

УДК 691.327 : 666.972.7

С.И. ПИМЕНОВ, Р.А. ИБРАГИМОВ

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫДЕРЖИВАНИЯ
БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА**

Представлены результаты исследования влияния продолжительности выдерживания бетонной смеси до формования на ее технологические свойства, предел прочности при сжатии тяжелого бетона, полученного с применением механохимической активации (МХА) цементной суспензии. Установлено, что в результате ускоренного твердения после активации цемента свойства бетонной смеси меняются. Например, при МХА цементной суспензии с добавкой Реламикс Т-2 водоотделение бетонной смеси уменьшается в 2–4 раза по сравнению с составом, полученным обычным введением добавки Реламикс Т-2 в первые 120 мин гидратации. Выявлено, что при МХА цементной суспензии с добавкой Реламикс Т-2 предел прочности при сжатии в возрасте 1 сут наибольший среди рассматриваемых составов и составляет 23,5 МПа. В данном составе наблюдается существенное снижение предела прочности при сжатии в результате выдержки бетонной смеси до формования в течение первых 90 мин – в первые сутки снижается с 23,5 до 17,4 МПа (на 26 %), в марочном возрасте с 62,8 до 54,7 МПа (на 13 %). Установлено, что МХА ускоряет и интенсифицирует процессы гидратации цемента в первые часы: увеличивается контракция цементного теста через 3 ч в 2,44 раза, через 8 ч – в 2,68 раза по сравнению с контрольным составом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бетонная смесь, продолжительность выдерживания, механохимическая активация, суперпластификатор, тяжелый бетон.

DOI 10.32683/0536-1052-2018-719-11-58-68

В монолитном строительстве бетонную смесь, как правило, приготавливают на бетонном заводе или бетоносмесительном узле и в готовом виде доставляют на строительную площадку с помощью транспортных средств. На весь транспортный процесс расходуется время, в течение которого протекает процесс гидратации цемента, который влияет на свойства бетонной смеси и, как следствие, сказывается на физико-технических свойствах готовых железобетонных конструкций.

С целью ускорения достижения распалубочной прочности бетона монолитных конструкций при строительстве высотных зданий и зданий повышенной этажности эффективнее применять быстротвердеющие бетоны. Получение бетона, обладающего относительно высокой прочностью в первые трое суток при твердении в нормальных условиях, достигается с помощью быстротвердеющего цемента, а также различными способами ускорения твердения цемента, например, применением комплексных специальных добавок, активацией цементного раствора [1–3]. Удельная поверхность быстротвердеющего цемента марок 400 и 500 колеблется в диапазоне 350–450 м²/кг вещества [4].

© Пименов С.И., Ибрагимов Р.А., 2018

Свойства бетонной смеси, уложенной в конструкцию опалубки на строительной площадке, могут отличаться от свойств бетонной смеси, только что приготовленной на заводе или бетоносмесительном узле, в результате продолжительной транспортировки. В связи с этим научный интерес представляет изучение влияния продолжительности выдерживания бетонной смеси (с момента ее приготовления до формования) на физико-технические свойства тяжелого бетона.

С целью получения быстротвердеющего бетона нами применялся способ механохимической активации (МХА) цементной суспензии совместно с суперпластифицирующей добавкой в роторно-пульсационном аппарате [5–7].

Диспергацию и активацию цементной суспензии проводили в роторно-пульсационном аппарате РПА-0,8-55А-2,2-УЗ (РПА), выпускаемом ООО «Промсервис» по ТУ 5132-001-70447062.

В качестве суперпластифицирующих добавок для снижения водопотребности бетонной смеси и повышения эффективности диспергирования цемента в водной среде использовались современные суперпластифицирующие добавки двух разных химических основ: Реламикс Т-2 – суперпластифицирующая добавка, производимая компанией ООО «Полипласт» по ТУ 5870-002-14153664-04, основа которой натриевые соли полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы с добавлением комплекса ускоряющего набор прочности и Remicrete SP60 – суперпластифицирующая добавка немецкой компании «Schomburg», имеющая сертификационный номер: 0764-CPD-0012 (согласно EN 934-2:2001). Добавка Remicrete SP60 выпускается в виде коричневой жидкости, представляющей собой сополимер на основе полиэфиркарбоксилатов.

