227	0,33	178	0,46
5	Раствор состава 1:3 на цементе Шымкентского завода и песке из реки Сырдария	0,55	488	0,78	280	0,95
		0,65	465	0,87	235	1,70
		0,75	445	0,96	177	2,80

Примечание: для всех видов и составов бетона пластичность смеси выдерживалась постоянной. Пластичность раствора с повышением В/Ц увеличивалась.

При обследовании гидротехнических сооружений, подвергающихся воздействию потока с наносами бетоны молодого возраста имеют весьма низкую стойкость к износу (рис. 1).

В лабораторных условиях испытаны образцы бетона, изготовленные на портландцементе Шымкентского завода и заполнителях из реки Сырдария, при В/Ц=0,65, которые в различном возрасте имели следующие показатели истираемости (табл. 3).

Таблица 3 - Показатели истираемости образцов

Возраст бетона в днях	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Истираемость, кг/см <sup>2</sup> *час
7	47	11,6
28	245	0,45
105	330	0,26
180	395	0,22



Рисунок 1 – Процесс истирания и абразивные повреждения поверхности гидротехнического бетона на оросительных каналах в предгорной зоне Туркестанской области [материал авторов]

Увеличение сопротивляемости истиранию с возрастом в бетонах, как и в растворах, идет более интенсивно, чем рост прочности. Особенно низкую стойкость к истиранию бетон показывает в первые дни твердения, когда цементный камень представлен, в основном, легко истираемой коллоидной массой с втиснутыми в неё многочисленными зернами неразложившегося клинкера.

Лабораторные опыты показали, что вибрированный бетон имеет истираемость  $0,45 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{час}$  и предел прочности при сжатии –  $215 \text{ кг/см}^2$ , в то время как истираемость штыкованного бетона того же состава оказалась равной  $0,25 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{час}$  и предел прочности при сжатии  $220 \text{ кг/см}^2$ .

Эти опыты, однако, не говорят о том, что в частях сооружений, подвергающихся истиранию наносами, следует избегать укладки бетонной смеси вибраторами. При вибрировании ослабляется только верхний слой, а не вся масса бетона. Более глубокие слои, наоборот, в результате вибрирования получают повышенную плотность, значит, и лучшую стойкость к истиранию.

Чтобы избежать быстрого повреждения поверхностного слоя вибрированного бетона в результате истирания его наносами, необходимо отвибрированную поверхность бетона подвергать специальной «закалке» (вакуумирование, применение абсорбирующей опалубки и т.п.).

Известно, что повышение тонкости помола цемента способствует уменьшению водоотделения и увеличивает усадку. В связи с этим, в бетоне на цементе тонкого помола наблюдается большая суммарная адгезия. Из-за лучшего защемления зерен заполнителя в результате усадочных явлений и обеспечивается лучший контакт по поверхности раздела цементный камень - заполнитель, за счет уменьшения количества пустот под зернами заполнителя, образующихся при выделении избыточной воды.

#### *Введение добавок поверхностно-активных веществ*

Изучение влияния добавок поверхностно-активных веществ на стойкость бетонов и растворов к истиранию являлось основной задачей настоящей работы. Серия опытов, проведенная над бетонами с добавками поверхностно-активных веществ, дала возможность установить наличие этого влияния.

В качестве гидрофильной поверхностно-активной добавки в опытах использовалась сульфитно-спиртовая барда (ССБ), в качестве гидрофобной мылонафт (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние добавок поверхностно-активных веществ на стойкость бетонов против истирания

№	Вид добавки	Расход цемента на 1м <sup>3</sup> бетона	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Истираемость, кг/см <sup>2</sup> *час
1 2 3	В/Ц=0,55	324 281 303	- - -	0,29 0,22 0,23
	Без добавки			
	ССБ			
4 5 6	В/Ц=0,65	324 281 303	245 181 168	0,45 0,27 0,28
	Без добавки			
	ССБ			
7 8 9	В/Ц=0,75	227 223 218	- - -	0,72 0,38 0,51
	Без добавки			
	ССБ			
	Мылонафт			

Результаты опытов (табл. 4) показывают, что введение добавок ССБ и мылонафта при неизменных В/Ц и пластичности смеси приводит к экономии цемента и повышению сопротивляемости бетонов истиранию.



