

С. КОВАЛЬ, д-р техн. наук, проф.,

Варминско-Мазурский Университет, Ольштын, Польша

В.А. САПОЖНИКОВ, инж., ОГАСА, Одесса

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА ОДНОРОДНОСТЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В ЭЛЕМЕНТЕ

В статье показаны особенности и приведены результаты моделирования воздействия факторов состава на параметры неоднородности прочности бетона в вертикально формируемых элементах.

При проведении мониторинга объектов монолитного домостроения отмеченные различия в скорости ультразвука по высоте колонн и стен, отформованных из высокоподвижных смесей, указали на необходимость повышения однородности бетона в конструкциях. Ухудшение неоднородности бетона способно снизить надежность монолитно-каркасных и других зданий в условиях сейсмических и эксплуатационных воздействий [1].

К основным причинам, влияющим на однородность бетона можно отнести низкое значение предельного напряжения сдвига бетонных смесей, гравитационные силы, влияющие на миграцию заполнителя, агрегатирование частиц цемента и наполнителя, насыщенность арматурой и сложная конфигурация конструкций, а также динамические процессы при укладке и перемещении бетонных смесей (в том числе гидротранспортом) [1].

Целью исследования является оценка влияния факторов состава на параметры неоднородности пространственного поля прочности бетона.

Решение задачи повышения однородности бетона показано при исследовании влияния добавок на критерии $G\{h\}$ неоднородности пространственного поля композитов [2 – 3].

В эксперименте с бетоном из равноподвижных смесей (осадка стандартного конуса $OK = 18 \pm 2$ см) по плану B_3 изменялось содержание поликарбоксилатного суперпластификатора ПК Супер в пределах от 0 до 0,6 % от массы цемента (фактор X_1), наполнителя – молотого известняка в диапазоне от 0 до 30 % (фактор X_2), вводимого для повышения связности бетонной смеси, и портландцемента ПЦ II/A III в диапазоне от 340 до 480 кг/м³ (X_3).

Из высокоподвижных бетонных смесей отформованы в вертикальном

положении столбчатые элементы (высотой 100 см и диаметром 10 см), которые после затвердевания разделялись на фрагменты.

Анализ рис. 1 а показывает, что в зависимости от состава прочность бетона в элементе распределяется неравномерно, причем с увеличением количества цемента и введения дисперсного наполнителя прочность не только возрастает, но становится более равномерной.

