

УДК 691.327

ВЛИЯНИЕ КВАРЦЕВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА GLENIUM® ACE 430 НА РАННИЮ ПРОЧНОСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С УСКОРИТЕЛЕМ ТВЕРДЕНИЯ

¹Добшиц Л.М., ²Кононова О.В., ²Анисимов С.Н., ²Лешканов А.Ю., ²Смирнов А.О.

¹ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»,
Москва, e-mail: levdobshits@yandex.ru;

²ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»,
Йошкар-Ола, e-mail: ov-kononova@mail.ru, ansernik3@gmail.com

Проведен анализ влияния кварцевого наполнителя на раннюю прочность пластифицированного мелкозернистого бетона с ускорителем твердения. В состав мелкозернистого бетона вводился кварцевый наполнитель с удельной поверхностью 100 м²/кг, суперпластификатор поликарбоксилатного типа Glenium® ACE 430 и ускоритель твердения X-SEED® 100. Исследована ранняя прочность при твердении бетона в нормальных условиях в течение 1...3 календарных дней. В составах бетона соотношение по массе цемента и песка варьировалось от 1,0 до 0,5, кварцевый наполнитель вводился взамен части песка от 0 до 25 % по массе, содержание суперпластификатора варьировалось от 0,6 до 0,8 % от массы цемента. Все составы содержали ускоритель твердения X-SEED® 100 в количестве 0,5 % от массы цемента. Содержание воды в составах бетона обеспечивало получение самоуплотняющихся смесей с распылом 220...240 мм при испытании в конусе Хегерманна. Установлено, что водоцементное отношение и концентрация суперпластификатора Glenium® ACE 430 в целом отражают особенности формирования ранней прочности мелкозернистого бетона с используемыми добавками.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, суперпластификатор, ускоритель твердения, кварцевый наполнитель, ранняя прочность, водоцементное отношение

THE SILICA FILLER AND GLENIUM® ACE 430 SUPERPLASTICIZER INFLUENCE TO THE FINE-GRAINED CONCRETE WITH HARDENING ACCELERATORS EARLY STRENGTH

¹Dobshits L.M., ²Kononova O.V., ²Anisimov S.N., ²Leshkanov A.Y., ²Smirnov A.O.

¹Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, e-mail: levdobshits@yandex.ru;

²Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: @volgatech.net, ansernik3@gmail.com

The silica filler to the plasticized fine concrete with hardening accelerator early strength influence analyzed. The composition of fine concrete was supplemented with 100 m²/kg specific surface quartz filler, a polycarboxylate type Glenium® ACE 430 superplasticizer and X-SEED® 100 hardening accelerator. The normal hardening conditions for 1...3 days concrete early strength studied. In concrete compositions the cement and sand weight ratio was varied from 1,0 to 0,5, siliceous filler was injected instead of sand from 0 to 25 % by weight, the superplasticizer content was varied from 0.6 to 0,8% by the cement weight. All the compositions contained 0,5% of X-SEED® 100 hardening accelerator by the cement weight. The concrete compositions water content provided getting of self-compacting mixtures with 220...240 mm blurring, when tested in Hagerman cone. It was found that the water-cement ratio and Glenium® ACE 430 superplasticizer concentration generally show the fine grained concrete with additives used early strength formation features.

Keywords: fine concrete, superplasticizer, a hardening accelerator, silica filler, early strength, water-cement ratio

На современном этапе строительство испытывает потребность в увеличении производства качественных бетонных и сухих растворных смесей с минеральными добавками на основе местных минеральных ресурсов. Применение минеральных добавок в цементах оказывает положительное влияние на стойкость цементного камня к коррозии, но замедляет твердение бетонных конструкций в ранние сроки. В качестве минеральных добавок используют активные и инертные материалы природного и техногенного происхождения [1, 6]. В наполненном минеральными добавками цементном вяжущем частицы минеральной добавки могут быть крупнее и мельче сред-

него размера частиц цемента и могут в разной степени проявлять свою химическую активность. Размер частиц применяемых минеральных добавок – от 160 до 0,05 мкм. Рациональный размер частиц минеральных добавок в бетонах связан с их поверхностной активностью. Например, удельная поверхность высокоактивного микрокремнезема составляет 15000...20000 м²/кг при среднем размере частиц 0,50...0,05 мкм, что в 100 раз меньше чем у цемента. Располагаясь в межзерновой пустотности цемента, частицы микрокремнезема как наполнитель уплотняют структуру цементного камня [1, 6]. Проявляя при этом высокую поверхностную активность

