

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI:10.34031/2071-7318-2023-8-8-8-15

Толыпина Н.М., *Хахалева Е.Н., Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: hahaleva7@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНОВ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЦЕМЕНТА

Аннотация. В бетонах с низким расходом цемента 170–250 кг/м³ водоредуцирующие действие суперпластификаторов не превышает 10 %. В этой связи в работе исследовано влияние микронаполнителей с различными электроповерхностными свойствами на эффективность действия суперпластификатора и прочность бетонов с низким содержанием цемента.

Показано, что в бетонной смеси контрольного состава достижение нормальной консистенции (ПК=106–115 мм) возможно только за счет большого расхода воды, водоредуцирующая эффективность СП составила всего 4,5 %. Установлено, что при добавлении тонкодисперсного кварца от 20 до 70 % расход порошковой части возрос от 230 до 452 кг/м³, при этом наблюдалось снижение В/Ц с 0,68 до 0,51 (33 %), а также рост прочности на 40,5 % ($R^7_{сж}$) и 30,6 % ($R^{28}_{сж}$). С ростом дозировки известнякового микронаполнителя от 20 до 70 % В/Ц снижалось от 0,66 до 0,5 (32 %), прочность возросла на 145 % ($R^7_{сж}$) и 74 % ($R^{28}_{сж}$).

Таким образом, применение тонкодисперсных наполнителей в бетонах с низким содержанием цемента позволяет добиться существенного снижения В/Ц на 23,6–43,8 % в равноподвижных смесях (ГОСТ 310.4) в зависимости от дозировки порошкового наполнителя (20–70 %), при этом вид наполнителя не оказывает заметного влияния на водоредуцирующую способность суперпластификатора, но играет значительную роль в процессах структурообразования цементной матрицы бетона, за счет влияния их электроповерхностных свойств на сцепление между частицами наполнителей и цементным камнем. В бетонах с низким содержанием цемента с ростом тонкодисперсных наполнителей от 20 до 70 % прочность бетона возрастает.

Ключевые слова: суперпластификатор, бетон с низким содержанием цемента, водоредуцирующая способность, прочность, бетонная смесь, бетон.

Введение. Одним из направлений технического прогресса в области строительства является производство высококачественных бетонов. Практически этот вопрос решается путем применения химических добавок различных составов и механизмов действия. Модифицирование бетонных смесей при помощи ПАВ позволяет на основе регулирования параметров цементных систем получать бетоны с заданными строительно-техническими свойствами. Химические добавки-модификаторы в технологии бетона в настоящее время являются необходимым компонентом бетонной смеси наряду с вяжущими, водой и заполнителями, при этом их использование является наиболее результативным способом повышения качества бетона без существенных материальных затрат. На практике в технологии бетона широко применяются модификаторы пластифицирующего, структурирующего действия, регуляторы твердения бетона, комплексные модификаторы полифункционального действия и др. Применение последних расширяет круг решаемых вопросов, направленных на получение высокоэффек-

тивных бетонов с высокой прочностью, повышенной долговечностью, морозостойкостью, низкой проницаемостью и т. д. [1].

Применение современных эффективных супер- и гиперпластификаторов позволяет существенно улучшать технологические показатели бетонных смесей и технические параметры бетонных изделий, однако этот подход справедлив только для бетонов высоких и средних классов прочности, содержащих повышенный расход цемента и пониженное содержание заполнителя. Эффективность действия супер- и гиперпластификаторов резко снижается при недостаточном расходе цемента, его неблагоприятном минеральном составе, повышенном содержании щелочей и т. д. [2–4]. Для бетонов рядовых марок с низким расходом цемента 170–250 кг/м³, доля которых весьма существенна в современном строительном комплексе, максимальное снижение водопотребности бетонных смесей не превышает 10–15 % даже при максимальных дозировках супер- и гиперпластификаторов, при этом в структуре бетонов остается высокая доля капиллярных пор [5–7]. Только в бетонах с высоким расходом

цемента более 400 кг/м^3 может наблюдаться максимальное (до 30 %) снижение В/Ц. Если учесть, что изделия из бетонов низких марок могут подвергаться в процессе эксплуатации воздействию агрессивных сред, а универсальным средством защиты является снижение проницаемости за счет снижения В/Ц, то для повышения эффективности действия СП в бетонные смеси целесообразно добавлять дополнительное количество дисперсного наполнителя [8–12]. При этом следует учитывать большую роль электроповерхностных явлений в процессах гидратации, твердения и эксплуатации бетона.