Ранее нами было отмечено [8], что применение МХА в водной среде представляет особый интерес в монолитном строительстве в связи с существенным повышением предела прочности бетона при сжатии в ранние сроки твердения. МХА цементной суспензии, приводящая к ускоренному твердению цементных композиций, не должна сопровождаться быстрой потерей подвижности бетонной смеси.

В связи с этим проведены исследования влияния продолжительности выдержки бетонной смеси на ее технологические свойства и физико-технические свойства тяжелого бетона, полученного МХА цементной суспензии. У бетонных смесей определяли и сравнивали показатели, указанные в ГОСТ 10181–2014: водоотделение бетонной смеси, сохраняемость подвижности бетонной смеси. Изучались составы бетонных смесей, приведенные в табл. 1.

В качестве сырьевых материалов для приготовления бетонных смесей использовался портландцемент со шлаком ЦЕМ II/A-III 32,5Н Ульяновского завода, отвечающий требованиям ГОСТ 31108–2016; в качестве мелкого заполнителя применялся песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2,7, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736–2014 и ГОСТ 8735–88; в качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень Уральского месторождения фракции 5–20 мм.

Количество исходных компонентов бетонной смеси следующее, кг/м³: портландцемент – 490, песок – 595, щебень – 1140. Количество воды затворе-

Таблица 1. Составы бетонных смесей и особенности их приготовления

Состав, №	Особенности способа приготовления бетонной смеси	Примечание
1. Контрольный	Традиционное перемешивание сырьевых компонентов	Без добавки и без активации
2. После механоактивации цементной суспензии	Предварительно 50 % цемента перемешивалось с водой затворения, полученная суспензия подвергалась МХА в РПА в течение 2 мин, выгружалась в бетоносмеситель и перемешивалась с оставшейся частью цемента и заполнителями в течение не более 5 мин*	Без добавки
3. Модифицированный добавкой Реламикс Т-2	Традиционное перемешивание сырьевых компонентов с введением добавки Реламикс Т-2	Без активации
4. После МХА цементной суспензии	Предварительно 50 % цемента перемешивалось с водой затворения, содержащей добавку Реламикс Т-2 в количестве 1 % от массы цемента, суспензия подвергалась МХА в РПА в течение 2 мин, выгружалась в бетоносмеситель и перемешивалась с оставшейся частью цемента и заполнителями в течение не более 5 мин	С добавкой Реламикс Т-2
5. Модифицированный добавкой Remicrete SP60	Традиционное перемешивание сырьевых компонентов с введением добавки Remicrete SP60	Без активации
6. После МХА цементной суспензии	Предварительно 50 % цемента перемешивалось с водой затворения, содержащей добавку Remicrete SP60 в количестве 1 % от массы цемента, суспензия подвергалась МХА в РПА в течение 2 мин, выгружалась в бетоносмеситель и перемешивалась с оставшейся частью цемента и заполнителями в течение не более 5 мин	С добавкой Remicrete SP60

* Оптимальная доля цемента, продолжительность активации, количество добавки определены нами ранее.

ния применялось для получения одинаковой подвижности бетонных смесей марки П2 (ОК = 7–9 см).

На рис. 1 приведены результаты исследования влияния МХА цементной суспензии на сохраняемость подвижности бетонной смеси. Первое измерение подвижности бетонной смеси проведено через 15 мин после приготовления бетонной смеси согласно ГОСТ 10181–2014, затем через 30, 60 и 90 мин после этого.

По данным рис. 1 видно, что у всех составов наблюдается снижение подвижности бетонной смеси с течением времени. Подвижность бетонной смеси составов 1–4 через 90 мин с момента начала определения подвижности бетонных смесей снижается на 85–92 % примерно в равной степени. Подвиж-

