Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2019, №6, Том 11 / 2019, No 6, Vol 11 https://esj.today/issue-6-2019.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/113SAVN619.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:
Коржаева Е.Э., Войщев А.Е., Хошафян С.О., Батаева Ф.А., Бунтов В.В., Искандеров Р.Д. Исследование влияния рецептурных факторов на формирование слитной структуры и свойства тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки, 2019 №6, https://esj.today/PDF/113SAVN619.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:
Korzhaeva E.E., Voishchev A.E., Khoshafyan S.O., Bataeva F.A., Buntov V.V., Iskanderov R.D. (2019). Study of the influence of prescription factors on the formation of the fusion structure and properties of heavy concrete. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(11). Available at: https://esj.today/PDF/113SAVN619.pdf (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Коржаева Екатерина Эдуардовна
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: hett3351@gmail.com

Войщев Александр Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: 591alex97x@gmail.com

Хошафян Сергей Ованесович
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: khoshafyan97@mail.ru

Батаева Фариза Ахмедовна
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: bataevafariza@mail.ru

Бунтов Виктор Валерьевич
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: buntowictor@icloud.com

Искандеров Руслан Джаббарович
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: iskander_rusdjabb@yandex.ru

Исследование влияния рецептурных факторов на формирование слитной структуры и свойства тяжелого бетона

Аннотация. В статье рассматривается влияние тонкодисперсных и химических добавок на формирование слитной структуры бетонов. Установлено, что введение оптимального

количества молотого песка и тонкодисперсных компонентов (золы и диатомита) в мелкозернистые и обычные тяжелые бетоны приводит к увеличению прочности. Смесь извести с молотым речным песком состава 1:3 в нормальных условиях не твердеет вообще, при этом добавление в смесь золы Ступинской ТЭЦ поднимает прочность до минимального значения 1,1 МПа, а добавка золы Новосибирской ТЭЦ при пропаривании полученных образцов приводит к резкому росту прочности до 13,2 МПа. Следовательно, увеличение прочности бетона при добавлении в него различных компонентов доказывает, что объяснять «эффект микронаполнителя» только за счет гидравлической активности является некорректным. Некоторые ученые полагают, что «эффект микронаполнителя» невозможно объяснить только за счет образования дополнительных центров кристаллизации, так как они непосредственно влияют на ускорение начальной стадии химического твердения. Многочисленные исследования показывают, что бетоны на основе зол ТЭЦ имеют более низкие темпы роста прочности в начальный период твердения, чем без золы, а в более поздний, напротив, – более высокий. Исследовалось влияние вида добавки и ее дозировки на прочность при сжатии, среднюю плотность и однородность прочности (коэффициент вариации) бетона слитной структуры. При этом контрольный состав был без добавок. В итоге из трех дозировок добавки С-3 была выбрана оптимальная: расход цемента Ц = 345 кг/м^3; количество добавки-суперпластификатора – 0,5 % от массы цемента. Применение добавки существенно улучшает однородность прочности при сжатии бетона слитной структуры, то есть положительно влияет на значение коэффициента вариации прочности бетона на сжатие.

Вклад авторов.

Коржаева Екатерина Эдуардовна – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Войщев Александр Евгеньевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Хошафян Сергей Ованесович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Батаева Фариза Ахмедовна – автор осуществил написание статьи.

Нагев Алий Шумафович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Искандеров Руслан Джаббарович – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон; слитная структура; микронаполнитель; тонкодисперсная добавка; химическая добавка; суперпластификатор; коэффициент вариации прочности бетона на сжатие

Значительный интерес к мелкозернистым бетонам и, в частности, к их структуре и характеристикам в основном обусловлен недостатком крупных заполнителей в регионах России. Но обычная замена щебня шлаковым или крупным кварцевым песком не ведет к достижению требуемых результатов в экономическом и технологическом аспектах. Чтобы избежать данных недостатков используются различные технологические методы: домол вяжущего, классификация крупного и мелкого заполнителей, использование различных видов микронаполнителей, повышение интенсивности перемешивания, вакуумирование бетонной смеси, применение разнообразных методов уплотнения. У каждого из вышеперечисленных способов есть свои достоинства и недостатки. Домол цемента, например, с кварцевым песком на предприятиях, производящих бетонные и железобетонные изделия, усложняется тем, что необходимо специальное оборудование для помола и пылеосаждения. В России данный способ практически так и не реализовался. Большую роль в формировании прочности мелкозернистых бетонов и подвижности смесей играют размер, форма зерен и качество песка. Во многих работах приведены критерии получения оптимальных результатов:

- применение крупного песка без вредных примесей, имеющего малую удельную поверхность и пустотность;
- варьирование зерновым составом песка;
- использование песка соседних фракций.

