

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА НА СВОЙСТВА СФЕРОГИПСОБЕТОНА

Керш Д.В., Ляшенко Т.В., *д.т.н., профессор*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Введение. Материалы на основе сульфата кальция весьма перспективны для строительной отрасли. В частности, значительный эффект может дать применение облегченного гипсобетона для производства строительных перегородок. Для снижения массы конструкций и расхода вяжущего в смесь вводят различные легкие заполнители: перлит, вермикулит, опилки и др. Улучшая теплозащитные свойства гипсовых элементов, эти неорганические и органические заполнители увеличивают водопотребность смеси и уменьшают прочность материала.

Использование в качестве заполнителя ценосфер – микросфер золы-уноса [1] позволяет снизить плотность гипсобетона, улучшить его теплозащитные и звукоизолирующие свойства [2]. Дополнительное снижение плотности можно обеспечить введением в смесь перлитового песка (с насыпной плотностью 80 кг/м^3), а также поризацией гипсовой матрицы за счет воздухововлекающих добавок. В данной статье представлены результаты экспериментального исследования, показывающие возможности реализации этих положений.

Условия эксперимента. При разработке облегченного гипсобетона в эксперименте варьировались 2 группы параметров состава, представленные в табл. 1; их значениям соответствуют уровни стандартно нормализованных факторов, $|x_i| \leq 1$. Указанные диапазоны выбраны на основе предварительных испытаний. В частности, нижняя граница CS обусловлена обнаруженным ростом прочности при введении от 5 до 20% ценосфер (в 1.6 раз при 5%); при 30% прочность образцов становилась равной прочности чистого гипса (применялся гипс марки Г5). Распределение размера ценосфер со средним около 0.1 мм и средний размер зерен перлита около 0.3-0.5 мм могли обеспечить довольно компактные укладки и формирование относительно устойчивого каркаса «наполнитель-заполнитель». Необходимое количество воды для каждой β -полугидратной композиции подбиралось так, чтобы расплыв смеси был равен 180 мм (на стеклянном столике).

Табл. 1 Значения параметров композиций в эксперименте

i	Фактор X_i		Уровни		
			$x_i = -1$	$x_i = 0$	$x_i = +1$
1	Факторы заполнителя – количество (% от объема гипса):	ценосфер (CS)	30	50	70
2		перлита (P)	0	15	30
3	Факторы матрицы – дозировки (% от массы гипса):	суперпластификатора (SP)	0.3	0.5	0.7
4		воздухововлекающей добавки (AE)	0.2	0.5	0.8

Для 18-ти композиций, в соответствии с 4-факторным планом эксперимента второго порядка, определялись водопотребность W (кг на 1 кг сухой смеси) и водогипсовое отношение W/G , а также уровни свойств материалов, в том числе: плотность ρ (кг/м³) прочность на сжатие и изгиб R_c и R_b (МПа), теплопроводность λ (Вт/(м·К)), характеристика звукоизолирующей способности материала R_s (дБ). Данные о времени схватывания здесь не рассматриваются. Как показали предварительные испытания, начало схватывания (от 7 до 21 мин для серии из 18 образцов) может быть существенно замедленно микродозами лимонной кислоты без заметной потери прочности. Экспериментальные данные, представленные на рис. 1, показывают ожидаемую связь между свойствами, при водогипсовом отношении W/G для 18 составов в пределах 0.57-0.68, практически одинаковом расходе воды ($W = 0.51-0.53$) и расходе строительного гипса в интервале 0.77-0.90 (кг/кг сухой смеси).

Рецептурные поля свойств. Полученные данные позволили описать поля свойств материала в пространстве четырех координат состава

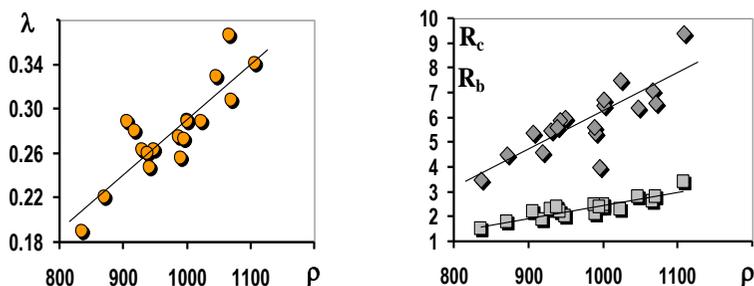


Рис. 1 Диаграммы рассеяния экспериментальных значений свойств облегченного гипсобетона

(вектора \mathbf{x}) нелинейными 4-факторными экспериментально-статистическими (ЭС) моделями. В частности, уравнения (1-4) описывают поля плотности, прочности при сжатии и изгибе и теплопроводности (со значимыми коэффициентами при 10% риске и ошибках эксперимента 1-6%).

