

## **ВЛИЯНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ ПРИ ЗАФИКСИРОВАННОЙ ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ**

Кровяков С.А., Даниленко А.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
г. Одесса, Украина

**АНОТАЦІЯ:** Вивчено вплив демпфуючих частинок на властивості дрібнозернистих бетонів при зафіксованій гранулометрії заповнювачів. Показано, що заміна зерен піску розміром до 0.63 мм на керамзитові частинки зниженої жорсткості сприяє зниженню розшарування сумішей і підвищенню ударостійкості бетону.

**АННОТАЦИЯ:** Изучено влияние демпфирующих частиц на свойства мелкозернистых бетонов при зафиксированной гранулометрии заполнителей. Показано, что замена зерен песка размером до 0.63 мм на керамзитовые частицы пониженной жесткости способствует снижению расслоения смеси и повышению ударостойкости бетона.

**ABSTRACT:** The effect of particles on the damping properties of fine-grained concrete. This recorded the size of grains of sand. We show that substitution of grains of sand up to 0.63 mm in the expanded clay particles reduced the rigidity of stratification of the mixture reduces and increases the impact resistance of concrete.

Как показывают работы школы П.Г. Комохова [1] и проведенные нами предварительные исследования [2], введение в структуру бетона частиц пониженной жесткости (демпфирующих) является одним из эффективных приемов повышения специфических свойств композита, в частности ударной выносливости (ударостойкости), трещиностойкости и морозостойкости.

Однако следует отметить, что в большинстве проанализированных работ при введении демпфирующих частиц изменялась общая гранулометрия заполнителей бетона или же 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 описанные ниже исследования.

Методом отсева был получен искусственный песок со следующим соотношением фракций по массе при использовании кварца: 1,25..2,5 мм – 20%, 0,63..1,25 мм – 30%, 0,315..0,63 мм – 20%, 0,16..0,63 мм – 30%.

Эксперимент проводился по 15-ти точечному оптимальному плану [3]. Варьировались следующие факторы состава мелкозернистого бетона.

$X_1$  – соотношение песок/цемент, от 2/1 до 4/1 (по массе для чистого кварцевого песка). Такой диапазон варьирования фактора обеспечивает возможность изучение влияния демпфирующих частиц на свойства как высокопрочных, так и рядовых бетонов.

$X_2$  – 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 Альшанского 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. Анализ водопотребности равноподвижных смесей, которая зависела от состава бетона, показал, что изменение типа заполнителя с кварцевого песка на керамзитовый практически не влияет на В/Ц. Это может быть объяснено тем, что в эксперименте применялся заводской керамзитовый песок с округлой формой частиц и спекшейся поверхностью, а не полученный методом дроблением керамзи-тового гравия. Существенно на В/Ц смеси повлиял только фактор  $X_1$  (П/Ц), при этом смеси при П/Ц= 2 показали В/Ц≈0.34, при П/Ц= 3 – В/Ц ≈0.42, а при П/Ц = 4 - В/Ц≈0.56.

Однако на величине водоотделения смесей, которое можно считать косвенным показателем их однородности, существенно сказывались все варьируемые факторы, и их влияние адекватно описывает [3] экспериментально-статистическая (ЭС) модель:

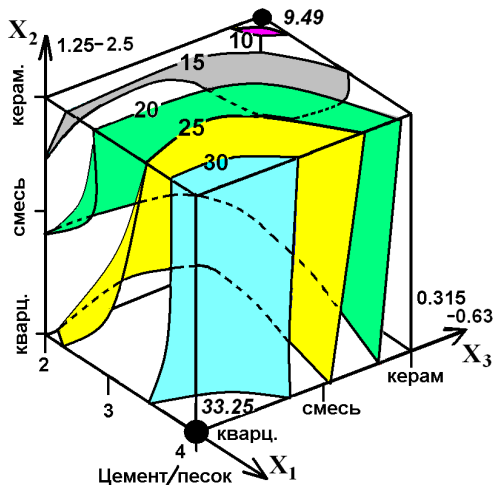


Рис. 1. Влияние варьируемых факторов на водоотделение смеси, г/л.

$$\begin{aligned}
 B \text{ (г/л)} = & 24.4 + 3.9x_1 + 4.0x_1x_2 - 3.2x_1x_3 \\
 & - 2.6x_2 - 4.08x_3 - 3.6x_3^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

Диаграмма в виде куба, построенная по модели (1) и отображающая влияние варьируемых факторов на водоотделение смеси показана на рис.1.