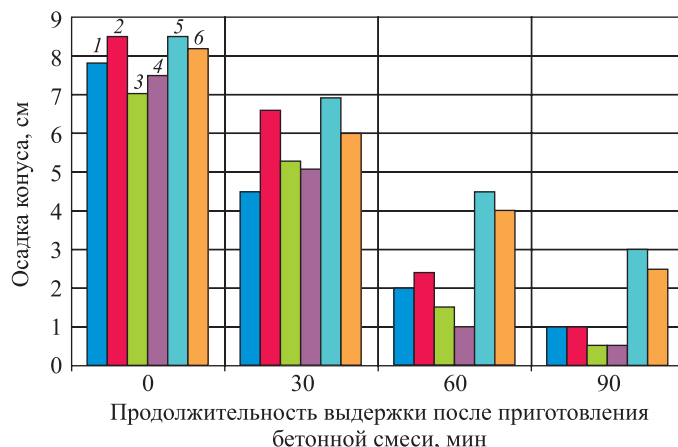


Рис. 1. Изменение подвижности бетонной смеси с течением времени. Нумерация составов на рис. 1–3 соответствует нумерации составов табл. 1

ность бетонных смесей составов 5 и 6 уменьшается замедленными темпами: через 90 мин с момента начала измерения осадки конуса бетонных смесей снижается на 60–70 %. Данные авторов работ [9–11] подтверждают явление продолжительной сохраняемости подвижности бетонной смеси при использовании поликарбоксилатных суперпластифицирующих (СП) добавок по сравнению с СП на основе сульфонафталиновых формальдегидов, сульфомеланинов, лигносульфонатов, введенных при традиционном приготовлении бетонной смеси. Такая же закономерность проявляется и при МХА цементной суспензии.

На рис. 2 представлены кривые кинетики водоотделения бетонной смеси. Наибольшее количество выделившейся воды заметно в контрольном составе (состав 1) и составляет 0,33–0,42 % от массы бетонной смеси.

Механоактивация цементной суспензии позволяет снизить водоотделение бетонной смеси в 1,5–1,9 раза (состав 2) по сравнению с контрольным составом. Введение суперпластифицирующих добавок в бетонную смесь (составы 3 и 5) уменьшает водоотделение в 5–7 раз.

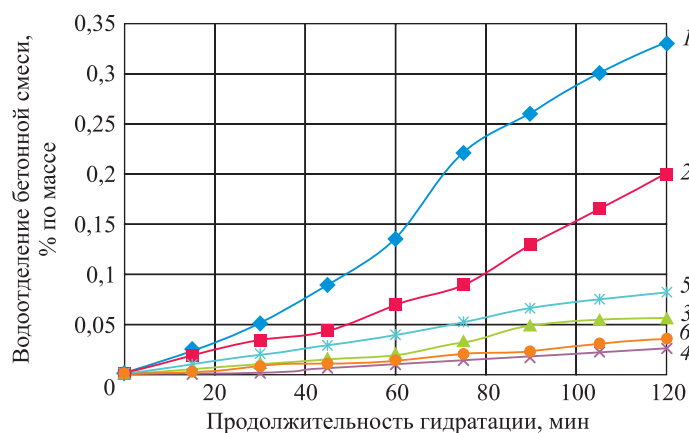


Рис. 2. Водоотделение бетонной смеси на цементе Ульяновского завода

Наименьшее количество выделившейся воды из бетонных смесей присутствует в составах, полученных МХА цементной суспензии совместно с СП: с добавкой Реламикс Т-2 (состав 4) водоотделение бетонной смеси уменьшается в 2–4 раза по сравнению с составом, полученным обычным введением добавки Реламикс Т-2 (состав 3); с добавкой Remicrete SP60 (состав 6) водоотделение бетонной смеси падает в 3–5 раз по сравнению с составом, полученным обычным введением добавки Remicrete SP60 (состав 5). Наименьшее водоотделение бетонной смеси в составе, полученном МХА цементной суспензии с добавкой Remicrete SP60 (состав 6), и колеблется в пределах 0,02–0,05 % от массы бетонной смеси.

Снижение водоотделения бетонной смеси МХА цементной суспензии связано с большим потреблением воды для гидратации вяжущего, вследствие раскрытия активных центров цементного клинкера, увеличением его удельной поверхности.

