

Активированная вода – фактор повышения прочности бетонов

Е.С. ШИТИКОВ, канд. техн. наук, ООО «НПП ПОЛИГРАН», Калининград;

Е.В. ГОРДЕЕВА, зав. сектором, АО ЦНИИС, Москва

Аннотация

Представлены результаты исследований влияния предварительной подготовки воды перед ее подачей в сухую бетонную смесь. Установлено, что предварительная обработка воды путем ее активации в специальных устройствах позволяет получить прирост прочности цементных растворов, мелкозернистых и тяжелых бетонов и снизить расход пластифицирующих добавок.

Ключевые слова

Активированная вода, вода затворения, подготовка воды, прочность, сохраняемость

Abstract

The article contains the findings of investigation concerning the influence of preliminary water treatment before its application in dry concrete mix. It is stated, that the preliminary water treatment by its activation in special devices allows to get the gain in strength of concrete mixes, fine grain concrete and heavy weight concrete and reduce the demand of water reducing admixes.

Keywords

Activated water, mixing water, storage property, strength, water treatment

Вода и цемент – два главных активных компонента бетонных смесей. От их взаимодействия зависят основные строительно-технические свойства бетонов. В этой связи ГОСТ 26633–2015 устанавливает требования к материалам для бетонов и, в частности, к воде и цементу, водоцементному отношению (В/Ц) для бетонов, предназначенных для различных областей строительства. Ранее проведенными исследованиями [1–7] была установлена эффективность активации воды различными методами: механическим (посредством высокоскоростных кавитирующих мешалок), магнитной обработкой, воздействием электромагнитных волн, акустическим воздействием, акустически-кавитационным воздействием, гидродинамически-кавитационным воздействием на степень гидратации цемента, а следовательно, на структуру и свойства цементного камня и бетона.

В период 2007–2018 гг. были проведены исследования по дальнейшему повышению эффективно-

сти активации воды в устройствах, реализующих акустический и гидродинамически-кавитационный способы активации.

Для этой цели использовались устройства нескольких типов:

- проточный лоток со свободной верхней границей движущегося слоя воды и с плоскими пьезокерамическими излучателями ультразвуковых колебаний, снабженными регуляторами частоты и мощности излучения, с пропускной способностью до 700 л/ч;
- проточные аппараты с принудительно вращающимся рабочим элементом – типа «ротор-статор», в которых в потоке воды возникают ультразвуковые колебания, сопровождающиеся кавитационными явлениями вследствие периодического открытия и закрытия протока при совмещении или несовмещении отверстий во вращающемся роторе и неподвижном статоре, с пропускной способностью до 24 м³/ч [8, 9];
- проточные устройства с неподвижными рабочими элементами блочно-модульного типа, в частности, гидродинамические смесители [10, 11], в которых исходный поток воды делится на два-три потока, взаимодействующих затем во встречных или перпендикулярных направлениях в элементах устройств, с пропускной способностью одного рабочего блока до 2 м³/ч.

Всего за более чем 10 лет исследований испытаны десятки образцов портландцементов марок ПЦ 500 Д0, ПЦ 500Д0-Н, СЕМ-1 42,5 и СЕМ-1 52,5, а также ПЦ 400 и ПЦ 400 Д20 от различных производителей – Белгородского, Старооскольского, Вольского, Мальцовского, Новороссийского, Горнозаводского, Себряковского, Щуровского, Спасского, Якутского, Воскресенского (Россия), Донецкого и Балаклейского (Украина) заводов, а также недавно появившихся на рынке строительных материалов – портландцементов от ООО «Хольсим (Рус) СМ» (новый Щуровский) и ООО «ХайдельбергЦемент».

Эксперименты проводились с цементными растворами (цементным тестом «цемент-вода») при В/Ц = 0,4–0,5, с мелкозернистыми бетонами (цемент-песок-вода) при соотношениях П:Ц = 1,5–3,0 и с тяжелыми бетонами (цемент + песок + щебень + вода),

характерными для транспортного строительства, при соотношениях компонентов Ц:П:Щ = 1:(1,2–1,8):(1,7–2,2).