В большинстве цементных бетонов в качестве минеральных добавок, мелкого и крупного заполнителей используются материалы с активными центрами различного знака заряда и численного значения. К числу компонентов с положительно заряженными активными центрами на поверхности частиц относятся портландит, гидроксиды кальция и магния, гидроалюминаты кальция, оксиды железа, а с отрицательным знаком дзета-потенциала – гидросиликаты кальция, кварцевый песок, гранит, кварцитопесчаник и т. п. Следует отметить, что знак заряда активных центров на поверхности частиц карбонатов кальция зависит от состава внешней среды, условий синтеза и других факторов [13]. Проблема совместимости минеральных и органических добавок (супер- и гиперпластификаторов) в составе бетонной смеси представляет большой теоретический и практический интерес, что особенно важно учитывать, когда их вводят в количестве более двух в одну бетонную смесь. Этой проблеме в последнее время уделяется большое внимание как отечественными, так и зарубежными учеными и специалистами. Однако исследователями мало уделялось внимания таким важным показателям тонкодисперсных наполнителей, как знак и количественное содержание на их поверхности активных центров, несущих положительный или отрицательный заряды, хотя известно, что последние оказывают большое влияние на формирование структурно-механических свойств цементной матрицы бетона [14].

Между оптимальным количеством минеральных добавок и расходом цемента в бетонной смеси наблюдается взаимосвязь, поскольку оптимальное количество тонкодисперсного наполнителя является откликом системы на модификацию дисперсионной среды в бетоне, когда структура дисперсной фазы характеризуется наиболее благоприятными показателями насыщения минеральной добавкой. В этой связи вопрос о влиянии структурно-оптимальных дозировок минеральных добавок с различными электроповерхностными свойствами на водоредуцирующий эффект

суперпластификаторов в бетонах с низким содержанием цемента требует дополнительного рассмотрения.

Цель данной работы – исследовать влияние микронаполнителей с различными электроповерхностными свойствами на эффективность водоредуцирующего действия суперпластификатора и прочность бетонов с низким содержанием цемента.

Материалы и методы. Для исследований использовали составы бетонов с соотношением цемент:заполнитель = 1:8, что характерно для бетонов с низким содержанием цемента класса В 15, с расходом цемента $230\text{--}250 \text{ кг/м}^3$. В качестве крупного заполнителя применяли гранитный щебень размером 3–8 мм, верхний предел крупности частиц которого обусловлен размерами форм $2,5 \times 2,5 \times 10 \text{ см}$. Выбор используемой фракции щебня обусловлен тем, что в настоящее время на практике используется гранитный щебень фракции 3–10 мм (ГОСТ 8267–93), что вполне обосновано в связи с дефицитом крупных ($M_{кр} = 2,5\text{--}3$) и повышенной крупности ($M_{кр} = 3,0\text{--}3,5$) песков в РФ [15]. Мелкий заполнитель: кварцевый песок ($M_{кр} = 2,15$, ГОСТ 8736–2014). В качестве сырьевых материалов использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Осколцемент» ($\tau_{н.схв} = 230 \text{ мин}$; НГ = 26 %; $C_3S = 61,59 \%$, $C_2S = 14,2 \%$; $C_3A = 6,83 \%$, $C_4AF = 3,73 \%$), суперпластификатор Реопласт ПКЭ 3392 (ТУ 5745-002-25842763-2014). Использовали два вида микронаполнителей: тонкодисперсные кварц ($S_{уд} = 3866 \text{ см}^2/\text{г}$) и известняк ($S_{уд} = 3797 \text{ см}^2/\text{г}$).

Влияние вида и дозировки микронаполнителей на водоредуцирующее действие суперпластификаторов определяли по снижению В/Ц в равноподвижных бетонных смесях по распылу конуса (ГОСТ 310.4). Количество портландцемента оставалось постоянным во всех составах, по мере ввода наполнителей пропорционально снижали содержание заполнителей. Образцы после 1 сут твердения расформовывали и помещали в камеру нормального твердения, через 7 и 28 сут подвергали испытанию на прочность при изгибе и сжатии на лабораторном прессе ПГМ-100МГ4. Микроструктуру образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа «TESCAN MIRA 3 LMU» на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Основная часть. Авторами изучены характеристики шестикомпонентных бетонов с низким содержанием цемента, составы которых отличались видом тонкодисперсных наполнителей (табл. 1). В зависимости от дозировки кварцевого и известнякового наполнителей (20, 40, 55 и 70 %

от массы вяжущего) исследовали водоредуцирующее действие суперпластификатора, прочность образцов нормального твердения при изгибе и сжатии в ранний (7 сут) и нормативный сроки (28 сут) твердения. Результаты исследований приведены в таблице 1 и на рисунке 1 (а, б).

