

Введение В монолитном строительстве при бетонировании бетонных и железобетонных конструкций в ряде случаев возникает необходимость ускорить рост прочности уложенного бетона с целью сокращения сроков его выдержки перед распалубкой с последующим ускорением строительного процесса. Для этого эффективно использование электролитов - добавок-ускорителей твердения бетона. В настоящее время известно значительное количество добавок, которые могут применяться в качестве ускорителей твердения. К ним относят хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция и др. При выборе ускорителей твердения необходимо учитывать побочное действие добавок, оказывающих влияние на арматуру, закладные детали и бетон [1]. Например, хлориды способствуют коррозии стальной арматуры, поэтому их количество в железобетоне ограничивается 0.5%, не допускают его применения в конструкциях с тонкой и предварительно напряженной арматурой [2]. Сульфат натрия может вызвать появление высолов на поверхности конструкций. В связи с этим перспективным является применение в технологии бетона бесхлоридных ускорителей твердения [3]. Среди большого числа неорганических добавок наиболее широкое применение для цементных бетонов находят электролиты. По данным Ребиндера [4] действие электролитов на твердение цемента состоит либо в их влиянии на растворимость новообразований, либо в их непосредственном участии в процессе гидратации с образованием высоководных комплексных гидратов типа гидросульфохлоралюминатов. Возникновение таких соединений является причиной интенсивного диспергирующего действия электролитов на вяжущее, что вызывает ускорение твердения и образование плотных структур гидрофильного геля, придающих затвердевшему цементному камню и раствору высокую водонепроницаемость. Механизм действия добавок электролитов состоит либо в изменении растворимости вяжущего и продуктов его гидратации вследствие изменения ионной силы раствора, вызванной присутствием электролитов, либо в химическом взаимодействии электролитов с вяжущим с образованием трудно растворимых или малодиссоциирующих соединений. Характерной особенностью большинства электролитов является их активное воздействие на процессы структурообразования цементного камня, заключающегося в уплотнении структуры за счет увеличения количества продуктов гидратации, особенно низкоосновных гидросиликатов кальция и повышения прочности кристаллического скелета [5]. В соответствии с ГОСТ 24211-2008 [6] добавки - ускорители твердения относятся ко второй группе добавок, регулирующих свойства бетонов и растворов, применяемых для модификации в зависимости от основного эффекта воздействия. В последнее время на рынке добавок для бетонов появились новые ускорители твердения, такие как: «Мобет 1», «Sika® Rapid 2». Экспериментальная часть Нами проведены испытания указанных добавок по методике ГОСТ 30459-2008 [7]. Их эффективность как ускорителей

твердения сравнивалась с добавками сульфата алюминия и сульфата натрия. Изучалось влияние добавок на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста, водопотребность бетонной смеси и прочностные показатели тяжелого бетона. Добавка «Мобет-1» произведена на ООО «Бийскхимстройматериалы» по ТУ 2600-003-54575429-2008. Добавка «Мобет-1» порошок от белого до серого цвета. Насыпная плотность колеблется от 650 до 700 кг/м³. Оптимальное содержание по рекомендациям производителя составляет для добавки «Мобет-1» - 1.5-2%. Добавка «Sika® Rapid 2» (далее Rapid) представляет собой желто-зеленоватую жидкость, плотность 1.4 кг/дм³, pH 8.0+0.5, отвечает требованиям норм PN-EN 934-2. Основа по данным производителя - смесь органических и неорганических компонентов.

Оптимальное содержание по рекомендациям производителя составляет 1-2% в зависимости от ожидаемого эффекта. Сульфат натрия (CH) - применялся в виде безводной соли - кристаллов белого цвета с желтым оттенком по ГОСТ 6318-68*. Оптимальная дозировка 1-2% от массы цемента. Сульфат алюминия (CA) применялся в виде гидрата Al₂(SO)₄·3H₂O (ГОСТ 12966-85). Сульфатно-содовая смесь (CCC), отход производства Богословского алюминиевого завода, содержит Na₂SO₄ 69,6%, Na₂CO₃ 21%, Al₂O₃ 1,9%, H₂O остальное. Для исследования влияния добавок на свойства цементного теста и физико-механические показатели тяжелого бетона использован портландцемент ПЦ400-Д20 Вольского завода, и портландцемент ПЦ400-Д20 Ульяновского завода, состав которых приведен в табл.1.