Песок использовался речной по ГОСТ 8736–2014, ГОСТ 26633–2015 со значениями $M_{кр} = 2,1–2,3$ Сычевского и Мансуровского карьеров.

Щебень гранитный – по ГОСТ 8267–93, ГОСТ 26633–2015 крупностью от 5 до 20 мм Приозерского (АО «ГранитКузнечное») и Каменногорского карьеров.

Кроме того, в работе применялись пластифицирующие добавки:

- технический лигносульфонат марки ЛСТ-Е, в основном, Соликамского ЦБК и Сокольского ЦБК (в количестве 0,2–0,3% от массы цемента);

- суперпластификатор С-3, чаще всего – от АО ГК «Полипласт» (в количестве 0,4–0,55% от массы цемента);

- поликарбоксилатные гиперпластификаторы различных марок от фирм ООО «Зика» (Концерн Sika (Швейцария)), Thinkhigh (Китай) и др. (в количестве согласно рекомендациям производителей).

В ряде экспериментов использовалась воздухововлекающая добавка СНВ.

Сравнение величин прочности образцов бетонов, приготовленных на неактивированной и активированной воде, приведено в табл. 1.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предварительная обработка воды путем ее активации в специальных устройствах позволяет получать существенный прирост (в среднем, на 20%) прочности цементных растворов, мелкозернистых и тяжелых бетонов, что должно стать основанием для снижения удельного расхода цемента в бетонных смесях и, соответственно, – их себестоимости. Кроме того, использование активированной воды может также способствовать снижению себестоимости бетонов за счет уменьшения (в среднем, на 30%) расхода пластифицирующих добавок.

Кроме того, в ходе экспериментов было установлено, что на эффект повышения прочности (при сжатии) оказывает влияние минералогический состав цемента. На рис. 1 представлены зависимости относительного роста прочности образцов бетонов (цементного камня) при сжатии от времени их твердения в нормальных условиях для четырех типов портландцемента марки ПЦ500ДО и ПЦ 500ДО-Н (СЕМ-1 42,5 и СЕМ-1 42,5Н) известных производителей: Мальцовский, Старооскольский, Мордовский и новый Щуровский от ООО «Холсим (Рус) СМ», имеющих практически одинаковый химический состав, но различающихся по минералогическому составу (табл. 2).

Таблица 1. Сравнение величин прочности образцов бетонов, приготовленных на неактивированной и активированной воде

Состав смеси, марка цемента	Добавка, расход к массе цемента	Водо-цементное отношение	Прочность при сжатии, МПа		Примечание
			через 7 сут. твердения	через 28 сут. твердения	
Цементное тесто ПЦ 500 ДОН	Visco-Crete-5 0,50%, 0,50%	0,40	39,8	54,8	Вода не активирована Вода активирована Вода не активирована Вода активирована
		0,37	51,6	60,4	
		0,31	60,0	80,0	
		0,30	69,2	92,5	
Цементный раствор Ц : П = 1 : 1,5	С-3 0,45% 0,25%	0,50	21,2	33,3	Вода не активирована Вода активирована Вода не активирована Вода активирована
		0,47	33,0	42,9	
		0,42	38,9	48,0	
		0,43	43,8	51,4	
	«Рapid» (ООО «Скай-трейд», СПб.) 0,80% 0,56%	0,45	37,5	47,0	Добавка поликарбоксилатная Вода не активирована Вода активирована
		0,45	44,1	50,1	
СТ-Б (ООО НПП Химпэк, Пермь) 0,47% 0,24%	0,44	44,6	51,3	Добавка поликарбоксилатная Вода не активирована Вода активирована	
	0,46	39,8	52,6		
Бетон Ц : П : Щ = 260 : 800 : 1150, ПЦ 400		0,56	10,2	20,1	Вода не активирована Вода активирована
		0,56	20,5	25,4	
Бетон Ц : П : Щ = 348 : 824 : 1029, ПЦ 500 ДО	С-3 0,40% 0,30%	0,50	23,4	32,3	Вода не активирована Вода активирована
		0,51	23,4	33,2	
Бетон Ц : П : Щ = 400 : 600 : 1500	Visco-Crete-5 0,30% 0,30%	0,35	52,1	60,0	Вода не активирована Вода активирована
		0,35	55,0	70,0	
Бетон Ц : П : Щ = 550 : 650 : 1150	Микрокремнезем, 5% Visco-Crete-5 0,50% 0,50%	0,31	54,7	74,0	Вода не активирована Вода активирована
		0,31	60,9	81,0	

