

**ВЛИЯНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ
НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ
В СУХОМ И ВОДОНАСЫЩЕННОМ СОСТОЯНИИ**

Кровяков С.А., Даниленко А.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Вивчено вплив часток зниженої пружності на властивості дрібнозернистих бетонів. Показано, що заміна зерен кварцового піску розміром до 0.63 мм на керамзитові зерна сприяє підвищенню однорідності бетонної суміші та ударостійкості й тріщиностійкості бетону.

Повышение физико-механических свойств бетона остается актуальной задачей для современного материаловедения. Как показывают результаты, достигнутые школой П.Г. Комохова [1] и проведенных нами предварительных исследований [2], введение в структуру бетона частиц пониженной жесткости (демпфирующих) является одним из эффективных приемов улучшения целого комплекса свойств бетона, в частности ударостойкости, трещиностойкости и морозостойкости. Однако следует отметить, что в большинстве известных работ при введении демпфирующих частиц изменялась гранулометрия заполнителей в бетоне, то есть частицы пониженной жесткости выполняли роль наполнителя. Для изучения роли демпфирующих частиц на свойства мелкозернистых бетонов при зафиксированной гранулометрии заполнителей, то есть без изменения крупности песка, были проведены ниже описанные исследования.

Эксперимент проводился по 15-ти точечному плану [3]. Методом отсева был получен искусственный песок со следующим соотношением фракций: 1,25..2,5 мм – 20%, 0,63..1,25 мм – 30%, 0,315..0,63 мм – 20%, 0,16..0,63 мм – 30% (по массе при использовании кварцевого песка). Варьировались следующие факторы состава мелкозернистого бетона.

X_1 – соотношение песок/цемент (П/Ц), от 2/1 до 4/1 по массе для чистого кварцевого песка.

X_2 – доля керамзитовых зерен в песке фракции 1.25-2.5 мм, от 0 до 100% по объему.

X_3 – доля керамзитовых зерен в песке фракции 0.315-0.63 мм, от 0 до 100% по объему.

Использовался портландцемент марки 400 Ольшанского завода и керамзитовый песок Одесского керамзитового завода. Во все смеси вводился суперпластификатор С-3 в количестве 0.8% от массы цемента.

Все смеси имели равную подвижность – от 8 до 10 см по пенетрации стандартного конуса. При этом изменение типа заполнителя с кварцевого песка на керамзитовый практически не повлияло на водопотребность равноподвижных смесей. Это объясняется тем, что в эксперименте применялся заводской керамзитовый песок с округлой формой частиц и спекшейся поверхностью, а не полученный методом дроблением керамзитового гравия. Существенно на В/Ц смеси повлиял только П/Ц, так составы при П/Ц=2 показали В/Ц \approx 0.34, при П/Ц=3 – В/Ц \approx 0.42, а при П/Ц=4 – В/Ц \approx 0.56.

При этом на водоотделение смесей, которое является показателем их однородности, существенно сказываются все варьируемые в эксперименте факторы. Диаграмма, построенная по адекватной экспериментально-статистической (ЭС) модели и отображающая влияние варьируемых факторов на водоотделение смеси в точках максимума и минимума показана на рис.1.

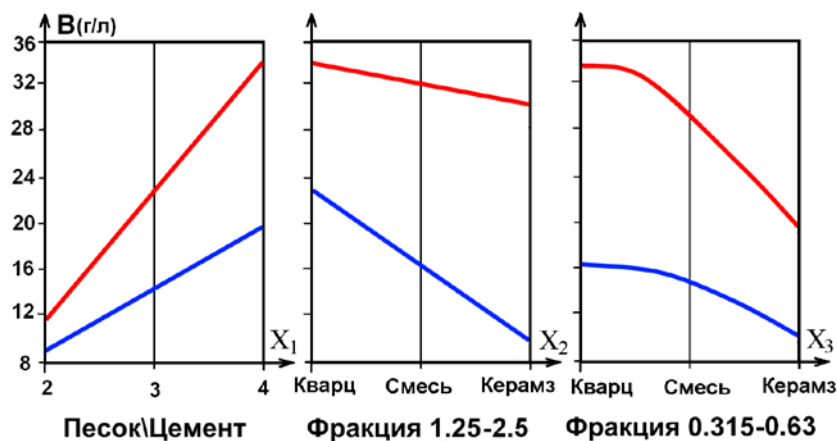


Рис.1. Влияние варьируемых факторов на водоотделение смеси, г\л

Анализ показанных на рисунке диаграмм позволяет сказать, что замена кварцевых зерен песка на пористые керамзитовые зерна заметно снижает водоотделение смеси. Обладают большей водоудерживающей способностью, т.е. более ощутимо снижают водоотделение, керамзитовые зерна фракции 0.315-0.63 мм, что может быть объяснено большим количеством единичных «мелких» зерен в смеси. В целом, наименьшее водоотделение показывают смеси с максимальным количеством цемента ($x_1 = 4$) и керамзитового песка обеих фракций ($x_2 = x_3 = 1$).