Процентное содержание главных окислов	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Вольского	22.55	4.75	4.7	65.04	57	21	4.6	14
Ульяновского	22.1	5.0	9.0	64.0	54	20	11	12

Исследования кинетики тепловыделения при гидратации цемента проводились термосным методом с использованием измерительного комплекса «ТЕРМОХРОН DS1921», выпускаемого НТЛ ЭлИн, г. Москва. Прочность тяжелого бетона определялась в соответствии с ГОСТ 18105-86 [8]. Контракцию цементного теста с добавками определяли на контракциометрическом тестере активности цемента «Цемент-прогноз», выпускаемого НПП «Интерприбор», г. Челябинск.

Результаты исследований. Определено влияние исследуемых добавок на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста. Для портландцемента Вольского завода начало схватывания с добавками уменьшается на 68-109 мин, конец схватывания - на 140-227 мин, по сравнению с контрольным составом. По эффективности влияния на начало схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: CA, «Мобет-1», «Rapid», CCC, CH. По эффективности влияния на конец схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: CA, «Rapid», «Мобет-1», CCC, CH. Для портландцемента Ульяновского завода начало схватывания с добавками уменьшается на 59-100 мин, конец схватывания - на 145-231 мин, по сравнению с контрольным

составом. По эффективности влияния на начало схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: СА, «Мобет-1», «Rapid», CCC, СН. По эффективности влияния на конец схватывания добавки располагаются в следующей последовательности: СА, «Rapid», «Мобет-1», CCC, СН. Изучено влияние исследуемых добавок на физико-механические свойства тяжелого бетона нормального твердения в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток. Для эксперимента определен тяжелый бетон производственного состава ($\rho_{ц}=450 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{п}=595 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{щ}=1140 \text{ кг/м}^3$) с осадкой конуса 8-9см. Заполнителями служили обогащенный песок Камского месторождения с модулем крупности 2.7, щебень из гравия Камского месторождения фракции 5-20мм. Результаты испытаний на портландцементе Вольского завода приведены в табл. 2. Таблица 2 - Кинетика твердения бетона с исследуемыми добавками № п/п Содержание добавок, % Прочность бетона при сжатии (МПа) в возрасте, сут: Мобет-1 CCC СН СА Rapid 1 3 7 28 1 - - - - 7.52* 100% 18.05* 100% 29.38* 100% 36.8* 100% 2 1.5 - - - - 8.2 109% 19.46 108% 29.97 102% 36.8 100% 3 2 - - - - 8.35 111% 19.67 109% 29.97 102% 36.8 100% 4 - 1.5 - - - 10.15 135% 20.57 114% 33.2 113% 40.11 109% 5 - 2 - - - 10.38 138% 21.48 119% 34.49 114% 40.48 110% 6 - - 1.5 - - 10.07 134% 21.84 121% 33.78 115% 37.53 102% 7 - - 2 - - 10.53 140% 24.37 135% 37.02 126% 37.53 102% 8 - - - 1.5 - 10.15 135% 19.31 107% 30.55 104% 37.17 101% 9 - - - 2 - 10.83 144% 19.46 108% 30.55 104% 37.17 101% 10 - - - - 1.5 9.92 132% 22.38 124% 33.78 115% 41.22 112% 11 - - - - 2 10.68 142% 24.91 138% 38.19 130% 41.22 112%