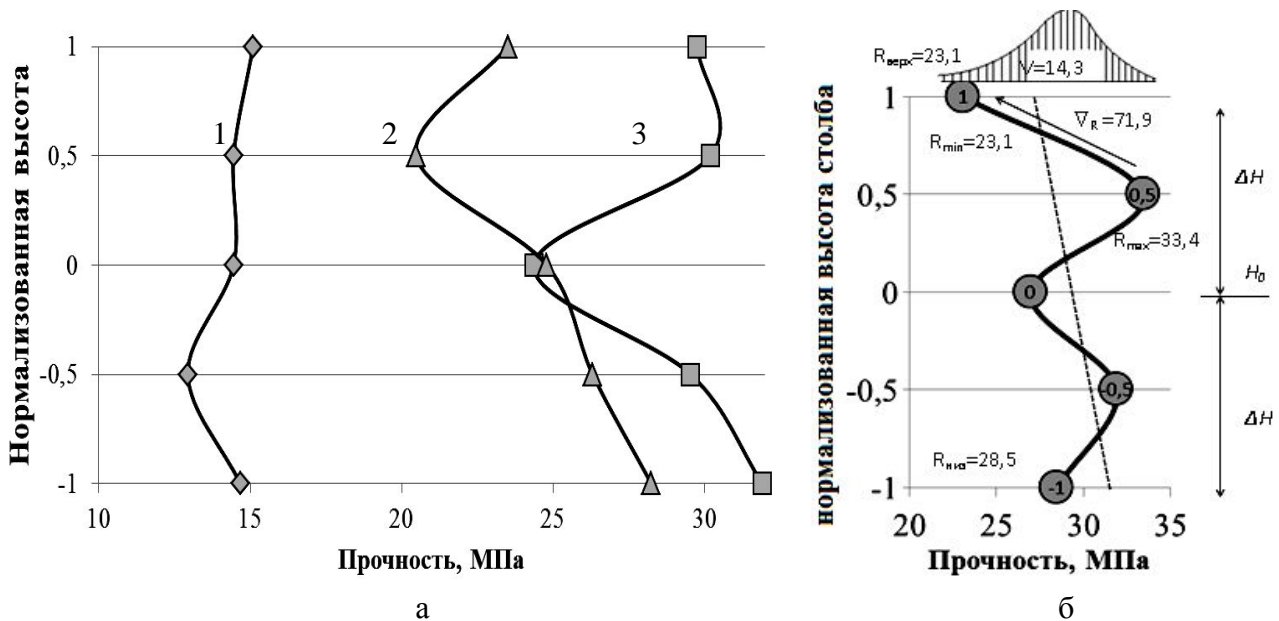


Рис. 1 – Распределение прочности (а) при изменении состава (1 – Ц = 340 кг/м³; 2 – Ц = 480 кг/м³; 3 – Н = 15 %, Ц = 410 кг/м³) и параметры линейного поля неоднородности (б)

На рис. 1.б представлено распределение прочности $R_{сж}$ бетона по высоте (H) вертикально отформованного столбчатого элемента, определенной при испытании фрагментов-цилиндров. Прочность бетона состава (СП = 0,3 %; Н = 15 %, Ц = 340 кг/м³) по высоте столбчатого элемента распределена неравномерно. Неравномерному распределению прочности на отдельных участках способствуют и пристеночные эффекты, а также то, что часть свободной воды скапливается под нижними поверхностями зерен заполнителя, образуя разупрочняющие полости.

Зависимость $R = f(H)$ описывается эпюрой

$$R = - 2,0037h^4 + 24,746h^3 - 106,79h^2 + 187,56h - 80,43. \quad (1)$$

На основании анализа эпюры (для состава № 7) построены критерии оценки неоднородности, которые условно (с точностью до ошибки аппрок-

симации) можно назвать детерминированными:

а) средняя прочность, рассчитанная по $n = 5$ сечениям столба:

$$R_{cp} = \Sigma R/n = 144/5 = 28,8 \text{ МПа}; \quad (2)$$

б) экстремальные показатели: $R_{max} = 23,1$ МПа – максимальная прочность (четвертый фрагмент, $n = 4$) и $R_{min} = 33,4$ МПа – минимальная прочность (верхний фрагмент, $n = 6$);

в) перепад прочности по высоте столба:

$$\kappa = R_{min}/R_{max} = 33,4/23,1 = 1,4; \quad (3)$$

г) традиционный коэффициент расслоения как отношение средних прочностей верхнего и нижнего фрагментов:

$$K_p = R_{верх}/R_{низ} = 23,1/28,5 = 0,8; \quad (4)$$

д) относительный градиент – различие максимальной и минимальной прочности на расстоянии Δh между сечениями, в которых отмечены экстремальные значения R_{max} и R_{min} , отнесенное к среднему значению R_{cp} по высоте столба:

$$\nabla_R = ((R_{max} - R_{min})/\Delta h)/R_{cp} = ((33,4-23,1)/0,5)/28,8 \cdot 100 = 71,9 \%. \quad (5)$$

В качестве меры разброса случайных оценок по высоте H столба относительно R_{cp} использовалась вероятностная характеристика – среднеквадратичное отклонение s_R (МПа) с числом степеней свободы $f_R = 6 - 1 = 5$, а также коэффициент вариации:

$$V\{R\} = s_R/R_{cp} = (4,1/28,8) \cdot 100 = 14,3 \%. \quad (6)$$

В данном случае прочность верхнего слоя значительно меньше, чем у подошвы столба. Так как гидростатическое давление по высоте формы распределяется неравномерно (максимум на дне формы, минимум на наружной поверхности), то с приближением к нижним слоям вытесняется все больше жидкой фазы.