Исследовались свойства материала как в сухом (высушенном до постоянной массы при температуре 105 ± 2 °C, индекс d), так и в водонасыщенном (при длительном экспонировании в воде, индекс w) состоянии. Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии ($R_{b,d}$) и растяжении при изгибе ($R_{bt,d}$) мелкозернистых бетонов в сухом состоянии описывают ЭС-модели:

$$R_{b,d} \text{ (МПа)} = 31.4 - 9.5x_1 + 10.1x_1^2$$

= 6.31 МПа в точке с координатами $x_1=x_2=-1$, $x_3=1$. Наименьшую прочность $R_{b,w.min} = 17.8$ МПа и $R_{bt,w.min} = 3.95$ МПа показывают составы в точке с координатами $x_1 \approx x_2 = x_3 = 1$.

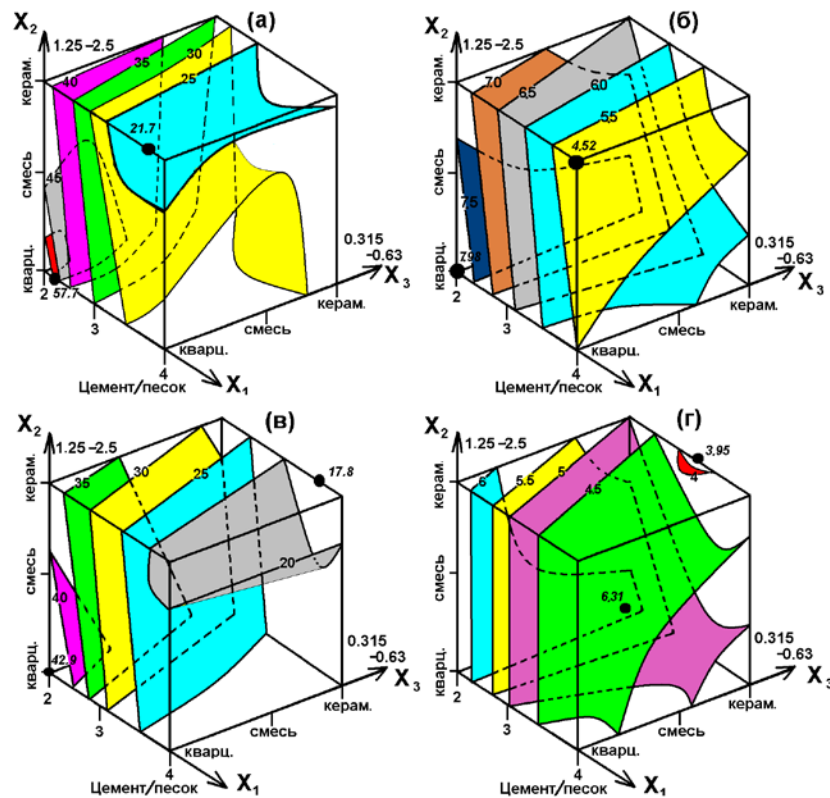


Рис.2. Влияние варьируемых факторов на прочность при сжатии (а,в) и растяжение при изгибе (б,г) мелкозернистого. а,б – в сухом состоянии, в,г – в водонасыщенном состоянии

Анализ показанных на рис.2.в и рис.2.г диаграмм позволяет сделать вывод, что влияние варьируемых факторов на прочность мелкозернистого бетона в водонасыщенном состоянии почти аналогично их влиянию на прочность в сухом состоянии. При этом можно отметить незначительное увеличение прочности на растяжение при изгибе при введении керамзитовых зерен фракции 0.315-0.63 мм.

Помимо прочностных характеристик бетона исследовались его трещиностойкость и ударостойкость. Влияние П/Ц отношения и количества керамзитовых зерен фракций 1.25-2.5 мм и 0.315-0.63 мм на уровень критического коэффициента интенсивности напряжений K_{IC} (трещиностойкость бетона) описывает ЭС-модель:

$$K_{IC} (\text{МПа} \times \text{м}^{0.5}) = 0.23 - 0.04x_1 + 0.04x_1^2 - 0.01x_1x_2$$

пониженной упругости можно объяснить их способностью рассеивать фронт растущей трещины [5] в гетерогенном материале.

