

## ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БЕТОНЫ

*Норбоев Азизбек Акромжон угли*

*Магистрант QMBr-21 Ташкентского архитектурно-строительного  
университета*

**Аннотация:** Существенными недостатками высокопрочных бетонов, применяемых в настоящее время, являются высокий абсолютный расход вяжущего вещества, а также низкий удельный расход его на единицу прочности. Многокомпонентность с целью многоуровневой оптимизации дисперсного состава относится к основным методам производства высокопрочных бетонов с минимальным содержанием портландцемента и высокими физико-механическими показателями. Получение таких бетонов может быть связано с созданием плотной высоконаполненной твердой фазы упаковки составляющих компонентов на различных структурных уровнях и низкого водоцементного отношения.

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, самоуплотняющийся бетон, дисперсный состав, пуццолановая реакция, модификаторы, тонкодисперсный шлак, микрокремнезем, суперпластификатор.

### ВВЕДЕНИЕ

Существенными недостатками высокопрочных бетонов, применяемых в настоящее время, являются высокий абсолютный расход вяжущего вещества, а также низкий удельный расход его на единицу прочности.

Многокомпонентность с целью многоуровневой оптимизации дисперсного состава — основное направление производства высокопрочных бетонов с минимальным содержанием портландцемента и высокими физико-механическими показателями. Получение таких бетонов может быть связано с созданием плотной высоконаполненной твердой фазы упаковки составляющих компонентов на различных структурных уровнях и низкого водоцементного отношения.

Перспективным направлением для производства высокопрочных бетонов представляется использование самоуплотняющихся бетонных смесей SCC (self-compacting concrete) [1–8].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Однако при производстве самоуплотняющихся бетонов может наблюдаться ряд требований, имеющих противоречивый характер. В частности, обеспечение высокого значения показателя вязкости и низкого — текучести бетонной смеси, исключение ее водоотделения и расслоения, а также достижение высокой прочности. Очевидно, что нерасслаиваемость бетонной смеси и ее качественное самоуплотнение значимы в основном связаны с вязкостью и предельным напряжением сдвига (текучестью) цементного теста.

Оптимальное сочетание указанных реологических свойств цементного теста облегчает выход из бетонной смеси вовлеченного в процессе приготовления воздуха, и способствует ее качественному уплотнению. Повышение этих характеристик, а также снижение или предотвращение седиментационных и сегрегационных процессов обеспечивается использованием в составе бетона, кроме высокодисперсных и суперводоредуцирующих добавок [2], различных видов химических модификаторов, регулирующих вязкость и текучесть бетонной смеси, а также ускорителей и замедлителей схватывания и твердения [3].

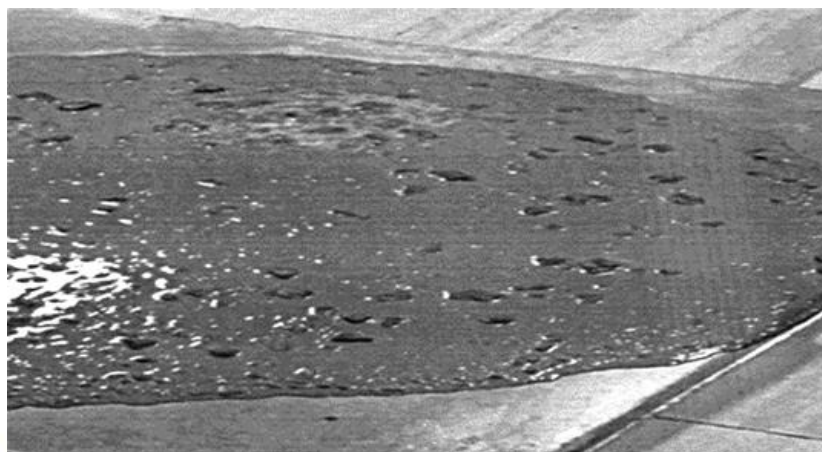
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Кроме того, для обеспечения качественного самоуплотнения бетонной смеси применяются также такие технологические приемы, как снижение расхода крупного заполнителя и максимальной крупности его зерен (наиболее предпочтительный размер 5 (3)–10 мм), низкое водовяжущее отношение [1]. Эффект максимальной текучести бетонной смеси и ее самоуплотнения достигается в этом случае практически исключением контактных взаимодействий между зернами заполнителей за счет повышенных расхода цемента и доли песка в смеси заполнителей. Однако бетоны с повышенным содержанием цемента характеризуются высоким тепловыделением,

