

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ АВТОКЛАВНЫХ ГАЗОБЕТОНОВ Д-800 НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПРОМИССНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Гаврилюк В.П. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

За результатами обчислювальних експериментів на 6 полях властивостей газосилікату з постійною щільністю при збільшенні його класу за міцністю визначено тенденції зміни компромісних рівнів 6 критеріїв якості і 9 рецептурно-технологічних факторів.

Введение. Поиск компромиссных оптимальных рецептурно-технологических (РТ) решений методом итерационного случайного сканирования полей свойств материала [1] позволил получить ряд полезных результатов в различных областях строительного материаловедения, в том числе при исследовании автоклавных ячеистых бетонов [2-4]. Основаниями для дополнительных выводов о влиянии РТ-факторов на критерии качества и о взаимосвязи между ними могут служить результаты парного [4] и многоуровневого сравнительного анализа координат компромиссных решений.

Цель данного этапа работы – анализ влияния на координаты компромисса повышения класса газобетона по прочности на сжатие при постоянном уровне требований к его плотности Д800; при этом решения найдены по новой версии алгоритма поиска компромисса, в которой генерируются дискретные равномерно распределенные уровни РТ-факторов [4].

Условия натурального эксперимента и моделирование. Кафедра ПАТСМ ОИСИ и НИПИСиликатобетон МПСМ СССР провели комплексное исследование влияния РТ-факторов на свойства и структуру автоклавного газобетона. На основании экспертизы были выбраны многочисленные критерии качества готового газосилката и его ячеистой структуры. Эксперты выбрали девять РТ-факторов X_i и диапазоны их варьирования в эксперименте: $X_{0,i} \pm \Delta X_i$; D , см – растекаемость растворной смеси по Суттарду, $X_1 = 27 \pm 4$, шаг регулирования при поиске компромисса $h_1 = 0.5$ см; w_s , % – влажность песка при совместном помоле с известью, $X_2 = 5 \pm 3$, $h_2 = 0.5$ %; S_s , м²/кг – удельная поверхность песка, $X_3 = 250 \pm 100$, $h_3 = 20$ м²/кг; τ , час – изотермическая выдержка в автоклаве, $X_4 = 8 \pm 4$, $h_4 = 0.5$ ч; p , МПа – рабочее давление пара в автоклаве, $X_5 = 1.0 \pm 0.2$, $h_5 = 0.05$ МПа; A , % – количество алюминиевой пудры (от сухой массы), $X_6 = 0.07 \pm 0.03$, $h_6 = 0.005$ %; a_{CaO} , % – активность смеси (доля СаО в смеси извести и песка), $X_7 = 17 \pm 3$, $h_7 = 0.5$ %; t_w , °С – температура воды затворения, $X_8 = 35 \pm 10$, $h_8 = 2$ °С; C , % – количество цемента (от всей смеси), $X_9 = 10 \pm 10$, $h_9 = 1$ %.

Эксперимент выполнен по специальному трехуровневому 56-точечному плану; позволяющий оценить 55 коэффициентов в квадратичных ЭС-моделях. Он «заменяет» планы ПФЭ 2⁹ и 3⁹, содержащие соответственно 512 и 19683 опытов.

Из газосиликатных блоков, изготовленных по 56 регламентам, выпиливались образцы сечением 4×4 см. Экспериментально определены многочисленные прямые и косвенные критерии качества газосилката, в частности, плотность γ (кг/м³), коэффициент теплопроводности λ (мВт/м.К), пределы прочности (МПа) при сжатии и изгибе R_c и R_b , предельная деформативность при изгибе ε (мм/м), а также вязкость разрушения H (кДж/м²). Построен комплекс квадратичных ЭС-моделей со структурой аналогичной (1)