Задача повышения однородности заключалась в минимизации рассматриваемых критериев при управлении параметрами состава бетона.

По результатам эксперимента построены экспериментально – статистические зависимости, которые дополнены эффектом тройного взаимодействия b_{123} с целью улучшения точности описания связей между показателями и рецептурно-технологическими факторами.

Для средней прочности получена (при уровне риска $\alpha = 0,2$ и ошибке эксперимента $s_3 = 1,7$ МПа) зависимость:

$$R_{cp} = 31,7 - 1,3x_1 - 8,0x_1^2 + 2,2x_2 - 1,6x_2^2 + 4,1x_3 + 1,3x_1x_2x_3 \quad (7)$$

с точками максимума $R_{max} = 36,6$ МПа ($x_1 = -0,024$; $x_2 = 0,698$; $x_3 = 1$) и минимума $R_{min} = 15,8$ МПа ($x_1 = 1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$).

Аналогичная по виду зависимость получена для коэффициента вариации, показывающего разброс оценок относительно среднего:

$$v_R = 21,9 + 4,5x_1 + 1,4x_2 + 1,6x_3 - 8,9x_1^2 + 9,7x_2^2 - 8,2x_3^2 + 3,0x_1x_3 + 1,7x_1x_2x_3 \quad (8)$$

с точками максимума $v_{Rmax} = 30,8$ МПа ($x_1 = 0,264$; $x_2 = -1$; $x_3 = 0,117$) и минимума $v_{Rmin} = 1,2$ МПа ($x_1 = -1$; $x_2 = 0,013$; $x_3 = 1$).

Сравнение точек минимуму и максимума показывает различие в их координатах. Таким образом, рецептурные решения, направленные повышение прочности могут не соответствовать решениям, направленным на повышение однородности прочности.

На рис. 2. а-г представлены в графическом виде зависимости влияния факторов состава на исследуемые показатели однородности прочности бетона в столбчатом элементе.

Рост прочности бетона в столбе (рис. 2 а) связан, в первую очередь, с повышением количества цемента. Дозировка суперпластификатора также повышает прочность, но до некоторых пределов, зависящих от содержания наполнителя и цемента. Понижение прочности до минимума $R_{min} = 15,8$ МПа вероятно связано с замедляющим влиянием химической добавки при ее повышенных концентрациях и малом количестве цемента.

Эти различия связаны с неоднородностью структуры бетона в элементе в результате сегрегации компонентов.

Следовательно, рецептурные решения, направленные на повышение

прочности бетона в образцах, не сопровождаются адекватным повышением прочности бетона в конструкционном элементе.