Далее проведен эксперимент по влиянию продолжительности выдерживания бетонной смеси в нормальных условиях до формирования на предел прочности при сжатии тяжелого бетона в возрасте 1 и 28 сут. Формование изделий производилось через 15 мин выдержки бетонной смеси после ее приготовления в соответствии с ГОСТ 10181–2014, и затем через 30, 60, 90 мин. После выдерживания бетонная смесь загружалась в формы. Бетонные образцы-кубы с размером ребра 10 см хранились при нормально-влажностных условиях и в возрасте 1 и 28 сут подвергались механическим испытаниям. Эксперимент проводили трижды. В табл. 2 представлены средние результаты трех экспериментов.

Таблица 2. Свойства бетонной смеси и предел прочности при сжатии тяжелого бетона

Состав, №	В/Ц	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Продолжительность дополнительного выдерживания бетонной смеси (после первых 15 мин) до формирования, мин	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут	
				1	28
1	2	3	4	5	6
1	0,42	2390	–	7,1/100	40,5/100
			30	6,6/93	38,3/95
			60	6,2/87	36,7/91
			90	5,7/80	34,5/85
2	0,42	2424	–	13,8/194	46,1/114
			30	12,1/170	42,7/105
			60	10,8/152	41,3/102
			90	8,8/124	40,8/100
3	0,31	2472	–	12,8/180	51,7/128
			30	12,5/176	51,0/126
			60	12,3/173	50,2/124
			90	11,5/162	48,6/120

Влияние продолжительности выдерживания бетонной смеси...

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
4	0,31	2485	–	23,5/331	62,8/155
			30	21,7/306	59,5/147
			60	19,2/270	57,8/143
			90	17,4/245	54,7/135
5	0,30	2476	–	12,3/173	57,5/142
			30	12,2/172	57,2/141
			60	12,1/170	57,0/141
			90	11,7/165	55,5/137
6	0,30	2472	–	19,6/276	65,7/162
			30	18,9/266	61,2/151
			60	18,0/253	58,7/145
			90	17,3/243	57,9/143

Пр и м е ч а н и е. В числителе приведено среднее значение показателя, в знаменателе – относительное значение, % от контрольного.

По данным табл. 2 видно, что с увеличением продолжительности выдерживания бетонной смеси до формирования у всех исследуемых составов предел прочности при сжатии снижается. При механоактивации цементной суспензии (состав 2) предел прочности при сжатии в возрасте одних суток снижается с 13,8 до 8,8 МПа (на 36 %), в марочном возрасте – с 46,1 до 40,8 МПа (на 11 %) при выдерживании бетонной смеси до формирования в течение 90 мин. Такое существенное снижение предела прочности бетона связано, на наш взгляд, с ускорением структурообразования цементного камня после активации цемента, который в дальнейшем в процессе формирования и уплотнения бетонной смеси частично разрушается последующими деструктивными действиями.

Применение суперпластифицирующих добавок Реламикс Т-2 (состав 3) или Remicrete SP60 (состав 5) позволяет сохранить при выдерживании бетонной смеси до формирования в течение 90 мин потенциал предела прочности при сжатии. Например, в составе 3 предел прочности при сжатии снижается в первые сутки с 12,8 до 11,5 МПа (на 10 %), в марочном возрасте – с 51,7 до 48,6 МПа (на 6 %).

При МХА цементной суспензии с добавкой Реламикс Т-2 (состав 4) предел прочности при сжатии в возрасте 1 сут наибольший среди рассматриваемых составов – 23,5 МПа. В данном составе прочность при сжатии при выдержке бетонной смеси до формирования в течение первых 90 мин в первые сутки снижается с 23,5 до 17,4 МПа (на 26 %), в марочном возрасте с 62,8 до 54,7 МПа (на 13 %).

При МХА цементной суспензии с добавкой Remicrete SP60 (состав 6) при выдержке бетонной смеси до формирования в течение первых 90 мин предел прочности при сжатии в возрасте одних суток уменьшается с 19,6 до 17,3 МПа (на 12 %), в марочном возрасте – с 65,7 до 57,9 МПа (на 12 %).

Научно-практический интерес представляет сравнение пределов прочности образцов, полученных МХА цементной суспензии, и образцов с суперпластификаторами. Так, сравнивая пределы прочности при сжатии составов 3 и 4, можем видеть, что в первые сутки предел прочности при сжатии состава 4 превосходит предел прочности при сжатии состава 3 на 84 % при формировании изделий через 15 мин после приготовления бетонной смеси и на 51 % при формировании изделий через 15+90 мин; в марочном возрасте предел прочности при сжатии состава 4 выше предела прочности при сжатии состава 3 на 21 % при формировании изделий через 15 мин после приготовления бетонной смеси и на 13 % при формировании изделий через 15+90 мин.