Исследование микроструктуры бетонных образцов выполнялись на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM7500 с приставкой рентгеноспектрального анализа (рис. 2). Полученные результаты коррелируются с вышеприведенными экспериментальными данными.

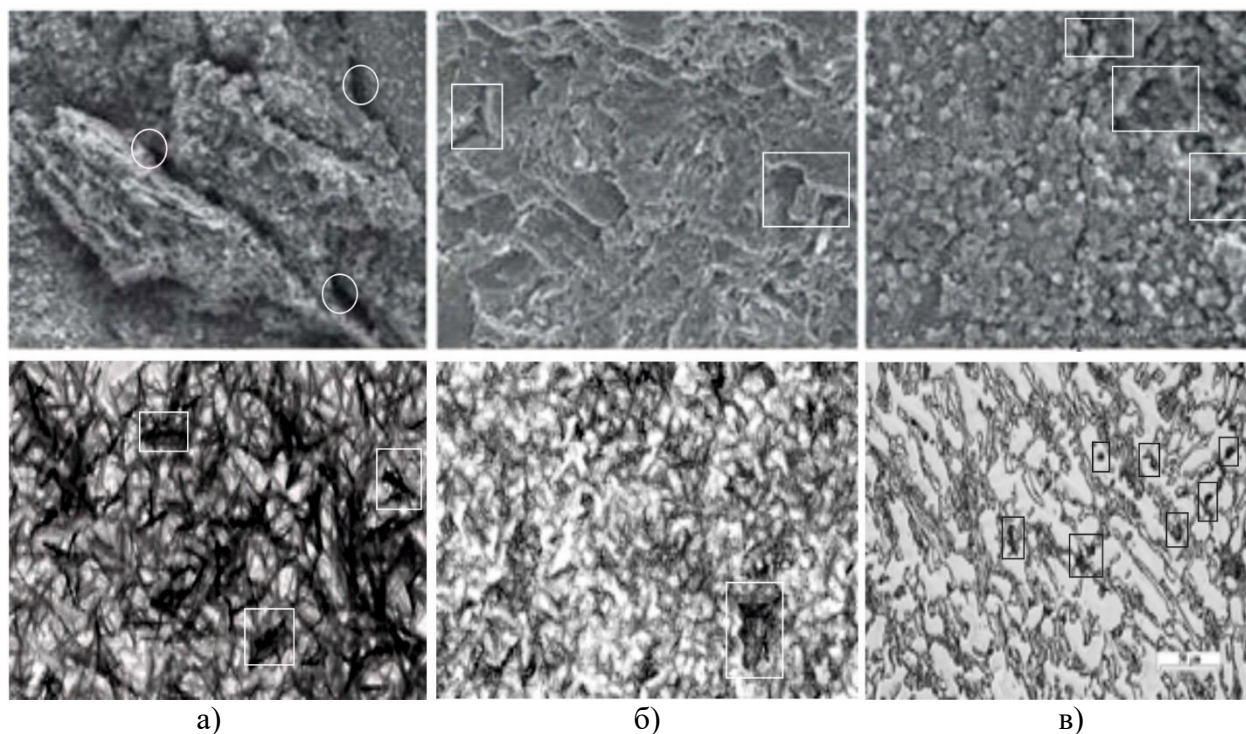


Рисунок 2 – Микроструктура образцов бетона:  
*а – без добавки; б – с добавкой ССБ; в – с добавкой мылонафта, масштаб: 60 мкм*  
 [материал авторов]

Введение добавок поверхностно-активных веществ способствует ускоренному созданию мелкокристаллических новообразований, более стойких к истиранию, чем гель, и, кроме того, снижает водоцементное отношение.

Наряду с положительным влиянием добавок поверхностно-активных веществ, имеются и отрицательные явления (адсорбционное, воздухововлекающее).

Все добавки поверхностно-активных веществ, особенно так называемые воздухововлекающие, способствуют вовлечению в цементное тесто мелких пузырьков воздуха. После затвердевания цементного камня раствора или бетона в нем остается большее количество мелких замкнутых пор-вакуолей, которые уменьшают контакт цементного камня с заполнителями из-за наличия на поверхности последних пузырьков воздуха.