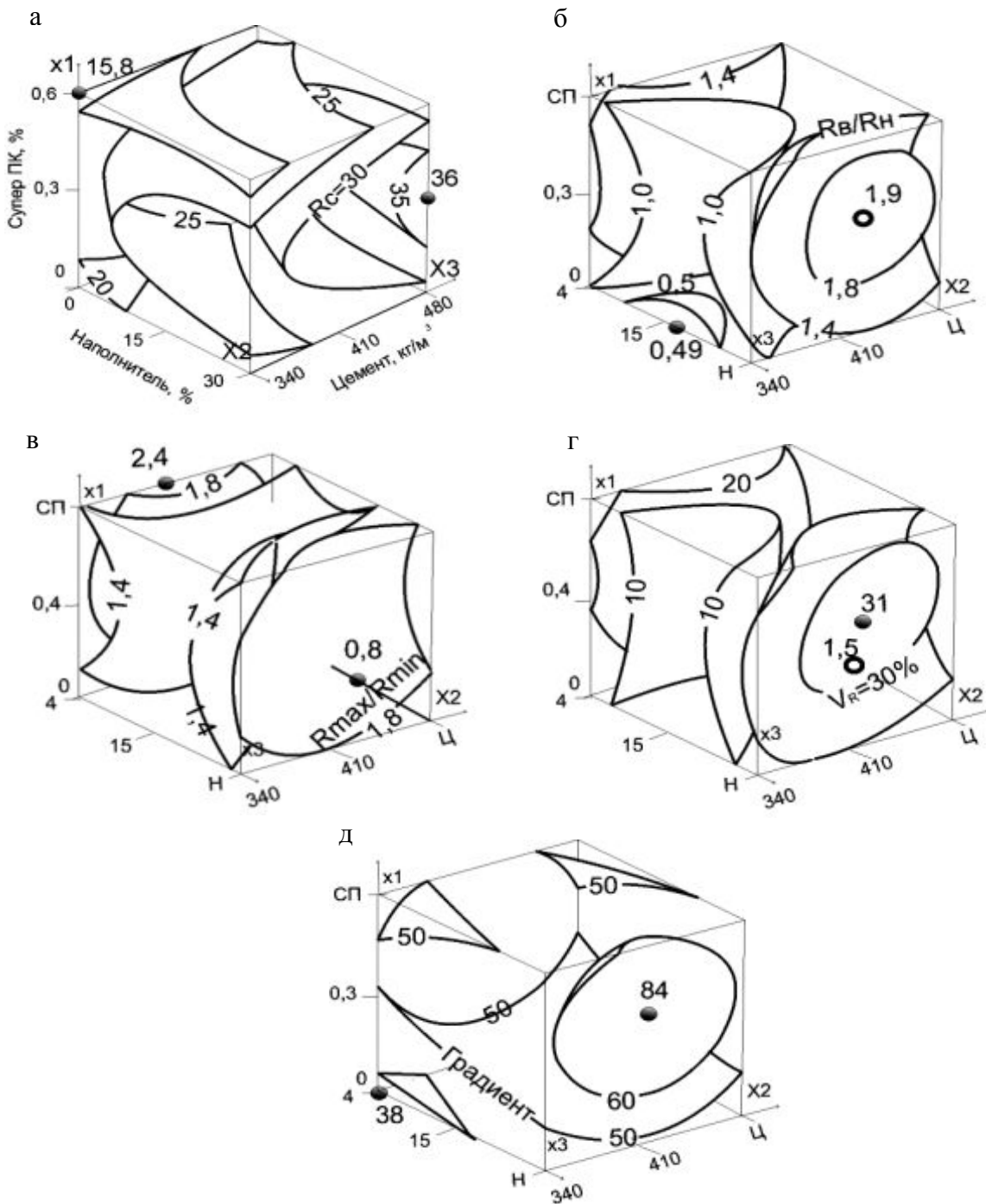


Рис. 2 – Влияние факторов состава бетона на среднюю прочность в столбе (а), отношение прочности верхнего и нижнего фрагментов (б), максимальной и минимальной прочности (в), а также градиент прочности (г) и коэффициент вариации (д).

Рост показателя $R_{верх}/R_{низ}$ (рис. 2. б), достигаемый с увеличением количества наполнителя и суперпластификатора, говорит о том, что в этом случае

более прочными оказываются элементы верхней части столба. Выравнивание прочности достигается при приближении показателя $R_{\text{верх}}/R_{\text{низ}}$ к единице. Это возможно в случае дозировки суперпластификатора и наполнителя на среднем уровне (в центральной части куба).

Диаграмма модели относительного перепада - отношения максимальной R_{max} и минимальной R_{min} прочности (рис. 2. в), определяет однородную зону в отсутствие СП при среднем содержании наполнителя и цемента. И, наоборот, различие возрастает более чем в 2 раза, если уменьшать содержание цемента и увеличивать количество суперпластификатора.

Градиент прочности по высоте может возрастать с ростом содержания наполнителя. Судя по рис. 2. г, наиболее безопасным будет пространственное поля элемента в случае минимального содержания цемента и наполнителя при понижении количества суперпластификатора.