Сравнивая пределы прочности при сжатии составов 5 и 6, можем видеть, что в первые сутки предел прочности при сжатии состава 6 превосходит предел прочности при сжатии состава 5 на 59 % при формировании изделий через 15 мин после приготовления бетонной смеси и на 48 % при формировании изделий через 15+90 мин; в марочном возрасте предел прочности при сжатии состава 6 выше предела прочности при сжатии состава 5 на 14 % при формировании изделий через 15 мин после приготовления бетонной смеси и такой же, как у состава 5 при формировании изделий через 15+90 мин.

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что целесообразней проводить обработку цементной суспензии в РПА с добавкой Реламикс Т-2 на основе нафталинформальдегида, а не с добавкой Remicrete SP60 на основе эфиров поликарбоксилата, поскольку при использовании добавки Remicrete SP60 повышается только ранняя прочность бетона, марочная прочность не изменяется.

О влиянии МХА цементной суспензии на процессы гидратации цемента также можно судить по уменьшению абсолютного объема материала в результате гидратации – по контракции цементного теста. На рис. 3 приведены результаты исследования влияния МХА цементной суспензии на контракцию цементного теста.

Механоактивация цементной суспензии (состав 2) повышает величину контракции через 3 ч в 1,56 раза и через 8 ч в 1,69 раза по сравнению с контрольным составом. МХА цементной суспензии с добавкой Remicrete SP60

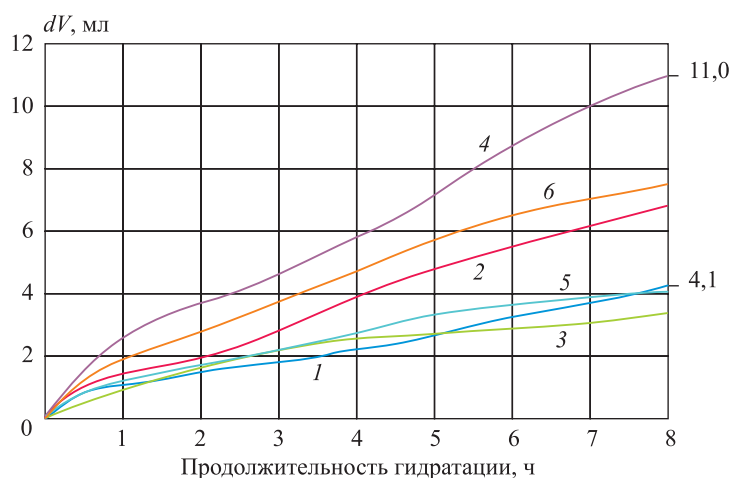


Рис. 3. Контракция цементного теста

(состав 6) приводит к увеличению контракции цементного теста: через 3 ч в 2,08 раза, через 8 ч – в 1,78 раза по сравнению с контрольным составом; через 3 ч в 1,61 раза, через 8 ч – в 1,71 раза по сравнению с составом с добавкой Remicrete SP60 (состав 5).

МХА цементной суспензии с добавкой Реламикс Т-2 (состав 4) позволяет получать наибольшую среди рассматриваемых составов величину контракции цементного теста: увеличение контракции через 3 ч в 2,44 раза, через 8 ч – в 2,68 раза по сравнению с контрольным составом; увеличение контракции состава с добавкой Реламикс Т-2 (состав 3) через 3 ч в 1,9 раза, через 8 ч – в 3,23 раза.

Величина контракции цементного теста, полученного МХА цементной суспензии, подтверждает процессы ускорения и интенсификации гидратации цемента в первые часы с момента затворения водой.

Выводы. Учитывая реальные условия строительства, когда бетонная смесь транспортируется на строительную площадку в течение 60–90 мин, целесообразно проводить предварительную МХА цементной суспензии с суперпластифицирующей добавкой Реламикс Т-2 на нафталинформальдегидной основе, позволяющей повысить предел прочности при сжатии бетона в первые сутки твердения на 51 % и сохранить повышенную на 13 % прочность в марочном возрасте по сравнению с составом, полученным обычным введением добавки Реламикс Т-2.