В бетонной смеси контрольного состава добиться разжижения, соответствующего нормальной консистенции (РК=106–115 мм), возможно только за счет большого расхода воды. При В/Ц равном 0,93 расплыв конуса достиг 112 мм, при этом частично рассыпался. Ввод суперпластификатора Реопласт ПКЭ 3392 не оказал существенного водоредуцирующего эффекта, наблюдалось

незначительное снижение В/Ц на 4,5 % (В/Ц=0,89). Малое содержание порошковой части снижает подвижность смеси, поэтому для обеспечения равноподвижности с другими составами, с более высоким содержанием тонкодисперсных компонентов, такие композиции требуют большого количества воды. При добавлении тонкодисперсного кварца от 20 до 70 % расход порошковой части (цемент+наполнитель) увеличился от 230 до 452 кг/м³, при этом наблюдалось снижение В/Ц с 0,68 до 0,51, то есть на 33 %.

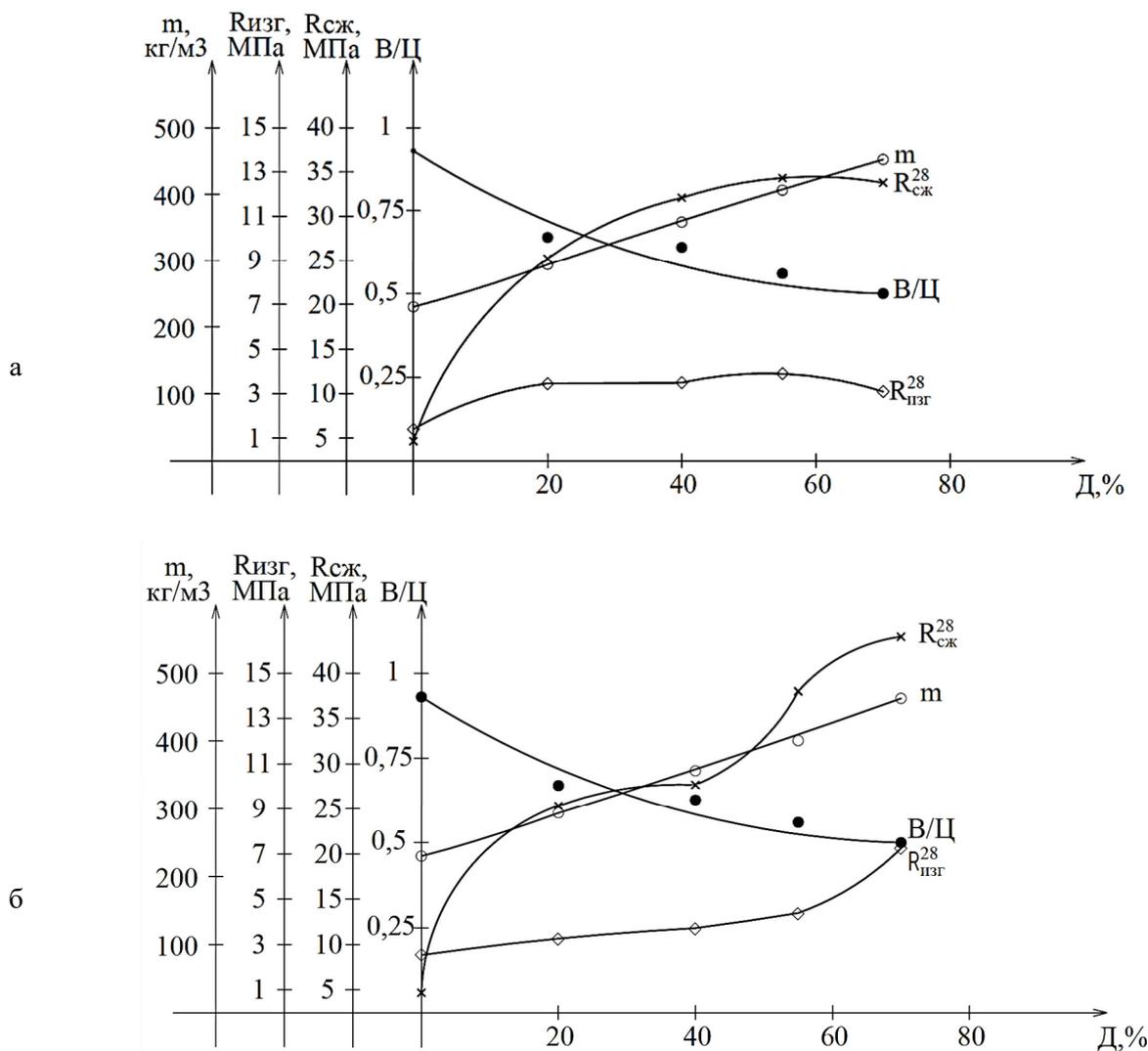


Рис. 1. Физико-механические свойства бетона с низким содержанием цемента: а) кварцевый наполнитель; б) известняковый наполнитель