Анализ модели (1) и диаграммы позволяет сказать, что замена кварцевых зерен песка на пористые зерна керамзита заметно снижает водоотделение смеси. При этом большей водоудерживающей способностью обладают зерна меньшей фракции 0.315-0.63 мм, что может быть объяснено большим количеством единичных «мелких» зерен керамзита в смеси. В целом, наименьшее водоотделение показывают смеси с максимальным количеством цемента ( $x_1 = 1$ ) и керамзитового песка обеих фракций ( $x_2 = x_3 = 1$ ).

Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии мелкозернистых бетонов в марочном возрасте описывается ЭС-моделью:

$$\begin{aligned}
 R_b \text{ (МПа)} = & 28.66 - 11.16x_1 + 5.69x_1^2 + 2.40x_1x_3 \\
 & - 2.85x_2 + 2.53x_2^2 - 4.08x_3
 \end{aligned} \quad (2)$$

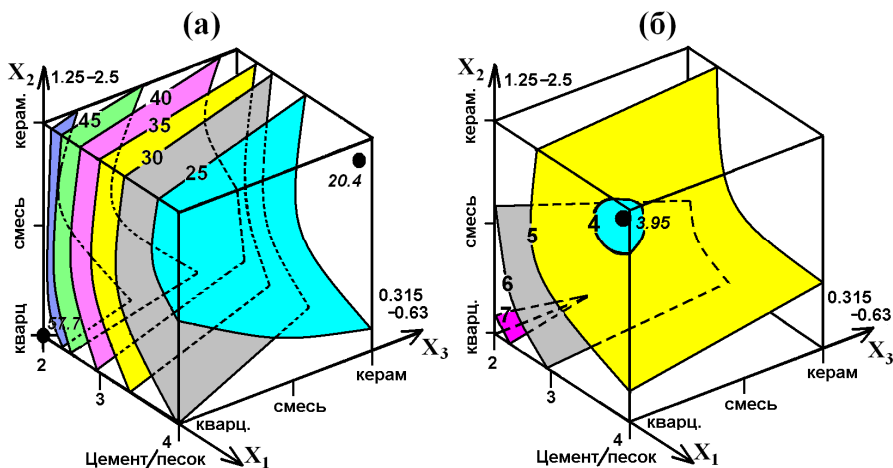


Рис.2. Влияние состава мелкозернистого бетона на его прочность при сжатии (а) и растяжение при изгибе (б).

Диаграмма, построенная по модели (2), показана на рис.2.а. Можно сделать вывод, что наиболее существенное влияние на прочность бетона в пределах факторного пространства эксперимента оказывает количество

цемента (фактор  $x_1$ ). Замена части кварцевого песка керамзитовым вызывает снижение прочности на величину от 1 до 5 МПа. При этом можно отметить приблизительно равное влияние на величину  $R_b$  вида зерен как фракции 1.25-2.5 ( $x_2$ ), так и фракции 0.315-0.63 ( $x_3$ ).