значимо увеличивающим кинетическую энергию в начальный период их твердения. По этой причине фиксация частиц гидратных фаз при структурообразовании может происходить в основном в положении дальней коагуляции, обеспечивая при этом ее нежелательные значимо высокую микропористость, дефектность и снижение физико-механических свойств бетона [2]. Очевидно, что снижение содержания портландцемента в цементном тесте может быть получено только при частичном замещении его в составе бетона высокодисперсными минеральными добавками (тонкомолотым доменным гранулированным шлаком, золой уноса, микрокремнеземом и др.) [4]. Замещение части цемента минеральными добавками различной дисперсности позволит получать цементное тесто с низким предельным напряжением сдвига без седиментации, водоотделения и расслоения, а бетонную смесь с более высокой вязкостью. Важным фактором в этом случае является выбор вида, дисперсности, пуццоланической активности и энергетического состояния минеральных модификаторов, обеспечивающих высокую концентрацию твердой фазы в единице объема [3].

Таким образом, для значимого повышения прочности бетона требуются многоуровневая плотная иерархическая упаковка многокомпонентной системы с высокой степенью упорядоченности дисперсно-гранулометрического состава, обеспечивающая однородное протекание процесса гидратации минералов клинкера или пуццолановой реакции во всех микрообъемах, а также низкое водоцементное отношение. Очевидно, что для обеспечения высокой прочности такой структуры полная гидратация минералов частиц клинкера в этом случае не требуется. Самоуплотняющаяся бетонная смесь с распылом конуса (РК) 87 см, приготовленная с учетом указанных выше положений, характеризуется высокими реологическими свойствами, отсутствием раствора и водоотделения и расслоения. На поверхности бетонной смеси наблюдаются равномерно распределенные зерна крупного заполнителя (рис. 1).





**Рис. 1.** Самоуплотняющаяся бетонная смесь с РК = 87 см

Установлено также, что оптимизированный и упорядоченный на четырех уровнях самоорганизованный за счет оптимальных геометрических и количественных параметров, а также практически мозаичного энергетического состояния поверхности исходных порошковых компонентов дисперсный многокомпонентный состав обеспечивает снижение межчастичной пустотности на 12–14 % и повышение прочности бетона более чем в 2 раза (до 200 МПа и выше). В частности, прочность бетона на сжатие в возрасте 1 сут после твердения в нормальных условиях составила 58, 67, 77, а в 28 сут — 150, 185, 219 МПа, при расходе цемента соответственно 650, 710 и 770 кг/м<sup>3</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многоуровневая дисперсно-гранулометрическая в комплексе с химической модификация состава самоуплотняющихся бетонных смесей представляет собой одно из самых эффективных направлений получения высокопрочных бетонов с минимальным абсолютным и удельным на единицу прочности расходом портландцемента и высокими физико-механическими показателями.

SCC в этом случае характеризуются высокой вязкостью при низком уровне предельного напряжения сдвига, а комплексное применение суперпластификаторов и ускорителей твердения — синергетическим эффектом в аспекте пластификации

бетонной смеси. Целесообразным является использование разнодисперсной клинкерной составляющей, обеспечивающей повышение концентрации твердой фазы в единице объема, однородное протекание реакций гидратации минералов клинкера и пуццолановой реакции во всех микрообъемах цементной системы, а также наличие прочных крупных размеров реликтов частиц клинкера с целью значимого повышения прочности цементного камня и бетона.

## ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Величко Е.Г., Дыкин И.В., Еремин А.В.* Многоуровнево-модифицированные цементные системы // Вестник гражданских инженеров. 2016.
2. *Величко Е.Г., Белякова Ж.С.* Физико-химические и методологические основы получения многокомпонентных систем оптимизированного состава // Строительные материалы. 1996. № 3. С. 27–30.
3. *Тарасеева Н.И., Воскресенский А.В., Тарасеева А.С.* Роль безотходных технологий в расширении сырьевой базы для получения эффективных модифицирующих добавок и активных наполнителей в цементные растворы и бетоны // Новый университет. Сер.: Технические науки. 2014. № 10 (32). С. 90–93. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.10.0018
4. *Суздальцев О.В., Калашников В.И., Мороз М.Н., Сехпоян Г.П.* Новые высокоэффективные бетоны // Новый университет. Сер.: Технические науки. 2014. № 7–8 (29–30). С. 44–47. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.7-8.0008