Аналогичное водоредуцирующее действие суперпластификатора наблюдалось с ростом содержания известнякового микронаполнителя от 20 до 70 %, при этом В/Ц снижалось от 0,66 до 0,5 (32 %). Эффективность действия суперпластификатора в жирных составах выше, чем с меньшим содержанием порошковых компонентов. Вид ми-

нерального наполнителя при одинаковом содержании практически не сказывается на эффективности водоредуцирующего действия суперпластификатора в бетонных смесях с низким содержанием цемента, хотя как было установлено авторами ранее, оказывал заметное влияние на эффективность суперпластификаторов при разжижении наполненных цементных систем. Возможно, что при низких

значениях В/Ц, когда возрастает пластическая вязкость цементных систем, расплыв конуса (ГОСТ 310.4) не зависит от последней и слабо отражает реологические свойства дисперсных систем, поэтому такой способ малоинформативен [16].

Через 7 и 28 сут нормального твердения образцы испытывали на прочность при изгибе и сжатии. В 7-ми суточном возрасте прочность при сжатии образцов бетона с тонкодисперсным кварцем (20 %) составила 20,14 МПа, достигла максимального значения 32,17 МПа при дозировке 55 %, затем при дозировке 70 % незначительно снизилась (28,40 МПа), таким образом, в диапазоне дозировок 20–70 % максимальный прирост прочности $R^7_{сж}$ составил 59,7 % ($D_m = 55$ %). При этом прочность при изгибе монотонно возрастала по мере роста содержания наполнителя от 2,42 до 4,84 МПа. По мере роста дозировок тонкодисперсного известняка от 20 до 70 % прочность бетона возрастала до

20,29 МПа (20 %), 23,11 МПа (40 %), 36,75 МПа (55 %) и 49,82 МПа (70 %), достигнув максимального прироста $R^7_{сж}$ на 145 % при $D_m = 70$ %. Результаты испытаний на прочность через 28 сут твердения подтвердили установленную в ранние сроки зависимость: с ростом содержания молотого известняка прочность при сжатии образцов непрерывно возрастала: 25,37 МПа (20 %), 27,67 МПа (40 %); 38,02 МПа (55 %), 44,04 МПа (70 %), то есть рост прочности составил 74 % ($R^{28}_{сж}$). С кварцевым микронаполнителем прочность бетона в диапазоне дозировок 20–55 % составила 25,89 и 34,33 МПа, соответственно, затем при дозировке 70 % практически не изменялась. Таким образом, наибольший прирост прочности $R^{28}_{сж}$ на 32,6–30,6 % показали образцы, содержащие 55–70 % тонкодисперсного кварца. Следует отметить повышенную прочность при изгибе образцов бетона с известняковым наполнителем по сравнению с образцами на кварцевом наполнителе, особенно, при высоких дозировках.

Таблица 1

Влияние наполнителей на свойства бетонов с низким содержанием цемента

№	Ц:Щ:П: D_m	D_m , %	СП, %	В/Ц	РК, мм	$M_{ц+D_m}$, кг/м ³	$\rho_{б.см.}$, кг/м ³	R^7 , МПа		R^{28} , МПа	
								$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
1.1	1:4,02:3,98:0	0	0	0,93	112	230	2257	–	–	1,17	4,11
1.2	1:4,02:3,98:0	0	0,8	0,89	112	241	2359	–	–	1,35	4,45
Тонкодисперсный кварц, $S_{уд}=3866$ см ² /г											
2	1:3,9:3,9:0,2	20	0,8	0,68	112	294	2359	2,42	20,14	3,46	25,89
3	1:3,8:3,8:0,4	40	0,8	0,64	111	358	2384	3,84	27,76	3,46	31,94
4	1:3,72:3,72:0,55	55	0,8	0,56	112	406	2444	3,95	32,17	3,90	34,33
5	1:3,65:3,65:0,7	70	0,8	0,51	111	452	2478	4,84	28,40	3,10	33,81
Тонкодисперсный известняк, $S_{уд}=3797$ см ² /г											
6	1:3,9:3,9:0,2	20	0,8	0,66	112	294	2497	3,92	20,29	3,28	25,37
7	1:3,8:3,8:0,4	40	0,8	0,61	111	357	2430	5,24	23,11	3,74	27,67
8	1:3,72:3,72:0,55	55	0,8	0,55	113	401	2450	1,81	36,75	4,4	38,02
9	1:3,65:3,65:0,7	70	0,8	0,50	110	463	2490	7,63	49,82	7,26	44,04