Указанное обстоятельство отрицательно сказывается на стойкости к истиранию цементных бетонов (растворов). С другой стороны, замкнутые поры уменьшают капиллярный подсос, что снижает размягчение, следовательно, и истирание цементного камня.

Как показывают опытные данные, по сравнению с положительным влиянием добавок поверхностно-активных веществ на стойкость бетонов к истиранию отрицательное действие их менее существенно.

### *Влияние скорости движения абразива и его крупности на интенсивность истирания образцов*

При лабораторной проверке испытаниям подверглись совершенно одинаковые по всем показателям образцы бетона. В одном случае скорость вращения ротора составляла 960 об/мин, что соответствовало движению уголковых лопастей со скоростью, равной 10,6 м/сек, во втором случае скорость вращения ротора составила 1070 об/мин, что соответственно для наиболее удаленных точек лопасти составило 11,1 м/сек.

Таким образом, скорость движения абразива увеличилась в 1,1 раза. Считая, что скорость движения абразива будет с известным приближением меняться пропорционально изменению скоростей движения, соприкасающихся с ним лопастей ротора, получаем усиление степени истирания образцов с 0,45 кг/м<sup>2</sup>\*час в первом случае до 0,51 кг/м<sup>2</sup>\*час – во втором. Следовательно, степень истирания образцов увеличилась в 1,2 раза (рис. 3).



Рисунок 3 – Образцы бетонов, используемые при испытании на истирание (лабораторный круг истирания ЛКИ-3) [материал авторов]

Из таблицы 5 следует, что применение абразива меньшей крупности приводит к уменьшению истирания образцов. Это объясняется тем, что частицы мелкого песка по сравнению с крупным обладают меньшей массой, что вызывает ослабление разрушающей способности потока воды с песком.

Таблица 5 – Влияние крупности и формы зерен абразива на истираемость образцов из раствора

Характеристика песка-абразива	Крупность песка в мм	Истираемость образцов, кг/м <sup>2</sup> *час
Песок Сарыагашского карьера	2,50-0,75	1,77
Песок Жетысайского карьера	1,20-0,60	1,25
Песок лещадной формы, полученный от дробления гравия Жетысайского карьера	1,20-0,60	0,66

Результаты проведенной работы показывают, что истираемость бетонов и растворов не является каким-то специфическим их свойством, находящимся вне зависимости от других свойств, как это предполагают отдельные исследователи.

Стойкость к истиранию тесно связана с другими характеристиками бетона (раствора) и, прежде всего, его плотностью и прочностью.

Экспериментальными исследованиями, проведенными в лабораторных условиях и подтвержденными натурными обследованиями гидротехнических сооружений, установлено, что в процессе истирания цементных растворов и бетонов твердым абразивом в присутствии воды разрушению в первую очередь подвергается цементный камень, связывающий в одно целое зерна заполнителя.

Так как цементный камень, в основном, состоит из геля гидросиликата кальция и кристаллов гидрата окиси кальция, твердость которых невелика, зерна абразива при своем движении «пропахивают» мягкий гель и срезают кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Механическим процессам истирания сопутствуют химические процессы растворения в воде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

По мере смыва продуктов разрушения водой обнажаются новые слои цементного камня, и истирание идет дальше. Плотные зерна наполнителя в результате истирания цементного камня постепенно освобождаются от связи и выпадают на массы бетона.

Однако стойкость к истиранию бетона (раствора) определяется не только стойкостью цементного камня, но и суммарной адгезией его к зернам заполнителя, а также состоянием поверхности и стойкостью к истиранию самих заполнителей.

### **Заключение**

При проектировании бетона, с повышенной сопротивляемостью истиранию, необходимо руководствоваться следующими соображениями:

1. В бетонах (растворах), целесообразно применять цементы повышенной тонкости помола.

2. В качестве заполнителей необходимо использовать песок и щебень из плотных и прочных пород. Применение гравия не рекомендуется.

3. Понижение В/Ц в бетоне (растворе) при постоянной подвижности смеси приводит к повышению прочности цементного камня, а, следовательно, и его стойкости против истирания. Кроме того, оно уменьшает количество пустот под зернами заполнителя, что увеличивает суммарную адгезию цементного камня к заполнителю и затрудняет отрыв его зерен от массы бетона (раствора) при истирании. Для понижения В/Ц целесообразно применение в бетонах добавок поверхностно-активных веществ и пластификаторов.