Наполнители вводят в бетонные смеси двумя известными способами, которые существенно отличаются между собой:

1. замена части цемента с сохранением содержания дисперсных частиц в смеси;
2. замена части кварцевого песка, при этом содержание дисперсных частиц в смеси увеличивается.

Существуют также комбинированные методы, когда добавка частично заменяет и вяжущее и заполнитель. При этом проявление микронаполняющего эффекта наблюдается только в случае увеличения содержания дисперсных частиц в смеси. Однако пуццолановая активность имеет место при использовании обоих способов введения добавок [1–3].

В идеале необходимо получить предельное (оптимальное) значение степени наполнения смеси минеральным наполнителем, характеризуемое оптимальным количеством вводимого наполнителя по отношению к цементу. Превышение этого значения приводит к ухудшению сцепления наполненного цементного камня с заполнителем, нарушению зон контактов между гранулами клинкера, что в результате ведет к уменьшению прочности бетона [1; 4].

Ряд авторов сходится во мнении, что «эффект микронаполнителя» базируется на способности частиц тонкодисперсных наполнителей выполнять функцию центров кристаллизации, то есть ускорять начальную стадию процесса химического твердения [5].

В работах, указанных выше, авторами исследовались образцы цементного камня. В работе [6] описывается эксперимент по определению прочности обычных тяжелых и мелкозернистых бетонов, содержащих оптимальное количество молотого песка и тонкодисперсных наполнителей.

Установлено, что введение оптимального количества молотого песка и тонкодисперсных наполнителей (золы и диатомита) в обычные тяжелые и мелкозернистые бетоны приводит к повышению прочностных характеристик.

Контактная зона между цементным камнем и заполнителем может упрочняться в случае наличия в бетоне тонкодисперсного наполнителя [7; 8].

Контактная зона в портландцементных бетонах подвержена образованию микротрещин при растягивающих усилиях. Эти усилия связаны с изменениями температурно-влажностного режима. Следовательно, контактная зона оказывает большое влияние на прочность бетона, являясь при этом наиболее слабой зоной. Это обусловлено, не такой высокой плотностью этой зоны, как в случае с массивным тестом, а также содержанием в составе зоны пластинчатых кристаллов гидроксида кальция в значительном количестве, продольная ось их при этом является нормальной к поверхности заполнителя [7]. В работе [8] приведен статистический анализ данных, отражающий тот факт, что, если вводить в смесь с водоцементным отношением до 0,4 инертные наполнители в количестве до 10 %, то это не окажет на микроструктуру контактной зоны влияния, исключая смеси с повышенным водоотделением.

Положительным образом на микроструктуру зоны оказывает введение относительно небольшого объема кремнеземистой пыли, которая по сути является минеральным наполнителем с высокой реакционной способностью [9].

По мнению авторов [10], активность наполнителей в цементных системах существенно повышается после их помола. Так, в процессе помола золы-уноса до удельной поверхности величиной 6000 см^2/г разрушаются агломераты зольных частиц, обнажаются активные поверхности стекловидных глобулитов. В результате этого в цементных системах происходит повышение активности зол.

Автором работы [11] отмечено следующее. Помол гранулированного доменного шлака приводит к снижению степени полимеризации силикатного и алюминатного каркаса «шлакового стекла»; переходу части ионов алюминия из тетраэдрической в октаэдрическую координацию, тое сеть более слабой связи; переходу «квазикристаллических» компонентов акерманита и геленита в термодинамически метастабильное рентгено-аморфное состояние в структуре наполнителя. В результате этих изменений существенно повышается гидравлическая активность шлака.