По мере снижения водоцементного отношения происходит сближение частиц, что приводит к тесному межчастичному контакту, обуславливающему действие сил различной природы, способствующих формированию структуры твердения [17–18]. Применяемые минеральные тонкодисперсные кварц и известняк с различными электроповерхностными свойствами по-разному влияют на сцепление с цементной матрицей бетона. Между минеральным порошкообразным известняковым компонентом, характеризующимся положительными электроповерхностными свойствами и цементирующим веществом с противоположным знаком заряда, по мере снижения В/Ц и возникновением тесного контакта между ними, происходит усиление электростатического взаимодействия. Это обуславливает плотное срастание между поверхностью частиц известняка с положительно заряженными актив-

ными центрами и отрицательно заряженной цементной матрицей бетона (рис. 2, а), в результате прочностные характеристики бетона возрастают.

Большая часть поверхности кварцевого наполнителя контактирует с отрицательно заряженными гидросиликатами кальция, кристаллизующимися с огромной удельной поверхностью, обусловленной наноразмерностью частиц, что ослабляет силы сцепления между наполнителем и отрицательно заряженными центрами цементного камня. Кроме того, преобладание в структуре цементных композитов гидратационного твердения отрицательно заряженных элементов при эксплуатации может привести к ухудшению трещиностойкости изделий, росту ползучести, сопротивлению к динамическим нагрузкам. Предотвращение этих нежелательных процессов может быть обеспечено вводом в бетонные смеси минеральных наполнителей с активными центрами противоположного знака. Что лишний раз

подтверждает важность грамотного подбора всех компонентов бетонной смеси.

На фото (рис. 2, б) можно проследить трещины наноразмерного уровня по контактным поверхностям между частицами микрокварца и цементной матрицей. По-видимому, с увеличением

дозировки тонкодисперсного кварца и ростом площади поверхности контакта роль электроповерхностных взаимодействий возрастает, в результате сцепление с гидросиликатной связкой будет ослабевать, что снижает прочностные показатели бетона.