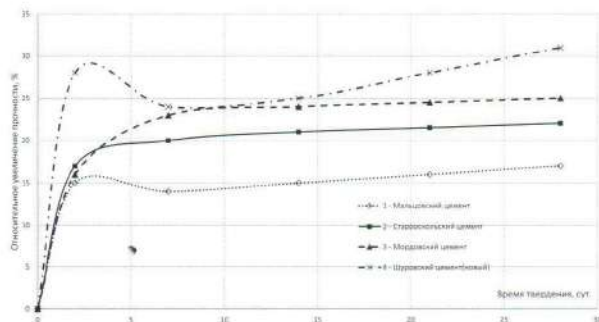


Рис. 1. Зависимость относительного увеличения прочности образцов бетонов при сжатии от времени твердения

Представленные на рис. 1 зависимости построены при осреднении всех данных, полученных за весь период проведения опытов. При этом для одних типов цемента, например, Старооскольского, наблюдалось превышение прочности образцов бетона на 60–80% как в ранние сроки твердения, так и на 28 сут. твердения, а в других, например, нового Щуровского, – лишь в ранние сроки, и то гораздо реже, что может свидетельствовать о более широком диапазоне активностей выпускаемого первого цемента и менее широком – у второго цемента, так как замечено, что чем ниже активность испытываемого цемента, тем выше эффект применения активированной воды.

В [12] отмечалось, что значительный резерв экономии цемента в бетонах для транспортного

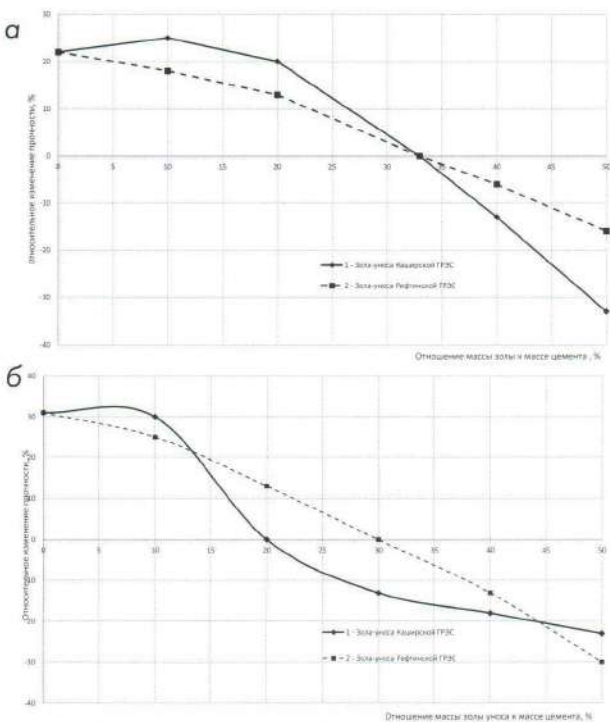


Рис. 2. Зависимости изменения прочности образцов бетонов (а) и золоцементобетона (б) при сжатии от относительного содержания золы