Тонкомолотыми минеральными наполнителями (ТМН) также косвенно оказывается воздействие на прочностные характеристики бетона, уменьшая водопотребность на стадии приготовления бетонной смеси, по причине того, что введение тонких (с размерами 1–20 мкм) частиц минеральных добавок усиливает роль зерен портландцемента в уменьшении пористости бетонной смеси [7]. Автором [12] выявлено, что, заменив золой-уноса 30 % цемента, можно добиться снижения потребности воды на 7 % при постоянном значении показателя осадки конуса.

Однако не всегда снижение водопотребности достигается путем использования минеральных наполнителей. Золы-уноса с крупнозернистой структурой или зола-уноса, характеризующаяся потерями при прокаливании более 10 %, приводят к повышению водопотребности [7]. Это повышение имеет место только в случае, если в золах-уноса имеется наличие существенного количества ячеистых частиц кокса с размерами в районе значения 100 мкм. Основывается этот эффект на высоком водопоглощении этих частиц. За измельчением таких зол следует снижение показателя пористости частиц, а значит и уменьшается водопоглощение золы. Автор [7] выявил, что, при измельчении крупнодисперсной золы Архангельской ТЭЦ, которая имеет значение удельной поверхности 1320 см^2/г, до значений, приближающихся к порядку 2900 и 5600 см^2/г, это приведет к тому, что, соответственно, снизится водоцементное отношение в бетоне с значения 0,65 до значений 0,60 и 0,58.

Если в качестве минеральных наполнителей использовать белую сажу или золу рисовой шелухи, то количество воды, требуемое для нормальной консистенции, увеличивается почти прямо пропорционально содержанию в массе цемента, что обусловлено тем, что частицы таких наполнителей обладают чрезвычайно малыми размерами и высокой площадью поверхности [7].

Тонкодисперсные минеральные наполнители, вносимые в смесь, повышают водо- и коррозионную стойкость, уменьшают водопоглощение и усадку бетона, оказывают влияние на прочностные характеристики. Это объясняется формированием более плотной структуры цементных бетонов [13].

В процессе многолетних исследований А.И. Шуйского было установлено, что главной целью получения оптимальной технологии дорожных бетонов является направленное формирование определенно заданной структуры для получения и обеспечения необходимых свойств.

Это достигается предварительным подбором исходных материалов и расчетом оптимального состава бетонной смеси, рациональным перемешиванием, обеспечивающим ее однородность, правильным выбором вида уплотнения, тщательным соблюдением всех мероприятий для достижения заданных условий твердения и нормального ухода за свежеуложенной бетонной смесью. При этом, в соответствии с работами

О.П. Мчедлова-Петросяна, И.М. Грушко и др. должны быть согласованы параметры механической обработки и режимы твердения бетонной смеси с кинетикой структурообразования и тепловыделения цементов, а также учтено влияние условий гидратации и минералогического состава вяжущего на вещественный состав новообразований. Исследование, направлено на повышение степени использования вяжущего, за счет более углубленной гидратации цемента, формирования рациональной структуры бетона и получения оптимальной микроструктуры цементного камня.

Для приготовления прочных и долговечных дорожных бетонов, обладающих достаточной деформативностью, необходимо использовать высокомарочные алито-алюмоферритовые портландцементы ($C_3S + C_3F_4 = 75$ %). При этом целесообразно согласовывать минералогический состав цемента с минералогическим составом заполнителей (щебня и песка). Установлено, что при использовании заполнителей из известняков целесообразно использовать алюминатно-алюмоферритовые цементы, на кварцевых заполнителях – алито-белитовые цементы.

Результаты исследований показали, что при производстве дорожного бетона на обычных портландцементах, в состав смеси требуется введение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в количестве 0,2–0,35 % от массы цемента, снижающих водопотребность смеси в 1,2–1,3 раза, что обеспечивает повышение деформативности бетона.

Также выявлено, что песчаная составляющая существенно влияет на формирование микроструктуры бетона. Крупный заполнитель определяет макроструктуру бетонов, причем особое значение имеют прочность, характер поверхности его зерен, их крупность, форма и гранность. В некоторой мере свойства щебня обуславливают формирование мезо- и микроструктуры цементного бетона, что связано с влиянием свойств щебня на водопотребность бетонной смеси. Результаты исследований позволили сделать вывод, что получение бетона с рациональной структурой возможно при условии, что прочность зерен щебня превышает прочность бетона при растяжении в 1,5–2 раза (для известняков) и в 2–2,5 раза (для гранитов).