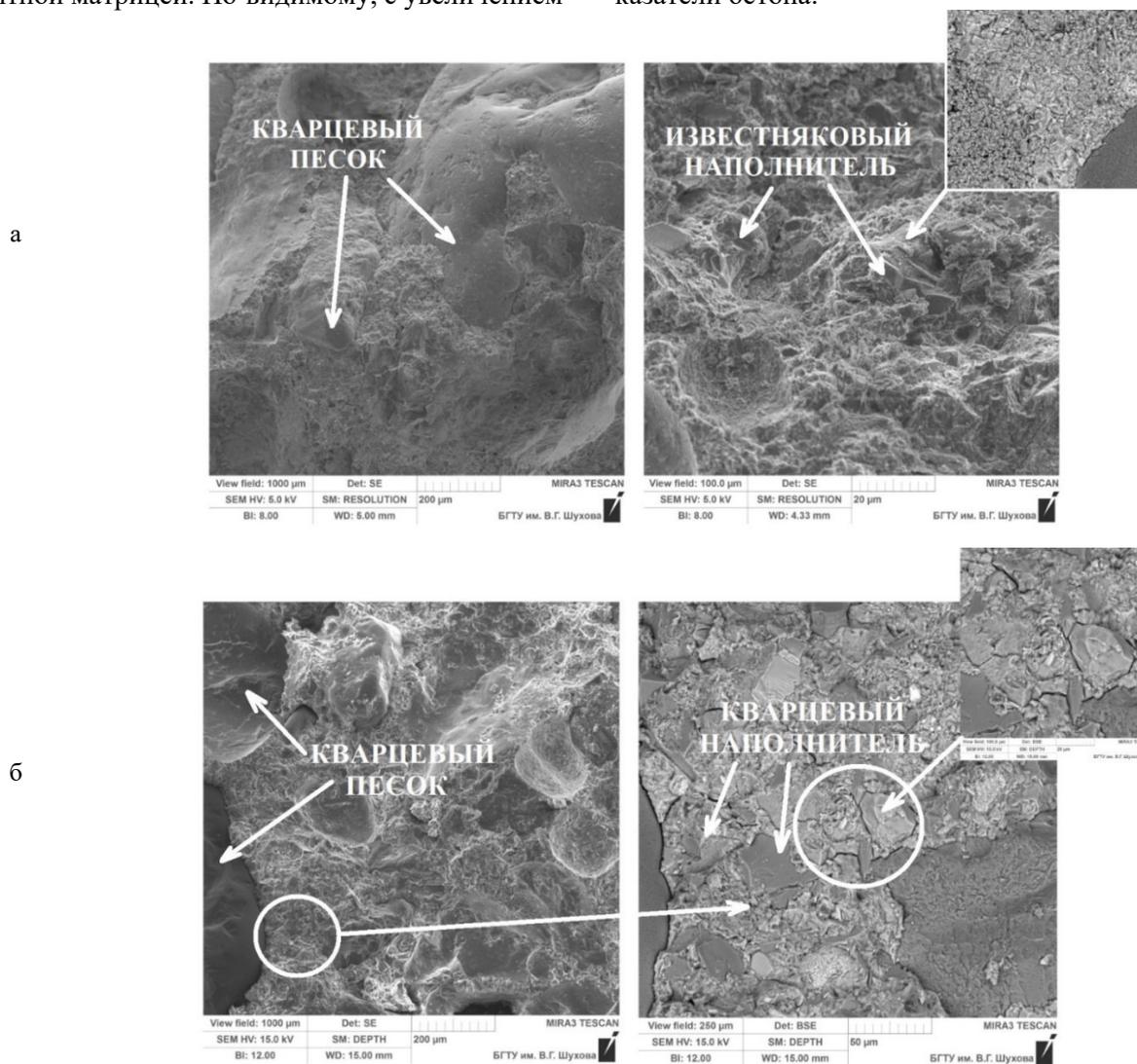


Рис. 2. Микроструктура бетона с 70 % наполнителей:
а) известняковый наполнитель; б) кварцевый наполнитель

Таким образом, роль состава минеральных порошкообразных материалов (электроповерхностные свойства) в процессах структурообразования цементной матрицы бетона усиливается по мере снижения В/Ц, за счет влияния на формирующиеся контактные поверхности между частицами наполнителей и цементным камнем.

Выводы. Применение тонкодисперсных наполнителей в бетонах с низким содержанием цемента позволяет добиться существенного снижения В/Ц на 23,5–40 % (относительно контрольного состава В/Ц=0,89) в равноподвижных смесях в зависимости от дозировки порошкового наполнителя (20–70 %), при этом вид наполни-

теля не оказывает заметного влияния на водоредуцирующую способность суперпластификатора, но играет значительную роль в процессах структурообразования цементной матрицы бетона, за счет влияния их электроповерхностных свойств на сцепление между частицами наполнителей и цементным камнем. В бетонах с низким содержанием цемента с ростом тонкодисперсных наполнителей от 20 до 70 % прочность бетона возрастает.

Влияние микронаполнителя на прочностные показатели бетона связаны с его электроповерхностными свойствами, дозировкой, величиной В/Ц. С увеличением содержания карбонатного

микронаполнителя от 20 до 70 % прочность бетона возрастает благодаря сцеплению частиц известняка с цементной матрицей бетона за счет взаимодействия отрицательно заряженных гидросиликатов кальция (CSH-фазы) с положительно заряженными активными центрами карбонатного наполнителя (CaCO_3). Тонкодисперсный кварцевый наполнитель повышает прочность бетона с низким содержанием цемента в диапазоне дозировок 20–55 %, затем при дозировке 70 % величина прочности нивелируется. Возможно, это обусловлено тем, что при взаимодействии частиц кварца с одноименно отрицательно заряженными гидросиликатами кальция цементной матрицы бетона, происходит ослабление срастания поверхности частиц кварца с цементной матрицей, что приводит к снижению прочности бетона.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет – 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. 2006. №10. С. 4–8.
2. Вовк А.И. О некоторых особенностях применения гиперпластификаторов // Технология бетона. 2007. №6. С. 12–13.
3. Prince W., Espagne M., Aitcin P.-C. Ettringite formation: A crucial step in cement superplasticizer compatibility // Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33, Issue 5. Pp. 635–641.
4. Burgos-Montes O., Palacios M., Rivilla P. et al. Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 31. Pp. 300–309.
5. Калашников В.В., Гуляева Е.В., Володин В.М. Высокоэффективные порошково-активированные бетоны различного функционального назначения с использованием суперпластификаторов // Строительные материалы. 2011. №11. С. 44–47.
6. Калашников В.И., Гуляева Е.В. Влияние вида и дозировки суперпластификатора на реотехнологические свойства цементных суспензий, бетонных смесей и порошково-активированных бетонов // Цемент и его применение. 2012. №2. С. 66–72.
7. Bian R.B., Miao C.W., Shen J. Review of chemical structures and synthetic methods for polycarboxylate superplasticizers. Eighth CANMET/ACI International Conference. Sorrento, Italy, 2006. Suppl. Papers, pp. 133–144.
8. Несветаев Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах // Строительные материалы. 2006. №10. С. 23–25.
9. Spiratos N., Page' M., Mailvaganam N.P., Malhotra V.M., Jolicoeur C. Superplasticizers for Concrete. Fundamental, Technology and Practice. Quebec, Canada, 2006. 322 p
10. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М.: Наука, 1998. 768 с.
11. Yamada K. A summary of important characteristics of cement and superplasticizers. Proc. of Ninth ACI International Conference. Seville, Spain, 2009.
12. Houst Y.F., Bowen P., Perche F. Design and function of novel superplasticizers for more durable high performance concrete (superplast project). Cem. and Concr. Res. 2008. Vol. 38. Pp. 1197–1209.
13. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Kosinova A.A., Khakhaleva E.N. The role and significance of electric and surface properties of mineral filler in increasing the frost resistance of powder concretes // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp 216–221,
14. Минаков С.В., Рахимбаев Ш.М. Влияние комплексных органических добавок на свойства цементного камня // Вестник ДонНУСА. 2010. №3(83). С. 43–46.
15. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов // Строительные материалы. 2022. №10. С. 41–51.
16. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н. Взаимосвязь между пластической вязкостью цементных систем и их реотехнологическими характеристиками // Вестник СибАДИ. 2018. № 15(2). С. 276–282. DOI:10.26518/2071-7296-2018-2-276-282
17. Сычев М.М. Природа активных центров, методы активации гидратации и твердения цементов // Цемент. 1992. №3. С. 79–89.
18. Казанская Е.Н., Сычев М.М. Активация твердения портландцемента // Цемент. 1991. №5. С. 31–35.