и взаимодействуя с портландитом, они способствуют упрочнению контактной зоны между цементным камнем и заполнителем в бетонах и растворных смесях [7]. При использовании инертной добавки, например кварцевого наполнителя, как показывают исследования, уменьшение удельной поверхности с 900 до 100 м²/кг снижает водопотребность составов, способствует снижению объемных деформаций усадки и уменьшению поврежденности трещинами композитов при длительных периодах эксплуатации [5]. Понижение водопотребности цементных композиционных материалов с минеральными добавками достигается совместным применением минеральных добавок с суперпластификаторами, обладающими значительным водоредуцирующим эффектом [3, 4, 2]. Наибольший водоредуцирующий эффект можно получить при использовании суперпластификаторов на основе поликарбоксилатного эфира (PCE) [2]. Если действие традиционных суперпластификаторов типа SMFC и SNFC связано с электростатическим отталкиванием частиц цемента, то действие PSE суперпластификаторов дополнительно обусловлено стерическим эффектом [2].

При возведении монолитных бетонных конструкций кинетика набора ранней прочности диктует темпы и качество строительных работ. В случае использования суперпластификаторов совместно с минеральными добавками важно оценить влияние их дозировки на кинетику набора ранней прочности бетонов. При выявлении эффекта замедления кинетики твердения на ранней стадии необходимо найти способ его устранения. Представляется целесообразным исследовать влияние содержания суперпластификатора и минерального наполнителя на кинетику ранней прочности в присутствии ускорителя твердения.

Целью исследования являлось изучение кинетики набора ранней прочно-

сти мелкозернистого бетона с ускорителем твердения в зависимости от содержания PSE суперпластификатора и кварцевого наполнителя.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены на мелкозернистом бетоне с кварцевым наполнителем, полученным помолотом местного природного мелкозернистого кварцевого песка до удельной поверхности $S_{уд} = 100$ м²/кг. Для приготовления мелкозернистого бетона применялся портландцемент ЦЕМ 42,5Н производства ЗАО «Ульяновскцемент». В качестве заполнителя использовался природный кварцевый песок с модулем крупности $M_k = 1,9$. Кварцевый наполнитель с удельной поверхностью $S_{уд} = 100$ м²/кг вводился взамен части кварцевого песка. Эффект самоуплотнения и водопонижения достигался использованием суперпластификатора Glenium® ACE 430 компании BASF. В качестве ускорителя твердения во всех составах использовалась добавка X-SEED®100 в количестве 0,5% от массы цемента. Химические добавки вводились в бетонную смесь с последней третью воды затворения. Приготавливались равноподвижные смеси, содержащие такое минимальное количество воды, при котором они переходили в литую консистенцию и приобретали способность к самоуплотнению: диаметр растекания смесей контролировался испытанием в конусе Хегерманна и составлял 220...240 мм. Прочность составов определялась в возрасте 1, 2 и 3 суток испытанием на прессе образцов размером 20×20×20 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследовано влияние содержания цемента (по соотношению цемент:песок), содержания кварцевого наполнителя (по частичной замене наполнителем кварцевого песка) и влияние содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 в присутствии 0,5% ускорителя твердения X – SEED®100 на раннюю прочность мелкозернистого бетона и формирование водопотребности равноподвижных самоуплотняющихся смесей. Границы варьирования переменных факторов приведены в таблице.

Уровни варьирования переменных факторов

Наименование переменных факторов	Уровни варьирования переменных факторов		
	-1	0	+1
1. Соотношение цемент: песок по массе	0,5	0,75	1
2. Частичная замена песка П кварцевым наполнителем Н с удельной поверхностью $S_{уд} = 100$ м ² /кг, Н/(П + Н), %	0	12,5	25
3. Содержание суперпластификатора Glenium® ACE 430, % от массы цемента	0,6	0,7	0,8

Исследования показали, что присутствие кварцевого наполнителя положительно сказывается на снижении расслаиваемости и способности смеси к самоуплотнению,

но при введении его вместо части песка повышает водопотребность составов. Анализ водопотребности исследуемых составов позволил количественно оценить влияние

кварцевого наполнителя и суперпластификатора Glenium® ACE 430 на водоцементное отношение (В/Ц).