При МХА с добавкой Remicrete SP60 на основе эфиров поликарбоната повышается лишь ранняя прочность бетона, марочная прочность не изменяется по сравнению с составом, полученным обычным введением добавки Remicrete SP60.

В бетоне, полученном МХА цементной суспензии с добавкой Реламикс Т-2, предел прочности при сжатии в раннем возрасте наибольший среди исследуемых. С течением времени из-за ускорения процесса гидратации, обусловленного увеличением контракции цементного теста через 3 ч в 2,44 раза, через 8 ч – в 2,68 раза по сравнению с контрольным составом, при выдержке бетонной смеси быстрыми темпами снижается возможный предел прочности при сжатии: в первые сутки твердения снижается с 23,5 до 17,4 МПа (на 26 %), в марочном возрасте – с 62,8 до 54,7 МПа (на 13 %) при дополнительном выдерживании (кроме первых 15 мин) бетонной смеси до формирования в течение от 0 до 90 мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецова Т.В. Разработка быстротвердеющих цементов в развитие работ А.В. Волженского // Строит. материалы. 2000. № 2. С. 20–21.
2. Каприелов С.С., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кузнецов Е.Н. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. 2003. № 3. С. 2–7.
3. Гусев Б.В. Наноструктурирование бетонных материалов // Пром. и гражд. стр-во. 2016. № 1. С. 7–10.
4. Миккульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В., Куприянов В.Н., Орентлихер Л.П., Рахимов Р.З., Сахаров Г.П., Хрулев В.М. Строительные материалы: учеб. для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2000. 536 с.

5. Пат. № 2559236 Российская Федерация, С1 С04В 40/00 С04В 28/04 С04В 24/00. Способ приготовления бетонной смеси / Изотов В.С., Ибрагимов Р.А., Пименов С.И., Галиуллин Р.Р.; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 15. 5 с.
6. Пименов С.И., Ибрагимов Р.А. Влияние минералогического состава цемента при его активации на физико-технические свойства тяжелого бетона // Строит. материалы. 2017. № 8. С. 64–67.
7. Ibragimov R.A., Pimenov S.I. Features of the microstructure and phase composition of hardened cement paste prepared by mechano-chemical activation of the binder // ZKG: Zement - Kalk - Gips International. 2017. No. 1-2. P. 40–47.
8. Пименов С.И., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Влияние гидромеханохимической активации цементной суспензии на физико-механические свойства тяжелого бетона // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 11. С. 16–21.
9. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона / КазГАСУ. Казань: Палеотип, 2006. 244 с.
10. Тарасов В.Н., Гусев Б.В., Петрунин С.Ю., Короткова Н.П., Гарновесов А.П. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных суперпластификаторов для производства бетона // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4, № 1. С. 29–40.
11. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю. Влияние поликарбоксилатных суперпластификаторов на структурообразование цементных паст // Фундаментальные исследования. 2014. № 5. С. 945–948.

Пименов Сергей Иванович, канд. техн. наук, ассист.;

E-mail: sergeypimenov12@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Ибрагимов Руслан Абdirashitovich, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 26.10.18

Pimenov Sergey Ivanovich, PhD, Assistant;

E-mail: sergeypimenov12@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

Ibragimov Ruslan Abdirashitovich, PhD, Ass. Professor;

E-mail: rusmag007@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering, Russia

INFLUENCE OF DURATION OF CONCRETE MIXTURE ON PHYSICAL AND TECHNICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

The article presents the results of a study of the influence of the duration of aging of a concrete mixture before molding on the technological properties of a concrete mixture, the compressive strength of heavy concrete obtained using mechanochemical activation (MCA) of a cement slurry. It was found that as a result of accelerated hardening after the activation of cement, the properties of the concrete mix changed—the water separation was reduced: for example, with MCA cement slurry with the addition of Relamix T-2, the water separation of the concrete mixture was reduced by a factor of 2–4 compared to the composition obtained by the usual addition of Relamix T-2 in the first 120 minutes of hydration. It was revealed that when applying MCA cement slurry with the addition of