$\varepsilon =$	0.86								
+0.04 x_1	$\pm 0x_1^2$	$\pm 0x_1x_2$	$\pm 0x_1x_3$	-0.02 x_1x_4	$\pm 0x_1x_5$	$\pm 0x_1x_6$	$\pm 0x_1x_7$	$\pm 0x_1x_8$	$\pm 0x_1x_9$
+0.02 x_2	-0.13 x_2^2		+0.02 x_2x_3	$\pm 0x_2x_4$	$\pm 0x_2x_5$	$\pm 0x_2x_6$	$\pm 0x_2x_7$	$\pm 0x_2x_8$	$\pm 0x_2x_9$
$\pm 0x_3$	$\pm 0x_3^2$			-0.02 x_3x_4	$\pm 0x_3x_5$	+0.02 x_3x_6	$\pm 0x_3x_7$	$\pm 0x_3x_8$	+0.04 x_3x_9
+0.03 x_4	$\pm 0x_4^2$				$\pm 0x_4x_5$	$\pm 0x_4x_6$	+0.02 x_4x_7	$\pm 0x_4x_8$	-0.02 x_4x_9
+0.08 x_5	$\pm 0x_5^2$					$\pm 0x_5x_6$	$\pm 0x_5x_7$	$\pm 0x_5x_8$	-0.03 x_5x_9
+0.04 x_6	$\pm 0x_6^2$						$\pm 0x_6x_7$	$\pm 0x_6x_8$	-0.02 x_6x_9
-0.03 x_7	-0.06 x_7^2							-0.02 x_7x_8	$\pm 0x_7x_9$
$\pm 0x_8$	$\pm 0x_8^2$								+0.01 x_8x_9
-0.04 x_9	$\pm 0x_9^2$								

Они допущены для инженерного анализа и вычислительных экспериментов после исключения (при последовательном регрессионном анализе) всех статистически незначимых оценок коэффициентов. Так в модели для деформативности остался 21 значимый коэффициент. Вязкость разрушения H не имела своей собственной модели, а получена как результат умножения предела прочности на растяжение при изгибе R_b на предельную деформативность ε .

Поиск компромиссного решения. Поиск компромиссных оптимальных РТ-решений выполнялся методом итерационного случайного сканирования полей свойств материала [1], причем в данном случае при генерировании уровней РТ-факторов использовалось равномерное дискретное сканирование. В интервалах от -1 до +1 располагаются промежуточные уровни, через равные ступени, размер которых h_i определяется в конкретном вычислительном эксперименте для каждого фактора возможностями производственных систем регулирования [4]. Решение задач компромиссной оптимизации свойств газосилката марки Д800 (740 – 840 кг/м³ согласно ДСТУ Б В.2.7-137:2008) проводилось по трем вариантам: начиная от достаточно низкого

класса 3.5 (средний предел прочности на сжатие $4.50 \leq R_c < 6.43$ МПа) к классу В5 ($6.43 \leq R_c < 9.64$ МПа) и далее к относительно прочному газосиликату класса 7.5 ($9.64 \leq R_c < 12.85$ МПа) Эти нормативы являлись критериями ограничения. Два критерия были компромиссно оптимизируемы - коэффициент теплопроводности λ и показатель вязкости разрушения H , который равен $H=R_b \cdot \epsilon$ (рассчитывался численно по моделям контролируемых свойств R_b, ϵ).

Сравнительный анализ результатов компромиссной оптимизации при постоянной плотности газобетона. Для анализа оптимальных компромиссных критериев качества Y_i и РТ-факторов X_i при переходе от класса 3.5 к классу 7.5 при постоянной плотности газосиликата (Д-800) целесообразно использовать графики, показанные на рис.1 и 2. Они отражают результаты поиска при случайном сканировании 9-факторных полей свойств материала и соответствуют тенденциям в изменении Y_i и x_i . Ось абсцисс – прочность газосиликата на сжатие R_c ; на ней отмечены лишь три точки, соответствующие этому свойству при компромиссе между λ и H . Точки отстоят на неравном расстоянии друг от друга, поскольку в информационном массиве, соответствующем классу В7.5 значения $R_c < 11$ МПа.

Такой критерий качества как плотность γ не мог существенно изменяться, так как у всех вариантов поиска компромисса были одинаковые ограничения Д-800. Мало меняется и коэффициент теплопроводности λ , который сильно коррелирует с γ .