4. Стойкость бетона (раствора) к истиранию во времени растет более интенсивно, чем прочность. В то же время бетоны раннего возраста (7-10 дней) совершенно нестойки к истиранию. Следовательно, во всех случаях, когда это возможно, необходимо производить укладку бетона в части сооружений, подвергающихся истирающему воздействию, в первую очередь.

5. Укладка бетонной смеси вибрированием способствует получению плотного бетона. Однако поверхностные слои такого бетона оказываются слабыми в результате выделения при вибрировании воды и воздуха. Для получения вибри-

рованных бетонов с поверхностью, обладающей повышенной стойкостью к истиранию, ее необходимо подвергать вакуумированию или использовать абсорбирующие щиты.

Изложенное выше дает основание предполагать, что вибропрессование жестких смесей явится наиболее совершенным технологическим приемом для получения бетонных облицовочных плит, обладающих высокой сопротивляемостью истиранию.

#### **Выражение благодарности**

Исследование было проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках научного проекта №AP13268964.

#### **Литература:**

- 1 Jakiyayev B.D., Moldamuratov Z.N., Bayaliyeva G.M., Ussenbayev B.U., Yeskermessov Z.E. Study of local erosion and development of effective structures of transverse bank protection structures. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2021, 9(3), 457–473. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i3.2191>
- 2 Moldamuratov Z.N., Iglukov A.A., Sennikov M.N., Madaliyeva E.B., Turalina M.T. Irrigation channel lining using shotcrete with additives. *Nanotechnologies in Construction*. 2022, 14(3), 227–240. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-227-240>
- 3 Moldamuratov Z.N., Imambayeva R.S., Imambaev N.S., Iglukov A.A., Tattibayev S.Z. Polymer concrete production technology with improved characteristics based on furfural for use in hydraulic engineering construction. *Nanotechnologies in Construction*. 2022, 14(4), 306–318. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-4-306-318>
- 4 Moldamuratov Zh.N., Asylbekov A.Sh. Cross-section channels of hydraulically and statically stable shape. *Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction*. 2022, 86(4), 199–209. <https://doi.org/10.51488/1680-080x/2022.4-20>
- 5 Sennikov M.N., Omarova G.E., Moldamuratov Z.N. Study of the development of soil in the formation of channels hydraulic and static stability of cross-sectional shapes. *World Applied Sciences Journal*. 2014, 30(1), 99–104. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.30.01.14008>
- 6 Liu Q., Li L., Andersen L.V., Wu M. Studying the abrasion damage of concrete for hydraulic structures under various flow conditions. *Cement and Concrete Composites*. 2023, 135. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104849>
- 7 Qin Q., Meng Q., Yang H., Wu W. Study of the anti-abrasion performance and mechanism of coral reef sand concrete. *Construction and Building Materials*. 2021, 291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123263>
- 8 Momber A.W. Effects of erodent flow energy and local exposure time on the erosion of cement-based composites at high-speed hydro-abrasive flow. *Wear*. 2017, 378–379, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.120>
- 9 Liu Y.W. Improving the abrasion resistance of hydraulic-concrete containing surface crack by adding silica fume. *Construction and Building Materials*. 2007, 21(5), 972–977. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.03.001>
- 10 Grdic Z.J., Curcic G.A.T., Ristic N.S., Despotovic I.M. Abrasion resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*. 2012, 27, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.044>
- 11 Liu Y.W., Yen T., Hsu T.H. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand, *Cement Concr. Res.* 2006, 36, 1814–1820. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.018>
- 12 Dandapat R., Deb A. A probability based model for the erosive wear of concrete by sediment bearing water, *Wear*. 2016, 350–351, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.01.012>