Для уменьшения негативных последствий собственных деформаций посредством их регулирования Г.В. Несветаевым разработаны бетоны с компенсированной усадкой с применением расширяющих добавок. Введение расширяющей добавки в бетонную смесь позволяет регулировать энергию расширения вяжущего, используя рядовой портландцемент.

В строительстве накоплен значительный опыт использования бетонов с комленсированной усадкой, который позволяет считать возможным использование расширяющих добавок для повышения долговечности элементов сооружений, устройства дорожных и аэродромных покрытий и других конструкций, подвергающихся в процессе эксплуатации внешним воздействиям. Таким образом, уменьшение усадочных явлений за счет применения комбинированного вяжущего следует отнести к важнейшим условиям повышения стойкости бетона. В основе их применения лежит управление процессом химического расширения, приводящего к снижению дефектности структуры и повышению стойкости бетона к атмосферным физическим воздействиям. Выбор в качестве расширяющей композиции расширяющей добавки может быть обусловлен возможностью ее введение в бетонною смесь непосредственно на строительной площадке без изменения технологии. Еще одна причина введения РД в смесь – это ускорение твердения.

Основные факторы, определяющие прочностные свойства и структурные характеристики мелкозернистого бетона связаны с высокой неоднородностью структуры, ее пористостью, плотностью. Но механизм влияния минеральных наполнителей, обладающих высокой дисперсностью, на структуру и свойства цементного камня и цементных бетонов

остается вопросом, по которому ученые не пришли к единому мнению. Существование несколько точек зрения о природе «эффекта микронаполнителя» при использовании тонкомолотого наполнителя высокой дисперсности говорит о недостаточной изученности этого вопроса, нуждающегося в научном обосновании механизма структурообразования высоконаполненных мелкозернистых бетонов и их экспериментальном подтверждении [14].

Авторами в лаборатории Донского государственного технического университета исследовалось влияние вида добавки и ее дозировки на прочность при сжатии, среднюю плотность и однородность прочности (коэффициент вариации) бетона слитной структуры [15–17]. При этом контрольный состав был без добавок. В итоге из трех дозировок добавки С-3 была выбрана оптимальная:

расход цемента Ц = 345 кг/м^3;

количество добавки С-3 – 0,5 % от массы цемента.

Результаты испытаний приведены в таблице 1 и на рисунках 1–3.

Таблица 1

Результаты влияния рецептурных факторов на формирование слитной структуры бетона и его свойства

Цемент, кг	В/Ц	П/Щ	Добавка, % С-3	$R_{сж}$, МПа	ρ, кг/м^3	υ, %
345	0,49	0,64	0	35,2	2375	7,9
444	0,23	0,59	0,35	36,3	2435	5,2
345	0,39	0,76	0,5	42,8	2455	4,1
305	0,47	0,74	0,6	32,3	2490	5,5

Составлено авторами

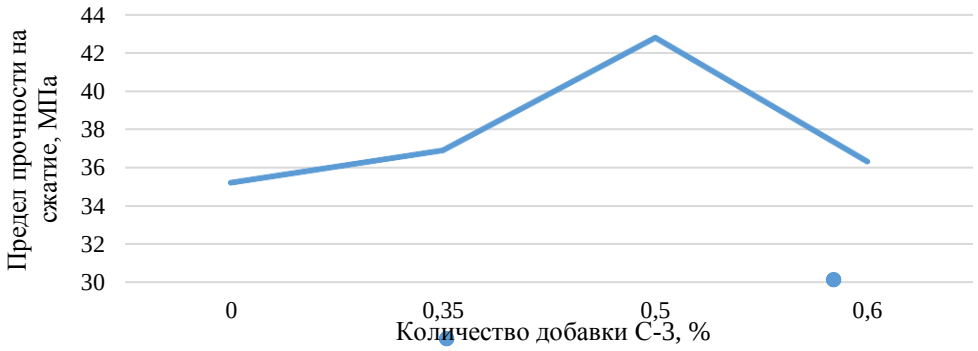

Рисунок 1. *Зависимость прочности на сжатие бетона от количества суперпластификатора С-3 (составлено авторами)*