Результаты формирования водопотребности составов по показателю В/Ц представлены на рис. 1.

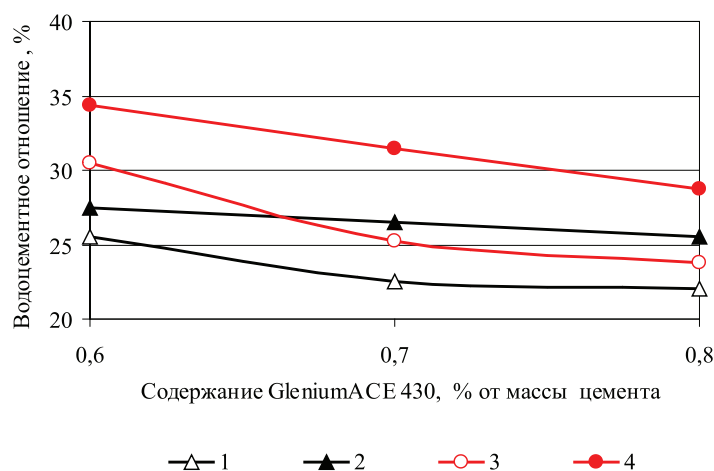


Рис. 1. Влияние содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 на водопотребность смесей без наполнителя (составы № 1 и 3) и при замене 25% песка кварцевым наполнителем (составы № 2 и 4); соотношение цемент:песок по массе в составах № 1 и 2 равно 1,0, а в составах № 3 и 4 равно 0,5

Водопотребность составов с соотношением цемент:песок (Ц/П) = 1,0 (составы № 1 и 2) при прочих равных условиях ниже, чем в составах с соотношением Ц:П = 0,5 (составы № 3 и 4) на 7...20%. Разница в водопотребности этих составов уменьшается с 16...20 до 7...11% с увеличением содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 от 0,6 до 0,8% от массы цемента.

Рис. 1 наглядно показывает, что в составах без наполнителя (составы № 1 и 3) водоцементное отношение также снижается, причем наиболее интенсивно оно снижается при повышении содержания Glenium® ACE 430 с 0,6 до 0,7% от массы цемента. Замена в составах песка на 25% кварцевым наполнителем в сравнении с составами без наполнителя повышает показатель В/Ц в составах с соотношением Ц/П = 1,0 на 7...15%, а при соотношении П/Ц = 0,5 – на 11...20%. Увеличение содержания суперпластификатора от 0,6 до 0,8 у состава № 4 с соотношением П/Ц = 0,5 и при замене 25% кварцевого песка наполнителем снизило показатель В/Ц на 16%.

Анализ формирования водопотребности составов по водотвердому отношению (В/Т) выявил, что в условиях равноподвижности этот показатель снижается в пределах исследуемого диапазона варьирования факторов за счет снижения расхода цемента, кварцевого наполнителя и увеличения содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 с 13,8 до 7,9% по массе.

На рис. 2 приведены результаты исследования прочности при сжатии в су-

точном возрасте составов с соотношением цемент:песок = 1,0 и 0,5 в присутствии 0,5% ускорителя твердения X – SEED® 100.

Анализ результатов показал, что при повышении содержания Glenium® ACE 430 с 0,6 до 0,7% от массы цемента прочность всех составов возрасте 1 календарного дня сохраняется практически на одном уровне. Дальнейшее увеличение в них содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 свыше 0,7% от массы цемента снижает раннюю суточную прочность.

Состав № 2 с кварцевым наполнителем имеет прочность выше, чем состав № 1 без наполнителя. Максимальная суточная прочность получена у состава № 2 – 34 МПа при содержании суперпластификатора Glenium® ACE 430 с 0,6% от массы цемента. У состава № 3 с соотношением Ц/П = 0,5, не содержащего кварцевого наполнителя суточная прочность выше, чем у состава № 4, в котором 25% песка заменены кварцевым наполнителем. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии соотношения Ц/П на эффективность применения кварцевого наполнителя, с удельной поверхностью $S_{уд} = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$. В составе № 2 его положительная роль проявилась в повышении кинетики нарастания суточной прочности при использовании суперпластификатора Glenium® ACE 430.

На рис. 3 приведены значения прочности составов мелкозернистого бетона в трехсуточном возрасте.