Таблица 2. Минералогический состав испытанных партий портландцементов марки ПЦ 500 Д0

Тип цемента	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Старооскольский	60	17	7	14
Мальцовский	66	11,5	7	14,5
Мордовский	62	19	6	11
От ООО «Холсим (Рус) СМ» (новый Щуровский)	65	12	5	19

строительства заключается в использовании золы-уноса тепловых электростанций (ТЭС, ГРЭС), работающих на твердом топливе, причем при добавлении 8–12% золы к массе цемента в бетонных смесях с поликарбоксилатными пластифицирующими добавками возможно даже повышение величин прочности бетонов при сжатии и их морозостойкости по сравнению с бетонными смесями без добавки золы-уноса. При увеличении добавки золы-уноса до 15–20% прочность образцов бетонов становится ниже контрольных (без золы).

Проведенная серия экспериментов по оценке влияния активированной воды на изменение активности портландцементов в смеси с золой-уноса двух типов (Каширской и Рефтинской ГРЭС одинакового химического состава [13]) показала следующие результаты. Во-первых, активированная вода позволяет увеличить в среднем до 30–35% содержание золы-уноса относительно массы цемента в бетонных смесях без снижения прочности (даже без пластифицирующих добавок). Во-вторых, эффекты применения золы-уноса разных ТЭС для разных типов портландцемента одной марки могут различаться между собой, и это обстоятельство следует учитывать при работе с данным типом портландцемента и данным типом золы-уноса ТЭС.

На рис. 2 представлены величины относительного превышения прочности образцов золоцементобетона над прочностью контрольных образцов (без золы-уноса, при одинаковой подвижности цементного теста) в 28-суточном возрасте – в зависимости от относительного содержания золы-уноса к массе цемента в золоцементной смеси.

Для практической работы с активированной водой представляет определенный интерес вопрос о сохранности ее активности или характере ее изменения в зависимости от сроков хранения (отстаивания).

На рис. 3 показано изменение прочности образцов бетона (цементного камня и мелкозернистого бетона при Ц:П = 1:1,5) на основе Мордовского портландцемента марки ПЦ 500 Д0 (с 25.06.2015 по 07.07.2015 и далее) при сжатии в 28-суточном

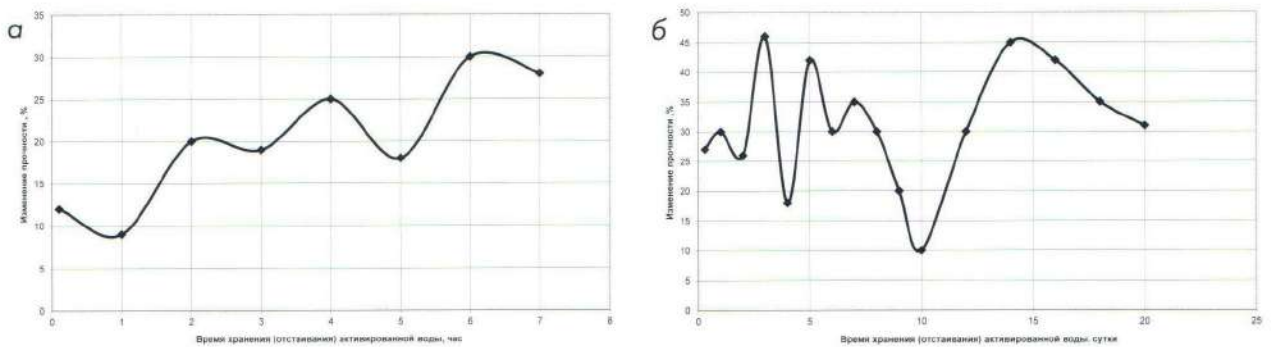


Рис. 3. Зависимости относительного изменения прочности образцов цементобетона при сжатии от времени хранения (отстаивания) активированной воды: а – в час; б – в сутки

возрасте при замешивании цементного раствора активированной водой в зависимости от времени хранения обработанной воды.