- 13 Castro-Fresno García D., Polanco J.A., Thomas C. Abrasive wear evolution in concrete pavements, *Road Mater. Pavement Des.* 2012, 13, 534–548. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.694094>
- 14 Horszczaruk E. Mathematical model of abrasive wear of high performance concrete. *Wear.* 2008, 264(1–2), 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.008>
- 15 Acharya P.K., Patro S.K. Strength, sorption and abrasion characteristics of concrete using ferromagnetic ash (FCA) and lime as partial replacement of cement. *Cement and Concrete Composites.* 2016, 74, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.08.010>
- 16 García A., Castro-Fresno D., Polanco J. A., Thomas C. Abrasive wear evolution in concrete pavements. *Road Materials and Pavement Design.* 2012, 13(3), 534–548. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.694094>

#### References:

- 17 Jakiyayev B.D., Moldamuratov Z.N., Bayaliyeva G.M., Ussenbayev B.U., Yeskermessov Z.E. Study of local erosion and development of effective structures of transverse bank protection structures. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences.* 2021, 9(3), 457–473. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i3.2191>
- 18 Moldamuratov Z.N., Iglukov A.A., Sennikov M.N., Madaliyeva E.B., Turalina M.T. Irrigation channel lining using shotcrete with additives. *Nanotechnologies in Construction.* 2022, 14(3), 227–240. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-227-240>
- 19 Moldamuratov Z.N., Imambayeva R.S., Imambaev N.S., Iglukov A.A., Tattibayev S.Z. Polymer concrete production technology with improved characteristics based on furfural for use in hydraulic engineering construction. *Nanotechnologies in Construction.* 2022, 14(4), 306–318. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-4-306-318>
- 20 Moldamuratov Zh.N., Asylbekov A.Sh. Cross-section channels of hydraulically and statically stable shape. *Bulletin of Kazakh Leading Academy of Architecture and Construction.* 2022, 86(4), 199–209. <https://doi.org/10.51488/1680-080x/2022.4-20>
- 21 Sennikov M.N., Omarova G.E., Moldamuratov Z.N. Study of the development of soil in the formation of channels hydraulic and static stability of cross-sectional shapes. *World Applied Sciences Journal.* 2014, 30(1), 99–104. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.30.01.14008>
- 22 Liu Q., Li L., Andersen L.V., Wu M. Studying the abrasion damage of concrete for hydraulic structures under various flow conditions. *Cement and Concrete Composites.* 2023, 135. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104849>
- 23 Qin Q., Meng Q., Yang H., Wu W. Study of the anti-abrasion performance and mechanism of coral reef sand concrete. *Construction and Building Materials.* 2021, 291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123263>
- 24 Momber A.W. Effects of erodent flow energy and local exposure time on the erosion of cement-based composites at high-speed hydro-abrasive flow. *Wear.* 2017, 378–379, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.120>
- 25 Liu Y.W. Improving the abrasion resistance of hydraulic-concrete containing surface crack by adding silica fume. *Construction and Building Materials.* 2007, 21(5), 972–977. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.03.001>
- 26 Grdic Z.J., Curcic G.A.T., Ristic N.S., Despotovic I.M. Abrasion resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers. *Construction and Building Materials.* 2012, 27, 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.044>
- 27 Liu Y.W., Yen T., Hsu T.H. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand, *Cement Concr. Res.* 2006, 36, 1814–1820. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.018>
- 28 Dandapat R., Deb A. A probability based model for the erosive wear of concrete by sediment bearing water, *Wear.* 2016, 350–351, 166–181. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.01.012>

- 29 Castro-Fresno García D., Polanco J.A., Thomas C. Abrasive wear evolution in concrete pavements, *Road Mater. Pavement Des.* 2012, 13, 534–548. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.694094>
- 30 Horszczaruk E. Mathematical model of abrasive wear of high performance concrete. *Wear.* 2008, 264(1–2), 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.008>
- 31 Acharya P.K., Patro S.K. Strength, sorption and abrasion characteristics of concrete using ferromagnetic ash (FCA) and lime as partial replacement of cement. *Cement and Concrete Composites.* 2016, 74, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.08.010>
- 32 García A., Castro-Fresno D., Polanco J. A., Thomas C. Abrasive wear evolution in concrete pavements. *Road Materials and Pavement Design.* 2012, 13(3), 534–548. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.694094>

**Ж.Н. Молдамұратов<sup>1,\*</sup>, В. Piątek<sup>2</sup>, Ш.М. Құлтаева<sup>1</sup>, Ж.А. Үсенқұлов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Жешув технологиялық университеті, Жешув, Польша