Примечание*: над чертой приведено среднее значение показателя; под чертой - относительное значение показателя в % от контрольного. Анализ эффективности приводился в соответствии с методикой ГОСТ 30459-2008 [7], в котором для добавок-ускорителей твердения бетона по требованиям надежности необходимо повышение прочности бетона на 30% и более в возрасте 1 суток нормального твердения. Как следует из данных табл. 2, такому условию удовлетворяют добавки «Rapid», CCC, СА, СН, и не удовлетворяет добавка «Мобет-1». Наиболее эффективным ускорителем в первые сутки твердения является СА. При его применении повышение прочности бетона в первые сутки твердения составляет 44%. Однако в последующие сутки твердения эффективность СА резко убывает, и на 28-сутки прочность бетона практически не отличается от контрольного. Добавка «Rapid» является наиболее эффективным ускорителем в первые 7 суток твердения бетона. В этом случае прочность бетона увеличивается по сравнению с контрольным на 42%, 38% и 30% соответственно через 1, 3 и 7 суток нормального твердения. Добавка СН через сутки твердения повышает прочность бетона на 40%. На 3, 7 и 28 суток прирост прочности составляет соответственно 35%, 26% и 2% по сравнению с составом без добавки. Добавка CCC через сутки твердения повышает прочность бетона на 38%. На 3, 7 и 28 суток прирост прочности составляет соответственно 19%, 14% и 10%. Анализируя результаты тепловыделения цементного теста с добавками (рис. 1, 2), видно, что добавки

Rapid и СН повышают температуру гидратации на данных портландцементных. Также видно, что все ускорители твердения смещают пик температуры влево по сравнению с контрольным. Сульфат алюминия является ускорителем схватывания. Это видно из графиков, где на двух видах портландцемента максимум температуры за самое короткое время достигается с данной добавкой.

Рис. 1 - Тепловыделение при гидратации Ульяновского портландцемента: 1 - без добавки; 2 - СН; 3 - CCC; 4 - Rapid; 5 - СА

Рис. 2 - Тепловыделение при гидратации Вольского портландцемента: 1 - без добавки; 2 - СН; 3 - CCC; 4 - Rapid; 5 - СА

На рис. 3, 4 представлены результаты контракции цементного теста с изучаемыми добавками. Как видно из полученных данных, наибольшая контракция цементного теста достигается с добавкой СА на Ульяновском портландцементе, с добавкой «Rapid» - на Вольском портландцементе.

Рис. 3 - Контракция цементного теста на Ульяновском портландцементе: 1 - без добавки; 2 - СН; 3 - CCC; 4 - Rapid; 5 - СА

Рис. 4 - Контракция цементного теста на Вольском портландцементе: 1 - без добавки; 2 - СН; 3 - CCC; 4 - Rapid; 5 - СА

Заключение На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Все исследуемые новые добавки, кроме «Мобет-1», могут быть рекомендованы для увеличения ранней прочности бетона, или для повышения прочности при сжатии бетона после ТВО, или для получения равнопрочных бетонов с уменьшенным расходом цемента.
2. Добавка «Мобет-1» может быть рекомендована в качестве ускорителя схватывания и твердения ремонтных составов.
3. Исследуемые новые добавки не вызывают высолов на поверхности конструкций и эффективно ускоряют набор прочности бетона во все сроки твердения, что дает преимущество при их использовании по сравнению с СА и СН.
4. Эффективность твердения бетонов как на Вольском, так и на Ульяновском портландцементе, отличающихся содержанием трехкальциевого алюмината, различно. В первые сутки твердения наиболее эффективен СА, на 3 и 7 суток - «Rapid» и СН, на 28 суток эффективен «Rapid» и CCC на Вольском портландцементе, и только «Rapid» на Ульяновском портландцементе.

3. Тепловыделение цементного теста с ускорителями твердения характеризуется повышением температуры гидратации на 15-20° С и достижением температурного максимума на 5-9 часов быстрее, по сравнению с составом без добавки.

4. Добавки Rapid и СА резко увеличивают темпы контракции на обоих видах цемента, в то время как добавки СН и CCC уменьшают контракцию на Вольском и практически не влияют на контракцию на Ульяновском портландцементе.