$$\begin{aligned} \rho = & 945.2 - 39.5x_1 \pm 0 \quad x_1^2 + 6.5x_1x_2 \pm 0 \quad x_1x_3 \pm 0 \quad x_1x_4 \\ & - 73.3x_2 \pm 0 \quad x_2^2 \quad + 5.6x_2x_3 - 8.7x_2x_4 \\ & - 5.5x_3 + 10.9x_3^2 \quad + 7.5x_3x_4 \\ & - 9.8x_4 + 11.8x_4^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R_c = & 5.46 - 0.75x_1 \pm 0 \quad x_1^2 \pm 0 \quad x_1x_2 + 0.19x_1x_3 \pm 0 \quad x_1x_4 \\ & - 1.14x_2 \pm 0 \quad x_2^2 \quad + 0.22x_2x_3 \pm 0 \quad x_2x_4 \\ & - 0.36x_3 + 0.40x_3^2 \quad \pm 0 \quad x_3x_4 \\ & - 0.55x_4 \pm 0 \quad x_4^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} R_b = & 1.94 - 0.32x_1 + 0.10x_1^2 \pm 0 \quad x_1x_2 + 0.06x_1x_3 \pm 0 \quad x_1x_4 \\ & - 0.32x_2 + 0.16x_2^2 \quad \pm 0 \quad x_2x_3 - 0.07x_2x_4 \\ & - 0.20x_3 + 0.14x_3^2 \quad \pm 0 \quad x_3x_4 \\ & - 0.19x_4 \pm 0 \quad x_4^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \lambda = & 0.265 - 0.034x_1 + 0.008x_1^2 \pm 0 \quad x_1x_2 \pm 0 \quad x_1x_3 - 0.009x_1x_4 \\ & - 0.030x_2 + 0.015x_2^2 \quad + 0.006x_2x_3 - 0.006x_2x_4 \\ & - 0.007x_3 \pm 0 \quad x_3^2 \quad \pm 0 \quad x_3x_4 \\ & \pm 0 \quad x_4 \pm 0 \quad x_4^2 \end{aligned} \quad (4)$$

По моделям определены максимальные и минимальные уровни и другие обобщающие показатели рецептурных полей свойств. Ниже приведены некоторые из них:

$$\rho_{\min} = 830 \text{ кг/м}^3 \quad (\text{при } x_1 = x_2 = +1, x_3 = -0.30, x_4 = 0.89),$$

$$\lambda_{\min} = 0.19 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \quad (\text{при } x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = +1),$$

$$R_{c,\max} = 9.1 \text{ и } R_{b,\max} = 3.4 \text{ МПа} \quad (\text{при } x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = -1),$$

$$R_{S,\max} = 42.5 \text{ дБ} \quad (\text{при } x_1 = 0.8, x_2 = x_3 = x_4 = +1).$$

Как и следовало ожидать, желаемые индивидуальные оптимумы критериев обеспечиваются разными составами, в частности, совершенно «противоположными» для теплопроводности и прочности. Поэтому при разработке материала определенного назначения может возникнуть необходимость поиска компромисса.

Индивидуальное влияние отдельных факторов состава на свойства облегченного гипсобетона визуализируют «квазиоднофакторные кри-

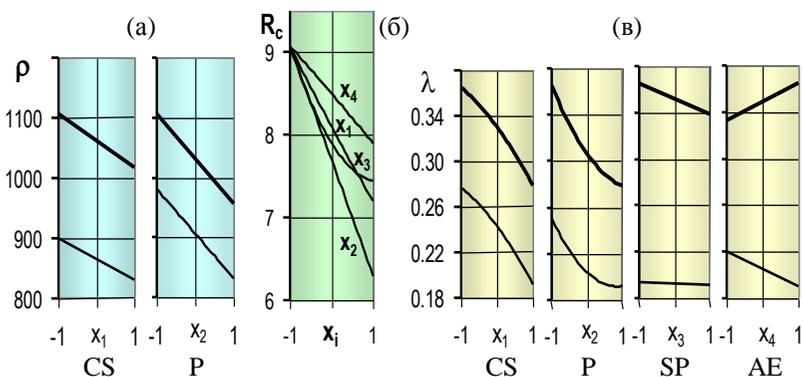


Рис. 2 Влияние содержания компонентов на плотность и теплопроводность в зонах их минимумов и максимумов (а, в), на прочность при сжатии в зоне максимума (б)

вые» (рис. 2) в зонах минимумов и максимумов (полученные путем подстановки в соответствующие модели тех значений 3-х других факторов, которые обеспечивают минимальный и максимальный уровень). Модели и кривые указывают на преобладающее влияние компонентов легкого наполнителя-заполнителя на структуру композита и довольно неоднозначное действие модификаторов матрицы.

Дозировки добавок оказались более мощными факторами для показателя звукоизоляции R_S : он заметно растет с увеличением SP и особенно AE. Добавление ценосфер (от 30 до 70%) повышает уровень R_S , когда он относительно высок (в зоне максимума), но снижает его, если матрица, межзеренные и межфазные слои, и поверхности раздела недостаточно «хороши» для этого показателя (в зоне минимума).

Корреляция свойств. В зависимости от условий структурообразования могут трансформироваться и связи между характеристиками материала. Оцененные по 18 парам экспериментальных значений плотности и прочности (показанных на рис. 1) коэффициенты корреляции $r\{R_c, \rho\} = 0.81$ и $r\{R_b, \rho\} = 0.89$ подтверждают значимую (при риске менее 1%) положительную линейную связь этих свойств. Однако эти данные могут представлять разные совокупности (свойства композиций существенно разной структуры).