Информация об авторах

Толыпина Наталья Максимовна, доктор технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хахалева Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: hahaleva7@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Данилов Дмитрий Юрьевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: dimadan31@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чашин Дмитрий Юрьевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: dmitriyhashin11@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 06.06.2023 г.

© Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н., Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю., 2023

Tolykina N.M., *Khakhaleva E.N., Danilov D.Yu., Chashin D.Yu.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: hahaleva7@mail.ru*

THE EFFECT OF MICRO-FILLERS ON THE EFFECTIVENESS OF SUPERPLASTICIZERS AND THE STRENGTH OF LOW-CEMENT CONCRETES

Abstract. *In concretes of ordinary grades with a cement consumption of 180–250 kg/m³, the reduction in the water demand of the concrete mixture, even with the maximum consumption of superplasticizers, does not exceed 10 %. In this regard, the influence of micro-fillers with various electro-surface properties on the effectiveness of the superplasticizer and the strength of low-cement concrete is investigated.*

It is shown that in the concrete mixture of the control composition, achieving a normal consistency (PK = 106–115 mm) is possible only due to high water consumption, the water-reducing efficiency of the joint venture was only 4,5 %. It was found that with the addition of fine quartz from 20 to 70 %, the consumption of the powder part increased from 230 to 452 kg/m³, while there was a decrease in W / C from 0,68 to 0,51 (33 %), as well as an increase in strength by 40,5 % (R^{7 comp}) and 30,6 % (R^{28 comp}). With an increase in the dosage of limestone microfillers from 20 to 70 % W / C decreased from 0,66 to 0,5 (32 %), the strength increased by 145 % (R^{7 comp}) and 74% (R^{28 comp}).

Thus, the use of fine-dispersed fillers in low-cement concretes makes it possible to achieve a significant reduction in W/C by 23,6–43,8 % in equally mobile mixtures (GOST 310.4), depending on the dosage of the powder filler (20–70 %), while the type of filler does not have a noticeable effect on the water-reducing ability of the superplasticizer, but plays a significant role in the processes of structure formation of cement concrete matrices, due to the influence of their electro-surface properties on the adhesion between filler particles and cement stone. In low-cement concretes, with the growth of fine fillers from 20 to 70 %, the strength of concrete increases.