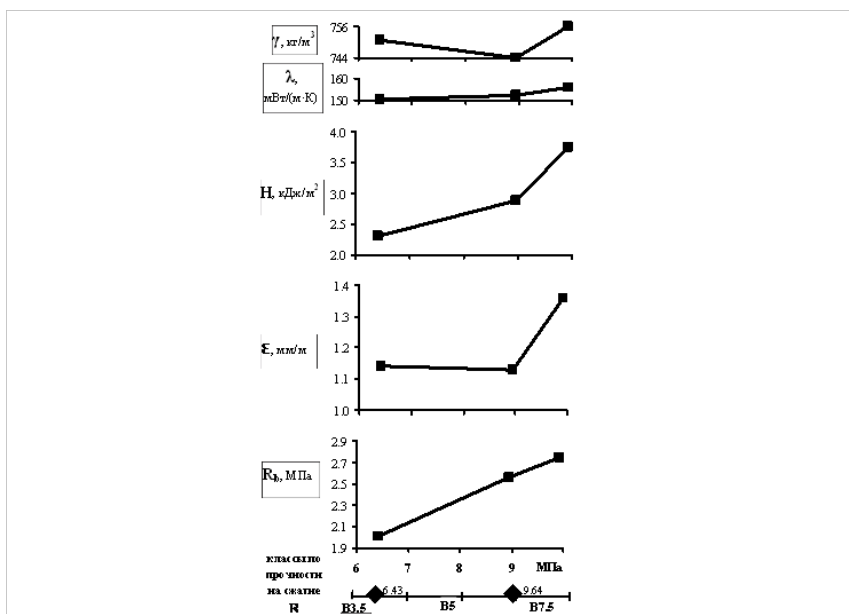


Рис.1. Тенденция изменения уровней компромиссных оптимумов критериев качества при переходе от класса 3.5 к классу 7.5 (практически постоянная плотность $\gamma = 744-756$ кг/м³ и теплопроводность $\lambda = 150-160$ мВт/(м·К))

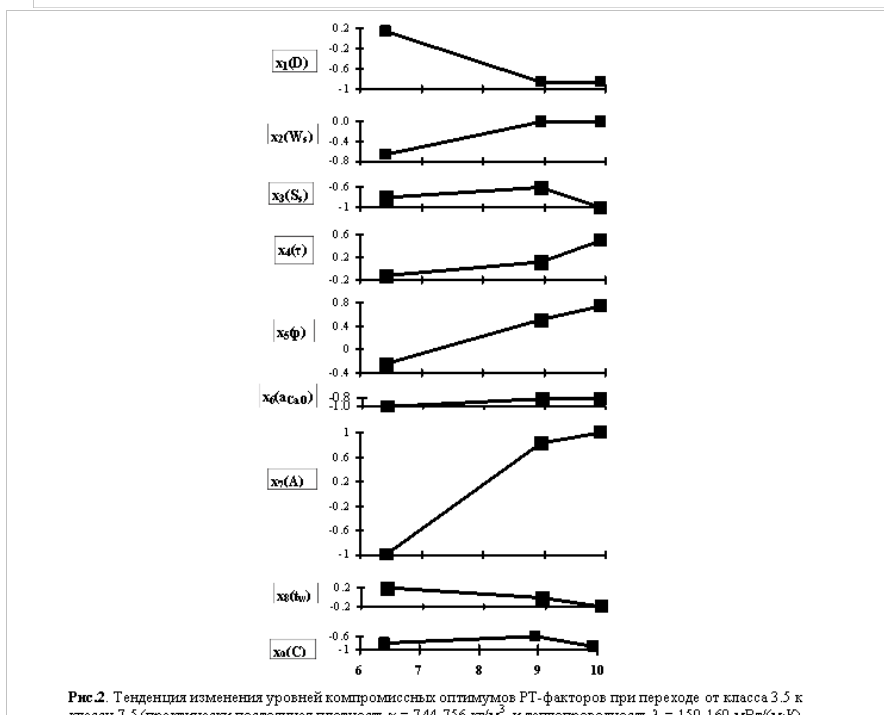


Рис.2. Тенденция изменения уровней компромиссных оптимумов РТ-факторов при переходе от класса 3.5 к классу 7.5 (практически постоянная плотность $\gamma = 744-756$ кг/м³ и теплопроводность $\lambda = 150-160$ мВт/(м·К))