Обнаружить наличие или отсутствие корреляции и различия в связях между свойствами в разных рецептурных зонах, а также охарактеризовать эти связи позволяют статистические испытания на локальных рецептурных полях [3, 4]. Парные выборки любого объема, необходи-

мые для такого анализа и для построения возможных прогнозных уравнений, могут быть смоделированы в вычислительных экспериментах, в которых для оценки свойств любого числа генерированных составов используются ЭС-модели, построенные по данным натурального эксперимента.

Каждая из диаграмм на рис. 3 представляет пары значений (R_c, ρ) и (R_b, ρ) для 100 генерированных составов с разными дозировками добавок (в диапазонах $0.3 \leq SP \leq 0.7\%$, $0.2 \leq AE \leq 0.8\%$, $-1 \leq x_3, x_4 \leq +1$) при фиксированном содержании легких заполнителей: а) при минимальных $CS = 30$ и $P = 0\%$ ($x_1 = x_2 = -1$), б) при верхних значениях $CS = 70$ и $P = 30\%$ ($x_1 = x_2 = +1$). Как оказалось, вариация дозировок добавок обнаруживает хотя и значимую, но довольно слабую корреляцию прочности с плотностью ($r\{R_c, \rho\} = 0.32$, $r\{R_b, \rho\} = 0.45$) при отсутствии легких зерен перлита в гипсовом композите относительно «высокой» прочности, содержащем оптимальное количество ценосфер.

Когда же легкий каркас составляет существенную часть структуры, корреляция становится сильнее ($r\{R_c, \rho\} = 0.67$, $r\{R_b, \rho\} = 0.72$); связи прочностей с плотностью можно количественно описать и использовать для предсказания R по ρ .

Заключение. С помощью многофакторных экспериментально-статистических моделей, построенных по данным спланированного эксперимента, оценено и проанализировано индивидуальное и совместное влияние дозировок легких заполнителей и добавок на плотность, прочность, теплопроводность и показатель звукоизолирующей способности облегченного гипсобетона, содержащего микросферы золы-уноса. Для включения этого побочного продукта в список эффективных заполнителей необходимы физико-химические исследования межфазных слоев между гипсовой матрицей, ценосферами и другими дисперсными элементами.

Summary

Individual and joint effects of mix proportions on the properties of lightened gypsum concrete containing fly ash microspheres are evaluated and analysed with experimental-statistical models built on the data obtained for 18 compositions in the designed experiment.

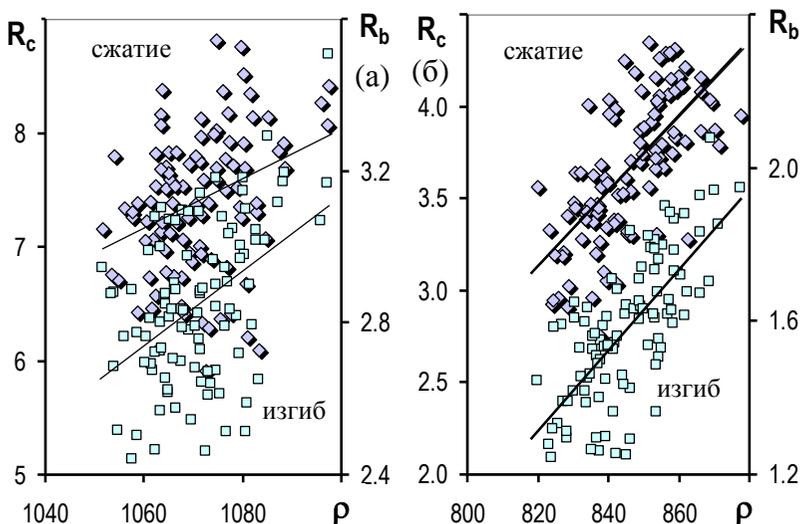


Рис. 3 Диаграммы рассеяния симулированных значений свойств для генерированных композиций с 30% ценосфер без перлита (а) и при CS и P на верхних уровнях (б)

1. Пашкевич А.А., Первушин Е.Г., Орешкин Д.В. Полые стеклянные микросферы и формирование структурных цементных систем // Строительная физика в XXI веке. – М.: НИИСФ РААСН. – 2006. – С.147-150.

2. Керш Д.В., Ковінчук В.І., Марчук О.Н. Гипсобоетон з покращеннями фізико-механічними властивостями // Зб. доповідей наук.-практичн. конф. «Енергоєфективні технології в міському будівництві та господарстві». – Одеса: ОДАБА, 2012. – С.174-178.

3. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методы компьютерного материаловедения при анализе взаимосвязи реологических показателей композиций // Вісник Дон. ДАБА. Композиційні матеріали для будівництва: Зб. наук. пр. – Мажківка: Дон. ДАБА. – 2001. – Вип. 2001-1(26). – С. 67-74.

4. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении // Вісник ОДАБА. – Одеса, Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171-179.