Близкие по смыслу выводы относительно ухудшения однородности следуют из анализа модели коэффициента вариации. В то же время минимальное значения $v_{R_{\text{min}}} = 1,2\%$ относится не высоким, а к средним дозировкам дисперсного наполнителя.

Следует отметить, что точность рассмотренных моделей, судя по ошибке эксперимента s_3 , отнюдь не равноценна. Поэтому значения минимума и максимума использованы не только при материаловедческом анализе ЭС-моделей, но и при дискриминации обобщающих показателей неоднородности по критерию полноты [2]:

$$t_{\text{min}}^{\text{max}} = (G_{\text{max}} - G_{\text{min}})/s_3\{G\}. \quad (8)$$

Чем мера полноты в факторном пространстве выше, тем эффективнее критерий неоднородности поля (если его значение менее 6, то обобщающий показатель классифицировался как непригодный для анализа).

Точность полученных моделей неравноценна, о чем свидетельствует ошибка эксперимента s_3 и показатель полноты $t_{\text{min}}^{\text{max}}$ (таблица).

Судя по показателю полноты $t_{\text{min}}^{\text{max}}$, наиболее эффективны зависимости коэффициента расслоения $K_R = R_g/R_n$, перепада прочности $\Delta_R = R_{\text{max}}/R_{\text{min}}$.

Регулирование параметрами состава позволяет улучшить удобоукладываемость бетонных смесей и повысить однородность прочности затвердевшего бетона в пространстве изделия или элемента.

Показатели поля определяют эффективность наполнителя в бетоне, при

его оптимальной дозировке, и ограничивают количество поликарбокилатного суперпластификатора в результате снижения однородности бетонной смеси.

Таблица

Характеристики поля неоднородности прочности

Критерий однородности	t_{\min}^{\max}	s_3	G_{\max}	Компоненты			G_{\min}	Компоненты		
				СП	H	Ц		СП	H	Ц
R_{cp}	12,2	1,7	36,6	0,30	24	480	15,8	0,6	0	340
$K_R = R_{\phi}/R_H$	21,1	0,07	1,98	0,45	30	445	0,50	0	15	300
$\Delta_R = R_{\max}/R_{\min}$	10,3	0,16	2,40	0,43	30	420	0,75	0	30	480
$\nabla_R = (R_{\max} - R_{\min})/h$	4,1	18,1	84,2	0,46	30	410	10,5	0	0	340
$V_R = s_R/R_{\text{cp}}$	9,5	3,10	30,9	0,25	30	420	1,35	0	16	480

Список литературы: 1. Евдокимов Н.И. Технология монолитного бетона и железобетона / Н.И. Евдокимов, А.Ф. Мацкевич. – М.: Высш. школа, 1980. – 325 с. 2. Вознесенский В.А. Сравнительный анализ критериев неоднородности пространственно-геометрических полей свойств композитов в тонкостенных конструкциях / [В.А. Вознесенский, С.В. Коваль, Т.В. Ляшенко и др.] // Ресурсосберегающие решения в технологии строительных материалов и конструкций. – 1992. – С. 3 – 12. 3. Voznesensky V. The Application of Experimental Statistical Models to Multicriterion Design of Claidite Concrete / [V. Voznesensky, S. Koval, T. Liashenko at al.] // Structural Lighveight Aggregate Concrete: Int. Symp.: proc. – Oslo, 1995. – P. 260 – 272.

Поступила в редколлегию 20.08.12

УДК 691.175:519

Влияние состава на однородность прочности бетона в элементе / С. КОВАЛЬ, В.А. САПОЖНИКОВ // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 79 – 85. – Библиогр.: 3 назв.

У статті показано особливості і приведено результати моделювання дії факторів складу на параметри неоднорідності міцності бетону у вертикально формованих елементах.

The article describes characteristics and results of modeling the impact of composite factors on the parameters of heterogeneity of concrete strength in vertical molded elements.