Keywords: *superplasticizer, low-cement concrete, water-reducing ability, strength, concrete mix, concrete.*

REFERENCES

1. Batrakov V.G. Concrete modifiers: new opportunities and prospects [Modifikatory betona: nyye vozmozhnosti i perspektivy]. Building materials. 2006. No. 10. Pp. 4–8.
2. Vovk A.I. On some features of the use of hyperplasticizers [O nekotoryh osobennostyah primeniya giperplastifikatorov]. Technology of concrete. 2007. No. 6. Pp. 12–13.
3. Prince W., Espagne M., Aïtcin P.-C. Ettringite formation: A crucial step in cement superplasticizer compatibility. Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33, Issue 5. Pp. 635–641.
4. Burgos-Montes O., Palacios M., Rivilla P. et al. Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 31. Pp. 300–309.
5. Kalashnikov V.V., Gulyaeva E.V., Volodin V.M. Highly effective powder-activated concretes of various functional purposes using superplasticizers [Vysokoeffektivnye poroshkovo-aktivirovannyye betony razlichnogo funktsional'nogo naznacheniya s ispol'zovaniem superplastifikatorov]. Building materials. 2011. No.11. Pp. 44–47.
6. Kalashnikov V.I., Gulyaeva E.V. Influence of the type and dosage of superplasticizer on rheological properties of cement suspensions, concrete mixtures and powder-activated concretes [Vliyaniye vida i dozirovki superplastifikatora na reotekhnologicheskie svoystva cementnyh suspenzij,

betonnyh smesej i poroshkovo-aktivirovannyh betonov]. Cement and its application. 2012. No.2. Pp. 66–72.

7. Bian R.B., Miao C.W., Shen J. Review of chemical structures and synthetic methods for polycarboxylate superplasticizers. Eighth CANMET/ACI International Conference. Sorrento, Italy, 2006. Suppl. Papers, pp. 133–144.

8. Nesvetaev G.V. The effectiveness of the use of superplasticizers in concrete [Effektivnost' primeniya superplastifikatorov v betonah]. Building materials. 2006. No. 10. Pp. 23–25.

9. Spiratos N., Page' M., Mailvaganam N.P. Malhotra V.M., Jolicoeur C. Superplasticizers for Concrete. Fundamental, Technology and Practice. Quebec, Canada, 2006. 322 p

10. Batrakov V.G. Modified concrete. Theory and practice [Modified concrete. Theory and practice]. 2nd edition, revised and supplemented. Moscow: Nauka, 1998. 768 p.

11. Yamada K. A summary of important characteristics of cement and superplasticizers. Proc. of Ninth ACI International Conference. Seville, Spain, 2009.

12. Houst Y.F., Bowen P., Perche F. Design and function of novel superplasticizers for more durable high performance concrete (superplast project). Cem. and Concr. Res. 2008. Vol. 38. Pp. 1197–1209.

13. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Kosinova A.A., Khakhaleva E.N. The role and significance of electric and surface properties of mineral filler in increasing the frost resistance of powder

concretes. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 216–221,

14. Minakov S.V., Rahimbaev Sh.M. The effect of complex organo-mineral additives on the properties of cement stone [Vliyanie kompleksnyh organo-mineral'nyh dobavok na svoystva cementnogo kamnya]. Vestnik DonNASA. 2010. No.3 (83). Pp. 43–46.

15. Kapriellov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A. Optimization of concrete technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations [Optimizatsiya parametrov tekhnologii betona dlya obespecheniya termicheskoy treshchinostojkosti massivnyh fundamentov]. Building Materials. 2022. No. 10. Pp. 41–51.

16. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N. The relationship between the plastic viscosity of cement systems and their rheotechnological characteristics [Vzaimosvyaz' mezhdu plasticheskoy vyazkost'yu cementnyh sistem i ih reotekhnologicheskimi harakteristikami]. Bulletin of SibADI. 2018. No. 15(2). Pp. 276–282. DOI:10.26518/2071-7296-2018-2-276-282

17. Sychev M.M. The nature of active centers, methods of activation of hydration and hardening of cements [Priroda aktivnyh centrov, metody aktivatsii gidratsii i tverdeniya cementov]. Cement. 1992. No. 3. Pp. 79–89.

18. Kazanskaya E.N., Sychev M.M. Activation of hardening of Portland cement [Aktivatsiya tverdeniya portlandcementsa]. Cement. 1991. No. 5. Pp. 31–35.

Information about the authors

Tolypina, Natalia M. DSc, Professor. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Khakhaleva, Elena N. PhD, Assistant professor. E-mail: hahaleva7@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Danilov, Dmitry Yu. Postgraduate student. E-mail: dimadan31@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chashin, Dmitry Yu. Postgraduate student. E-mail: dmitriychashin11@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 06.06.2023

Для цитирования:

Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н., Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю. Влияние микронаполнителей на эффективность суперпластификаторов и прочность бетонов с низким содержанием цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 8. С. 8–15. DOI:10.34031/2071-7318-2023-8-8-8-15

For citation:

Tolypina N.M., Khakhaleva E.N., Danilov D.Yu., Chashin D.Yu. The effect of micro-fillers on the effectiveness of superplasticizers and the strength of low-cement concretes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 8. Pp. 8–15. DOI:10.34031/2071-7318-2023-8-8-8-15