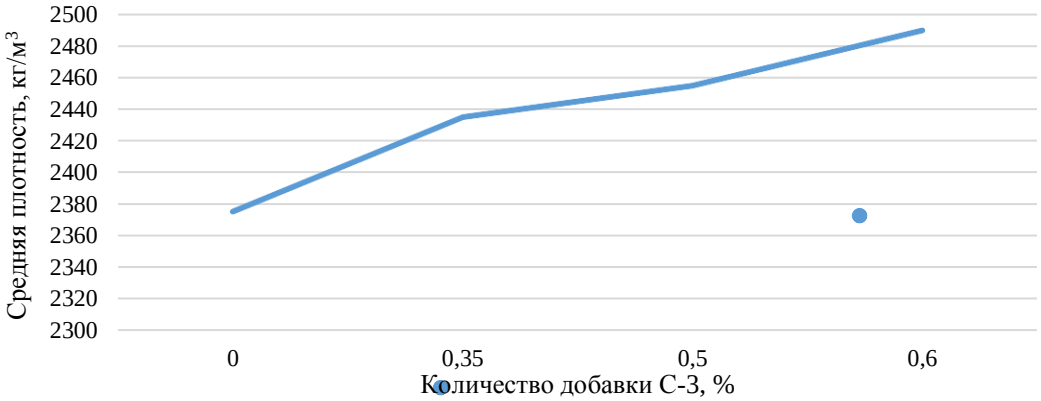

Рисунок 2. *Зависимость средней плотности бетона от количества суперпластификатора С-3 (составлено авторами)*

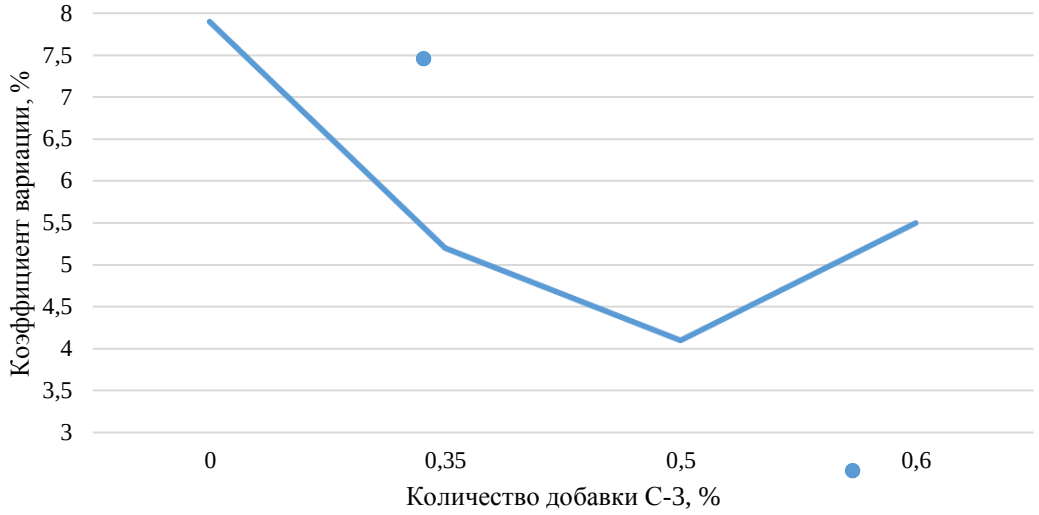

Рисунок 3. *Зависимость однородности прочности бетона на сжатие от количества суперпластификатора С-3 (составлено авторами)*

Применение добавки существенно улучшает однородность прочности при сжатии бетона слитной структуры, то есть положительно влияет на значение коэффициента вариации прочности бетона на сжатие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий С.А. Минеральные добавки для бетонов // Бетон и железобетон. 1994. № 2. С. 7–10.
2. Краснов А.М. Высоконаполненный мелкозернистый песчаный бетон повышенной прочности // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 36–37.
3. Красный И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителя // Бетон и железобетон. 1992. № 6. С. 12–15.
4. Лесовик В.С. Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов. М.: Высш. шк., 1987. 111 с.
5. Matsufuji Y., Kohhata H., Harada S. Прочностные характеристики растворов, содержащих сверхтонкие частицы // Semento konkurito ronbunshu. CAJ Proc. Cem. and Concr. 1991. № 45. С. 264–269.
6. Зоткин А.Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне // Бетон и железобетон. 1994. №3. С. 7–9.
7. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. 1995. № 6. С. 16–20.
8. Соломатов В.И. и др. Композиционные строительные материалы и конструкции повышенной материалоемкости. Киев: Будивельник, 1991. 144 с.
9. Roberts L.R., Grace W.R. Microsilica in concrete // Mater. Sci. Concr. Westerville (Ohio). 1989. pp. 197–222.
10. Данилович И.Ю., Сканави Н.А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов. М.: Высш. шк., 1988. 72 с.