Линейно возрастает прочность газосиликата на изгиб, которая сильно коррелирует с возрастающей вдоль оси абсцисс прочностью на сжатие. Совсем по-иному происходит изменение компромиссной деформативности. Она не всегда следует за ростом прочности на сжатие и на изгиб. Более того при переходе от В3.5 к В5 она практически постоянна. При анализе результатов натуральных экспериментов отмечалось, что по мере уменьшения несущей способности перегородок автоклавного газобетона деформативность не только не уменьшается, но и имеет тенденцию к росту. Следовательно, и при постоянной плотности уменьшение прочности может сопровождаться сохранением или повышением уровня деформативности. Вязкость разрушения $H = R_b \cdot \epsilon$, обобщающая два предыдущих критерия, возрастает ускоренно – при повышении класса, приоритетным становится влияние факторов, определяющих рост R_b .

Вызванные повышением класса по прочности газобетона изменения компромиссных оптимальных уровней 9 РТ-факторов показаны на рис.2. При переходе от В3.5 к В7.5 нормализованные факторы изменяются на разную величину $z_i = (x_{\text{compr.max}} - x_{\text{compr.min}})_i$. Исходя из этого показателя, факторы целесообразно разделить на две группы по абсолютной величине z_i (в диапазонах от 0 до 2). В первую группу $z_i > 0.6$ вошли 5 факторов, образующих ранжированный ряд (2), а во вторую - 4 с $z_i \geq 0.4$ – возрастающий ряд (3):

$$z_7(a_{\text{CaO}})=2 > z_1(D)=z_5(p)=1 > z_2(w_s)=0.67 > z_4(\tau)=0.62 \quad (2)$$

$$z_6(A)=0.17 < z_9(C)=0.3 < z_3(S_s)=z_8(t_w)=0.4. \quad (3)$$

Ряд (2) составили факторы, которые обеспечивают прочность твердой фазы газобетона. Так, активность смеси песка с известью x_7 возрастает от -1 (14%) до +1 (20%), давление пара в автоклаве существенно возрастает на $z_5=1$ (на 0.1 МПа). Абсолютное изменение диаметра расплыва конуса также $z_1=1$, но его нужно уменьшать, снижая количество воды затворения. К другой группе (3) отнесены те РТ- факторы, изменения которых значительно меньше. Они оказывают влияние, главным образом, на пористость газосиликата и технологические свойства сырца.

Заклучение. Поиск компромиссных оптимальных решений методом случайного сканирования многофакторных полей свойств ячеистых материалов дополнительно позволяет оценивать роль РТ- факторов при изменении нормативных требований к материалу.

Литература

1. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении: – Одесса: Астропринт, 2006 – 116 с.
2. Автоклавный газобетон: Десятифакторное квадратичное моделирование (1981-85) и компьютерное материаловедение (2007-08) / Вознесенский В.А., Гаврилюк В.П., Керш В.Я. и др. // Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии: Мат-лы междунард. семинара МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 97-104.
3. Вознесенский В.А., Гаврилюк В.П., Ляшенко Т.В. Сравнительный анализ результатов компромиссной оптимизации автоклавных газобетонов Д-800 различных классов прочности // Вісник ОДАБА, Вип. 31, Одеса, 2008 – С. 72-79.
4. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Гаврилюк В.П. Компромиссная оптимизация свойств газосиликата при дискретных равномерно распределенных уровнях девяти рецептурно-технологических факторов / Сучасні будівельні матеріали: Вісник ДонНАБА, Вип. 2009-1 (75), 2009. - С.139-145.