При использовании активированной воды в первые часы после активации наблюдается рост прочности образцов с 2-часовым периодом колебаний, далее рост средней величины прочности прекращается на уровне эффекта +30%, но до 8 сут. хранения воды колебания прочности еще продолжают с периодом 2 сут. после чего происходит увеличение периодов колебаний прочности относительно средних значений до 15 сут. и далее до 30 сут., при этом средние величины эффекта увеличения прочности образцов бетонов при хранении активированной воды более 100 сут. постепенно снижаются до 20–25%, оставаясь на этом уровне не менее двух лет. Логично предположить, что наблюдаемые колебания и изменения их периодов вызваны релаксационными процессами в обработанной воде на новом уровне ее структуры.



Выводы

1. Вода затворения бетонных смесей различного состава и назначения, в том числе для транспортного строительства, строительства автомобильных дорог, после ее предварительной акустической или гидродинамически-кавитационной обработки (активирования) в специальных устройствах способствует:

- повышению прочности образцов цементного камня и бетонов при сжатии как в начальные сроки твердения, так и в 28-суточный срок – на 10–50%, что дает основание для экономии удельного расхода цемента;
- снижению расхода пластифицирующих добавок на 20–50%;
- повышению в смеси с цементом доли золы-уноса ТЭС, используемой для снижения расхода цемента в бетонных смесях, почти вдвое – до 15–20%.

2. Активированная вода сохраняет свою активность по отношению к портландцементом по меньшей мере в течение двух лет.

Литература

1. Классен В. К. Вода и магнит. – М.: Наука, 1973.
2. Грушко И. М., Бирюков В. А., Солдатенко С. Е. Влияние виброимпульсной активации водцементных смесей на прочность бетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 8. – С. 50–63.
3. Электромагнитная активация связанных состояний воды в процессах твердения цементных паст / С. В. Авраменко // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2002. – № 12. – С. 66–68.
4. Способ и устройство для приготовления активированной воды: пат. 2266255 Рос. Федерация / М. В. Дьяков [и др.]. – № 2004128773/15; заявл. 28.09.2004; опубл. 20.12.2005.
5. Родионов Р. Б. Инновационный потенциал нанотехнологий в производстве строительных материалов // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2006. – № 6. – С. 72–76.
6. Ерофеев В. Г. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения // Строительные материалы. – 2007. – № 1. – С. 56–58.
7. Тевяшев А. Д., Шитиков Е. С. О возможности оперативного управления свойствами цементобетонов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010. – № 2/9. – С. 19–26.
8. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. – М.: Машиностроение-1, 2001.
9. Червяков В. М., Однолько В. Г. Использование гидродинамических и кавитационных явлений в роторных аппаратах. – М.: Машиностроение, 2008.
10. Гидродинамический смеситель: пат. 2553861 Рос. Федерация / В. М. Червяков [и др.]. – № 2000106876; заявл. 12.03.14; опубл. 20.06.2015.
11. Устройство для физико-химической обработки жидкой среды: пат. 2587183 Рос. Федерация / В. М. Червяков [и др.]. – № 2015106521/05; заявл. 25.02.15; опубл. 20.06.2016.
12. Рояк Г. С., Грановская И. В., Тарасова А. Ю. Применение золы-уноса в бетоне – эффективный путь к экономии цемента // Транспортное строительство. – М., 2008. – № 9. – С. 18–19.
13. Уханов А. В. Опыт и нормативная база по использованию сухой летучей золы ТЭС России при производстве бетонов, строительных растворов и сухих строительных смесей // Мат. 5-й междунар. конф. «Золышлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», 24–25 апреля 2014 г., Москва. – С. 51–57.

Для связи с авторами:

Елена Викторовна Гордеева, 8 (495) 653-82-45
доб.4489, teremok-66@mail.ru