11. Lane R.O., Best J.F. Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete // Concrete International. 1982. Vol. 4. № 7. pp. 81–92.

12. Berry E.E., Malhotra V.M. Fly Ash for Use in Concrete – A Critical Review // ACI Journal, 1982. Vol. 2. № 3. pp. 59–73.

13. Красный И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей // Бетон и железобетон. 1987. № 5. С. 10–11.

14. Хирис Н.С. Высоконаполненный мелкозернистый бетон на основе техногенных отходов металлургии: дисс. … канд. техн. наук.: 05.23.05. Волгоград, 2014. 144 с.

15. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Коробкин А.П., Налимова А.В., Серебряная И.А., Нажуев М.П. Разработка состава композиционного портландцемента на основе золошлаковой смеси Новочеркасской ГРЭС // Вестник СевКавГТИ. 2017. № 3 (30). С. 148–153.

16. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Чернильник А.А. Улучшение экологической обстановки в Ростовской области путем применения промышленных отходов в строительной индустрии / Экология России: на пути к инновациям. Межвузовский сб. науч. трудов. Астраханский гос. ун-т. Астрахань, 2019. С. 57–60.

17. Шуйский А.И., Халюшев А.К., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Оптимизация составов вяжущих композиций на основе доменного шлака и суперпластификатора, активированных щелочью // Научное обозрение. 2016. № 16.

Korzhaeva Ekaterina Eduardovna
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: hett3351@gmail.com

Voishchev Aleksandr Evgen'evich
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: 591alex97x@gmail.com

Khoshafyan Sergei Ovanesovich
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: khoshafyan97@mail.ru

Bataeva Fariza Akhmedovna
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: bataevafariza@mail.ru

Buntov Viktor Valer'evich
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: buntowictor@icloud.com

Iskanderov Ruslan Dzhabbarovich
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: iskander_rusdjabb@yandex.ru

Study of the influence of prescription factors on the formation of the fusion structure and properties of heavy concrete

Abstract. The article considers the influence of fine and chemical additives on the formation of the fused structure of concrete. It is established that the introduction of an optimal amount of ground sand and fine components (ash and diatomite) in fine-grained and conventional heavy concretes leads to an increase in strength.

The mixture of lime with ground river sand of 1:3 composition under normal conditions does not harden at all, while the addition of ash to the mixture of stupinskaya CHP raises the strength to a minimum value of 1.1 MPa, and the addition of ash of Novosibirsk CHP when steaming the obtained samples leads to a sharp increase in strength to 13.2 MPa. Therefore, the increase in the strength of concrete by adding various components to it proves that it is incorrect to explain the "micro-filler effect" only due to hydraulic activity. Some scientists believe that the "micro-filler effect" can not be explained only by the formation of additional crystallization centers, as they directly affect the acceleration of the initial stage of chemical hardening. Numerous studies show that concretes based on ashes of CHP have lower rates of strength growth in the initial hardening period than without ash, and in the later, on the contrary, higher.

The influence of the type of additive and its dosage on the compressive strength, average density and uniformity of strength (coefficient of variation) of the concrete of the fused structure was studied. At the same time, the control composition was without additives. As a result, the optimal dosage of C-3 additive was chosen from three dosages: cement consumption C = 345 kg/m^3; the amount of superplasticizer additive – 0.5 % by weight of cement. The use of the additive significantly improves the uniformity of the compressive strength of concrete continuous structure, that is, a positive effect on the value of the coefficient of variation of concrete strength in compression.

Keywords: fine-grained concrete; fused structure; micro-filler; fine additive; chemical additive; superplasticizer; coefficient of variation of concrete compressive strength