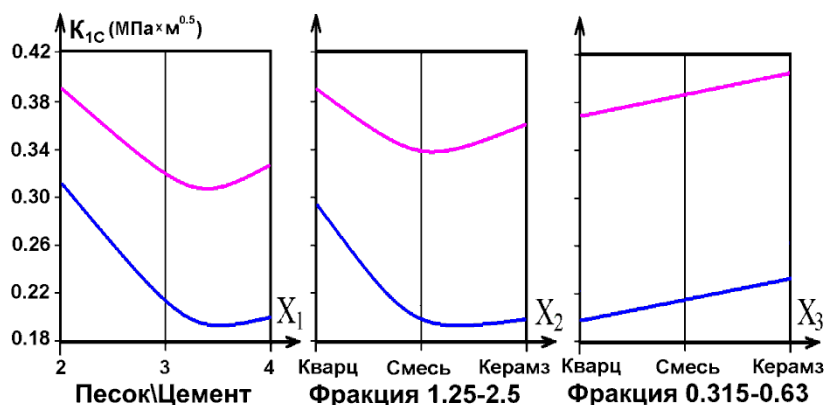


Рис.3. Влияние варьируемых факторов на трещиностойкость бетона

По модели, аналогичной (1-3) построена показанная на рис.4 диаграмма, отображающая влияние варьируемых факторов состава на величину ударостойкости (ударной выносливости) бетона. Анализ диаграммы позволяет сказать, что увеличение П/Ц, то есть снижение количества цемента, естественно уменьшает ударостойкость бетона. Однако данное снижение происходит нелинейно и наиболее существенно при изменении соотношения песок/цемент в диапазоне от 2 до 3. При изменении П/Ц от 3 до 4 ударостойкость бетона изменяется незначительно, что объясняется определенной «хрупкостью» высокопрочных композитов. Увеличение доли керамзитовых зерен фракции 1.25-2.5 мм в песке ведет к незначительному снижению ударостойкости мелкозернистого бетона, что объясняется общим снижением прочности. Замена в песке кварцевых зерен фракции 0.315-0.63 мм на зерна пониженной жесткости (керамзитовые) вызывает заметное увеличение ударостойкости материала. Данный эффект можно объяснить демпфирующими свойствами подобных частиц, способствующих рассеиванию приложенной к композиту энергии удара [6].

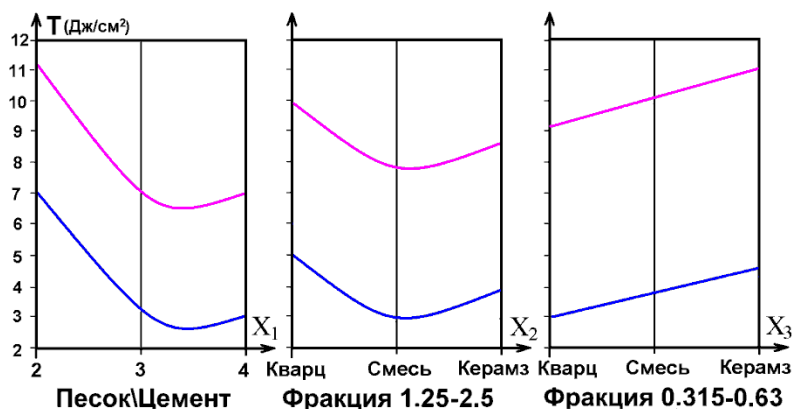


Рис.4. Влияние варьируемых факторов на ударостойкость бетона

Также немаловажно отметить, что в пределах факторного пространства эксперимента, при полной замене частиц кварцевого песка фракции 0.315-0.63 мм на керамзитовые плотность бетона снижалась примерно на 300 кг/м³. То есть подобные составы имеют меньшую теплопроводность, что существенно для целого ряда конструкций.

Выводы. Таким образом, анализ влияния демпфирующих частиц на свойства мелкозернистых бетонов при зафиксированной granulometрии заполнителей показал, что

большую эффективность показывают частицы пониженной упругости меньшего размера. Изменение практически всех исследованных в эксперименте свойств бетона и бетонной смеси: водоотделение, прочность на сжатие и растяжение при изгибе в сухом и водонасыщенном состоянии, ударостойкость и трещиностойкость, показало, что более предпочтительным для конструкционного мелкозернистого бетона является введение демпфирующих частиц фракции 0.315-0.63 мм. Частицы такого размера более качественно демпфируют динамические воздействия, воспринимаемые материалом, а также в большей степени способны рассеивать растущие трещины в бетоне.

Литература

1. Структурообразование и разрушение цементных бетонов // [В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов] – Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
2. Кровяков С.А. Анализ влияния демпфирующих частиц на трещиностойкость композитов в сухом и водонасыщенном состоянии с использованием пропорциональных критериальных шкал / С.А. Кровяков // Мат-лы 47-го междунар. симп. МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 61-63.
3. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
4. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении / Т.В. Ляшенко // Вісник Одес. ДАБА. – Одеса, Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171-179.
5. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / [В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко] – К.: Будивэльник, 1991.- 144 с.
6. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.