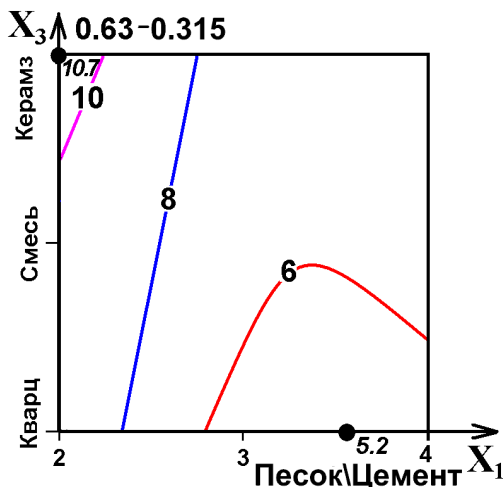
По ЭС-модели, аналогичной (1) и (2), была построена диаграмма на рис.2.б, отображающая влияние варьируемых факторов состава на прочность бетона на растяжение при изгибе. Анализ данной диаграммы позволяет сказать, что замена в бетоне мелких частиц кварцевого песка (0.315-0.63 мм) на аналогичные керамзитовые практически не сказывается на величине прочности на растяжение при изгибе. При этом увеличение доли керамзитовых зерен у частиц большего размера (1.25-2.5 мм) достаточно ощутимо снижала величину  $R_{bt}$ .

Помимо прочностных показателей бетона в эксперименте оценивалась его ударостойкость (ударная выносливость). Влияние П/Ц отношения, а также доли керамзитовых зерен во фракциях песка 1.25-2.5 мм и 0.315-0.63 мм на величину ударостойкости (Т) описывает ЭС-модель:

$$\begin{aligned}
 T \text{ (Дж)} = & 4.06 - 1.68x_1 + 1.87x_1^2 & \bullet & \bullet \\
 & - 0.60x_2 + 1.72x_2^2 & & \bullet \\
 & + 0.80x_3 & \bullet & 
 \end{aligned} \tag{3}$$

Анализ данной модели позволяет сказать, что увеличение П/Ц, то есть снижение количества цемента, естественно уменьшает ударостойкость бетона. Однако данное снижение происходит нелинейно, и оно 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 может быть объяснено «хрупкостью» высокопрочных бетонов. Увеличение доли керамзитовых зерен в песке фракции 1.25-2.5 мм ведет к незначительному снижению ударостойкости мелкозернистого бетона, что объясняется общим снижением прочности композита как на сжатие, так и на растяжение при изгибе. Замена в песке кварцевых зерен фракции 0.315-0.63 мм на зерна пониженной жесткости (керамзитовые) вызывает заметное увеличение ударостойкости материала. На рис.4 показана построенная по модели (3) диаграмма, отображающая влияние П/Ц и доли керамзитовых зерен во фракции песка 0.315-0.63 мм на величину Т. При этом значение фактора  $x_2$  зафиксировано на минимальном значении, то есть отображается поле свойства [4] составов с кварцевыми зернами фракции 1.25-2.5 мм.

Можно сделать вывод о положительном влиянии зерен пониженной жесткости на ударостойкость бетона. Отдельно необходимо отметить, что данный эффект наблюдается на фоне одновременного снижения плотности бетона. Так, в передал факторного пространства эксперимента, при полной



замене частиц песка фракции 0.315-0.63 мм на керамзитовые плотность бетона в естественных условиях снижалась примерно на 300 кг/м<sup>3</sup>.

Рис.3. Влияние П/Ц отношения и доли керамзитовых зерен во фракции песка 0.315-0.63 мм на ударостойкость бетона.

Таким образом, изучено влияние демпфирующих частиц на свойства мелкозернистых бетонов при зафиксированной granulometрии заполнителей. В целом можно говорить о большей эффективности замены на частицы пониженной жесткости зерен меньшего размера по сравнению с заменой крупных частиц (более 1.2 мм). Изменение практически всех исследованных в эксперименте свойств (водоотделение смеси, прочность на сжатие и растяжение при изгибе, ударостойкость) показало, что более предпочтительным для конструкционного мелкозернистого бетона является введение мелкодисперсных демпфирующих частиц.

## ЛІТЕРАТУРА

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. сем. МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 61-63.
3. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических 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.