<sup>3</sup>М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

**Автор туралы ақпарат:**

Молдамұратов Жанғазы Нұржанұлы - PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>, e-mail: zhanga\_m\_n@mail.ru

Piatek Bartosz – PhD, қауымдастырылған профессор, Жешув технологиялық университеті, Жешув, Польша

<https://orcid.org/0000-0001-5824-1892>, e-mail: piatek@prz.edu.pl

Құлтаева Шынар Мәлікқызы – PhD, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан <https://orcid.org/0000-0002-2409-1184>, e-mail: mk1610sh@gmail.com

Үсенқұлов Жеңісбек Амантайұлы – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-3404-1153>, e-mail: alem505@mail.ru

## **ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ БЕТОНДАРДЫҢ АБРАЗИВТІ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІНЕ БЕТТІК БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРДЫҢ ӘСЕРІ**

**Аңдатпа.** Гидротехникалық бетондардың абразивті тозуға төзімділігіне беттік белсенді заттар мен су-цемент қатынасының әсерін эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Гидротехникалық бетонның абразивті әсерлерге тозуға төзімділігіне әртүрлі факторлардың әсерін анықтау үшін бірқатар зертханалық сынақтар және гидротехникалық құрылымдарды далалық зерттеу жүргізілді. Зерттеулер бетондар мен ерітінділердің абразивтілігінің зертханалық сынақтарын салыстыру арқылы жүргізілді. Гидрофильді беттік белсенді қоспа ретінде тәжірибелерде сульфитті-спиртті барда (ССБ), ал гидрофобты сабын қоспасы қолданылды. Құрылымдық өзгерістер электронды микроскопиялық талдау әдісімен зерттелді. Бетонның абразивтілігінің бірқатар факторларға тәуелділігі анықталды: су-цемент қатынасы мен беріктігі, толтырғыштың түрі, цементті ұнтақтаудың майда болуы, үлгілердің жасы, беттік белсенді заттардың қоспаларын қолдану, төсеу әдісі.

**Түйін сөздер:** беттік белсенді заттар, гидротехникалық бетон, цемент ерітіндісі, абразивтілік, мүжілу (тозу).

**Zh.N. Moldamuratov<sup>1,\*</sup>, B. Piatek<sup>2</sup>, S.M. Kultayeva<sup>1</sup>, Z.A. Ussenkulov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

<sup>3</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

**Information about author:**

Moldamuratov Zhangazy Nurzhanovich – PhD, Associate Professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4573-1179>, e-mail: [zhanga\\_m\\_n@mail.ru](mailto:zhanga_m_n@mail.ru)

Piatek Bartosz – PhD, Associate Professor, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

<https://orcid.org/0000-0001-5824-1892>, e-mail: [piatek@prz.edu.pl](mailto:piatek@prz.edu.pl)

Kultayeva Shynar Malikovna – PhD, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan <https://orcid.org/0000-0002-2409-1184>, e-mail: [mk1610sh@gmail.com](mailto:mk1610sh@gmail.com)

Ussenkulov Zhenisbek Amantayevich – Candidate of Technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-3404-1153>, e-mail: [alem505@mail.ru](mailto:alem505@mail.ru)

## **THE EFFECT OF SURFACTANTS ON THE RESISTANCE TO ABRASIVE ABRASION OF HYDRAULIC CONCRETE**

**Abstract.** *The effect of surfactants and water-cement ratio on abrasion resistance of hydraulic concrete are presented. A series of laboratory tests and field surveys of hydraulic structures were carried out to determine the effect of various factors on wear resistance of hydraulic concrete to abrasive effects. Studies were carried out by comparison of laboratory tests for abrasion of mortar and concrete. Sulfite-alcohol bard (SAB) was used as a hydrophilic surface-active additive and as a hydrophobic soap. Structural changes of properties were studied by electron microscopic analysis. The presence of dependencies of the abrasion of concrete on several factors was established: water-cement ratio and strength, the type of filler, the fineness of cement grinding, the age of the samples, the use of surfactant additives, and the method of laying.*

**Keywords:** *surfactants, hydraulic concrete, cement mortar, abrasiveness, abrasion.*