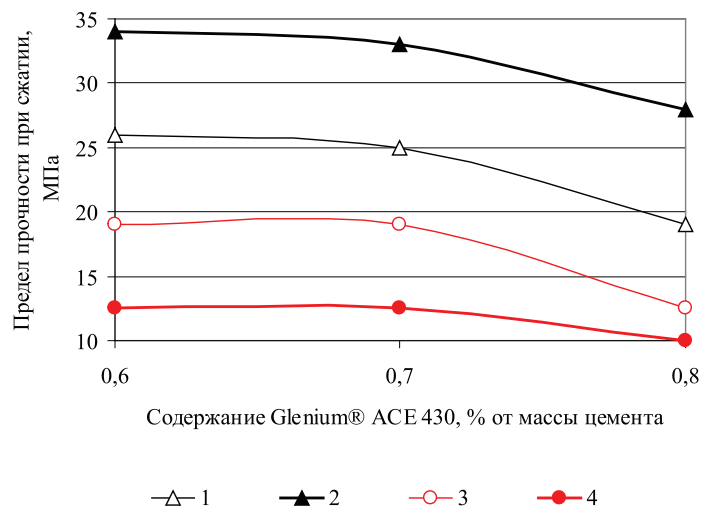


Рис. 2. Суточная прочность составов мелкозернистого бетона при соотношении цемент:песок (C/P) = 1,0 (составы № 1 и 2) и C/P = 0,5 (составы № 3 и 4); частичная замена кварцевого песка кварцевым наполнителем с $S_{уд} = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$: в составах № 2 и 4 – 25%, в составах № 1 и 3 – 0%

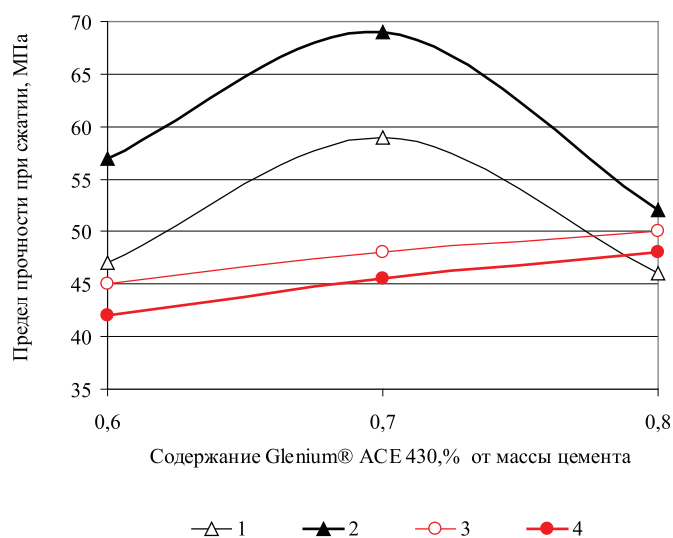


Рис. 3. Трехсуточная прочность составов мелкозернистого бетона при соотношении цемент:песок (C/P) = 1,0 (составы № 1 и 2) и C/P = 0,5 (составы № 3 и 4); частичная замена кварцевого песка кварцевым наполнителем с $S_{уд} = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$: в составах № 2 и 4 – 25%, в составах № 1 и 3 – 0%

Анализ результатов показал, что увеличение содержания Glenium® ACE 430 с 0,6 до 0,7% от массы цемента в составах № 1 и 2 приводит к росту трехсуточной прочности. Увеличение содержания суперпластификатора с 0,6 до 0,7% от массы цемента позволило повысить прочность состава № 1 с 47 до 59 МПа, а состава № 2 – с 57 до 69 МПа. Дальнейшее повышение содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 с 0,7 до 0,8% от массы цемента приводит к понижению

трехсуточной прочности, что связано с увеличением индукционного периода твердения цемента. Состав № 2 с кварцевым наполнителем имеет прочность выше, чем состав № 1 без наполнителя.

В составах № 3 и 4 с ростом содержания суперпластификатора от 0,6 до 0,8% от массы цемента отмечается рост прочности во всем диапазоне. При соотношении цемент:песок = 0,5 присутствие кварцевого наполнителя с удельной поверхностью $100 \text{ м}^2/\text{кг}$ понижает прочность составов на 5%.

Применение ускорителя твердения X – SEED®100 позволило через сутки получить прочность исследуемых составов в пределах 10...34 МПа, а в возрасте трех суток – от 42 до 69 МПа.