Relamix T-2, the compressive strength at the age of one day is the largest among the compositions considered and is 23,5 MPa. At the same time, in this composition, a significant reduction in compressive strength is observed as a result of holding the concrete mixture to molding during the first 90 minutes – the tensile strength in the first day decreases from 23,5 MPa to 17,4 MPa (by 26 %), in age at the age from 62,8 MPa to 54,7 MPa (by 13 %). It has been established that MCA cement slurry accelerates and intensifies the processes of cement hydration in the first hours: the cement contraction is increased 2,44 times in 3 hours, 2,68 times in 8 hours compared to the control composition.

Key words: concrete mixture, duration of aging, mechanochemical activation, superplasticizer, heavy concrete.

REFERENCES

1. Kuznetsova T.V. Razrabotka bystrotverdeyushchikh tsementov v razvitie rabot A.V. Volzhenskogo [Development of fast-hardening cements in the development of A.V. Volzhensky's works]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2000. No. 2. Pp. 20–21. (in Russian)
2. Kaprielov S.S., Karpenko N.I., Sheynfel'd A.V., Kuznetsov E.N. Vliyanie organomineral'nogo modifikatora MB-50S na strukturu i deformativnost' tsementnogo kamnya i vysokoprochnogo betona [Influence of the organomineral modifier MB-50C on the structure and deformability of cement stone and high-strength concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2003. No. 3. Pp. 2–7. (in Russian)
3. Gusev B.V. Nanostrukturirovanie betonnykh materialov [Nanostructuring of concrete materials]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2016. No. 1. Pp. 7–10. (in Russian)
4. Mikul'skiy V.G., Gorchakov G.I., Kozlov V.V., Kupriyanov V.N., Orentlikher L.P., Rakhimov R.Z., Sakharov G.P., Khrulev V.M. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. Moscow, 2000. 536 p. (in Russian)
5. Pat. 2559236 Russian Federation, S1 S04V 40/00 S04V 28/04 S04V 24/00. Sposob prigotovleniya betonnoy smesi [Method of preparation of concrete mixture]. Izotov V.S., Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Galiullin R.R.; publ. 10.08.2015, Bull. No. 15. 5 p. (in Russian)
6. Pimenov S.I., Ibragimov R.A. Vliyanie mineralogicheskogo sostava tsementa pri ego aktivatsii na fiziko-tekhnicheskie svoystva tyazhelogo betona [Influence of the mineralogical composition of cement upon its activation on the physical and technical properties of heavy concrete]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2017. No. 8. Pp. 64–67. (in Russian)
7. Ibragimov R.A., Pimenov S.I. Features of the microstructure and phase composition of hardened cement paste prepared by mechano-chemical activation of the binder. *ZKG: Zement - Kalk - Gips International*. 2017. No. 1-2. Pp. 40–47.
8. Pimenov S.I., Ibragimov R.A., Izotov V.S. Vliyanie gidromekhanokhimicheskoy aktivatsii tsementnoy suspenzii na fiziko-mekhanicheskie svoystva tyazhelogo betona [Influence of hydromechanochemical activation of a cement slurry on the physico-mechanical properties of heavy concrete]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 11. Pp. 16–21. (in Russian)
9. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Khimicheskie dobavki dlya modifikatsii betona [Chemical additives for concrete modification]. Kazan, 2006. 244 p. (in Russian)

10. Tarasov V.N., Gusev B.V., Petrunin S.Yu., Korotkova N.P., Garnovesov A.P. Otsenka effektivnosti primeneniya polikarboksilatnykh superplastifikatorov dlya proizvodstva betona [Performance assessment of polycarboxylate superplasticizers for concrete manufacturing]. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii [News of science and education of North-West Russia]. 2018. T. 4, No. 1. Pp. 29–40. (in Russian)
 11. Dobshits L.M., Kononova O.V., Anisimov S.N., Leshkanov A.Yu. Vliyaniye polikarboksilatnykh superplastifikatorov na strukturoobrazovanie tsementnykh past [Influence of polycarboxylate superplasticizers on the structure formation of cement pastes]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. 2014. No. 5. Pp. 945–948. (in Russian)
-