Выводы

1. В присутствии ускорителя твердения X–SEED®100 получены составы мелкозернистого бетона с высокой прочностью в возрасте 1...3 календарных дней. Отмечено сдерживание роста ранней прочности составов с соотношением цемент:песок = 1,0 при повышении содержания суперпластификатора Glenium® ACE 430 свыше 0,7% от массы цемента.

2. Введение кварцевого наполнителя взамен части песка позволяет регулировать концентрацию суперпластификатора на поверхности твердых частиц, что открывает дополнительную возможность регулирования кинетики ранней прочности мелкозернистого бетона и решения задачи ускорения темпов строительства.

3. Соотношение цемент:песок, содержание кварцевого наполнителя и концентрация суперпластификатора Glenium® ACE 430 в целом отражают взаимосвязь формирования водопотребности смесей и ранней прочности мелкозернистого бетона в присутствии ускорителя твердения X–SEED®100.

Список литературы

1. Высокский С.А. Минеральные добавки для бетонов // Бетон и железобетон. – 1994. – № 2. – С. 7–10.
2. Добавки в бетон. Технический каталог; ноябрь, 2009. – М.: BUSF Construction Chemicals, 2009. – 136 с.
3. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Лешканов А.Ю. Влияние поликарбоксилатных суперпластификаторов на структурообразование цементных паст // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5 (часть 5). – С. 945–948; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10003291 (дата обращения: 09.07.2014).
4. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Кинетика набора прочности цементного камня с модифицирующими добавками // Цемент и его применение. – 2011. – № 4. – С. 104–107.
5. Добшиц Л.М., Кононова О.В. Прочность и долговечность бетонов в зависимости от дисперсности цемента и наполнителей // Бетон и железобетон – взгляд в будущее:

Материалы междунар. конференции III Всеросс. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. – М., 12–16 мая 2014. – Т. III. – М.: РАН, 2014. – С. 279–290.

6. Крекшин В.Е. О влиянии тонкодисперсных фракций песка на микроструктуру бетона // Совершенствование строительства наземных объектов нефтяной и газовой промышленности // Сб. науч. трудов НПО «Гидротрубопровод». – М., 1990. – С. 23–26.

7. Bendz Dale P., Garfodzi Edward J. Simulation studies of the effects of mineral admixtures on the cement paste-aggregate interfacial zone // ACI Mater. J. – 1991. – Vol. 88. – № 8. – P. 518–529.

References

1. Vysotskiy S.A. Mineralnye dobavki dlya betona // Beton i zhelezobeton. 1994. no. 2. pp. 7–10.
2. Dobavki v beton. Tekhnicheskii katalog; noyabr, 2009. M.: «BUSF Construction Chemicals», 2009. 136 p.
3. Dobshits L.M., Kononova O.V., Anisimov S.N., Leshkanov A.Yu. Vliyaniye polikarboksilatnykh superplastifikatorov na strukturoobrazovanie tsementnykh past // Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 5 (chast 5). pp. 945–948; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10003291 (data obrashcheniya: 09.07.2014).
4. Dobshits L.M., Kononova O.V., Anisimov S.N. Kinetika nabora prochnosti tsementnogo kamnya s modifitsiruyushchimi dobavkami // Tsement i ego primenenie. 2011. no. 4. pp. 104–107.
5. Dobshits L.M., Kononova O.V. Prochnost i dolgovechnost betonov v zavisimosti ot dispersnosti v zavisimosti ot dispersnosti cementa i napolniteley // Materiali mejdunar. konferencii «Beton i jelezobeton vzgliad v budushee. III vseros. (II mejdunar.) konferenciya po betonu i jelezobetonu M., 12–16 maya 2014. tom III. M.: RAN. 2014. pp. 279–290.
6. Krekshin V.Ye. O vliyaniy tonkodispersnykh fraktsiy peska na mikrostrukturu betona // Soversh. str-va nazem. obektov nef. i gaz. prom-sti. Sb.nauch.trudov NPO «Gidrotuboprovod». M., 1990. pp. 23–26.
7. Bendz Dale P., Garfodzi Edward J. Simulation studies of the effects of mineral admixtures on the cement paste-aggregate interfacial zone // ACI Mater. J. 1991. Vol. 88. no. 8. pp. 518–529.

Рецензенты:

Краснов А.М., д.т.н., профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Салихов М.Г., д.т.н., профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.

Работа поступила в редакцию 12.11.2014.