

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ КОМПРОМИСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЕСТКОВО-КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ КОМПОЗИТОВ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРЖДЕНИЯ

Шинкевич Е.С., *д.т.н., профессор*, **Тымняк А.Б.**, *аспирант*,
Новиков В.Н., *магистр*, **Виноградский В.М.**, *к.т.н., доцент*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

На данный момент роль бесклинкерных композиционных вяжущих вновь возрастает. К прогрессивным стеновым материалам относятся известково-кремнеземистые композиты и крупноблочные изделия на их основе. Традиционная технология получения изделий на основе известково-кремнеземистого вяжущего осуществляется в автоклаве паром с температурой 175-180°C и давлением 0,8-1,2 МПа. На действующих предприятиях технологическое оборудование выработало свой ресурс, морально и технологически устарело, его восстановление на технологическом уровне 90-х годов не имеет смысла. В связи с этим интерес представляют способы получения композиционных силикатных неавтоклавных материалов, с применением нанотехнологических приемов, и составы, разработанные в ОГАСА, которые позволяют получить материал с плотностью менее 1500 кг/м³ [1,2], как альтернатива силикатному кирпичу с плотностью более 1800 кг/м³. Налажено также промышленное производство конструктивно-теплоизоляционных стеновых изделий на активированном известково-вулканическом вяжущем [3], стеновых блоков из газосиликата неавтоклавного твердения на активированном известково-перлитовом вяжущем и зол гидроудаления [4]. Экономическая эффективность за счет отказа от дорогостоящего цемента составляет 32%. Разработаны и представлены на рынке новые конструкции смесителей-активаторов и физико-химические методы активации позволяют на 15-30% сократить цикл ТВО.

Вышеперечисленные материалы относятся к композиционным строительным материалам, которые стали привлекать внимание специалистов в связи с возрастанием требований к физико-техническим свойствам уже известных и практической необходимостью создания целой гаммы новых строительных материалов с иными характеристиками [5,6]. Обнаружено, что не всегда проявляется свойство аддитивности при проектировании сложно составленных материалов [7]; возможна трансформация свойств индивидуальных компонентов в свойствах их композиции через организацию новых структур, что сопровождается эффектом синергизма. Гетерогенность композитов, состоящих из разнообразных компонентов, определяет выбор методов и подходов к проектированию и усложняет анализ результатов экспериментов. В связи с данной ситуацией обосновано применять метод многокритериальной компромиссной оптимизации.

Натурный 6-ти факторный эксперимент был поставлен по 21 точечному плану типа МТQ [8], в котором варьируются одновременно три зависимых и три независимых фактора состава и технологии. В качестве трех зависимых факторов эксперимента, которые характеризуют качественный состав смеси, принята изменяющаяся величина удельной поверхности минеральной добавки:

$$v_1 - S_1 = 350 \text{ м}^2/\text{кг}, v_2 - S_2 = 425 \text{ м}^2/\text{кг}, v_3 - S_3 = 500 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

В качестве независимых факторов варьировались два фактора технологии: $x_4 - \tau_{н.е.} = (6 \pm 6) \text{ час}$ – длительность предварительного выдерживания в нормальных условиях, $x_5 - \tau_{ТВО} = (14 \pm 4) \text{ час}$ – длительность ТВО при $T = (85 \pm 3)^\circ\text{C}$ и один фактор состава смеси: $x_6 - C_g = (2.5 \pm 2.5)\%$ – добавка гипса.

Для определения рецептурно-технологических факторов, которые обеспечивают получение эффективных и условно-эффективных лицевых стеновых материалов с требуемым значением свойств, была сформулированная оптимизационная задача, представлена в таблице 1.

Оптимизационная задача

Критерии оптимизации	Условия оптимизации	Гарантированные уровни
Основные критерии качества	Прочности при сжатии $R_{сж} \rightarrow \max$	$R_{сж} \geq 7,5 \text{ МПа}$
	Прочность при изгибе $R_{изг} \rightarrow \max$	$R_{изг} > 2 \text{ МПа}$
	Марка по морозостойкость $F \rightarrow \max$	$F \geq 35$
	Коэффициент размягчения $k_p \rightarrow \max$	$k_p > 0,8$
Дополнительные критерии качества и технологии	Плотность $\rho \leftarrow \min$	$\rho < 1650 \text{ кг/м}^3$
	Коэффициент теплопроводности $\lambda \leftarrow \min$	$\lambda < 0,58 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$
	Отношение пористости открытой к закрытой $P_{отк}/P_{зак} \leftarrow \min$	---
	Интенсивность капиллярного подсоса $W_{24} \leftarrow \min$	---
	Длительность ТВО $\tau_{ТВО} \leftarrow \min$	---

Для решения задачи использовалась разрабатываемой в ОГАСА методика поиска компромисса. В работах [9,10] проработана методика поиска компромиссных оптимальных решений, которая основана на процедуре случайного сканирования полей свойств с использованием метода Монте-Карло, и применена на примере гетерогенных дисперсных систем, которые изменяются под влиянием независимых факторов.

Вычислительный эксперимент выполнен на полях девяти свойств известково-кремнеземистых композитов для поиска уровней шести зависимых и независимых рецептурно-технологических факторов. Условия эксперимента потребовали внесения некоторых особенностей в алгоритм поиска компромисса. В частности, при генерации случайных составов необходимо было учитывать, что три взаимосвязанных смесевых фактора были связаны линейной зависимостью: $v_1 + v_2 + v_3 = 1$.

На исходном (нулевом) этапе первой итерации (1-0) генерируется по 10 000 случайных чисел, распределенных по дискретному равномерному закону. По ЭС-моделям определяются значения каждого из критериев качества, и таким образом оказывается сформированной матрица вычислительного эксперимента (МВЭ).

На следующем этапе (1/1) строки МВЭ сортируются и удаляются те, в которых основные критерии качества ($R_{сж}$, $R_{изг}$, F и k_p) не обеспечивают показатели, удовлетворяющие нормативным. После выполнения нормативных ограничений для поиска компромиссного оптимума остается область допустимых решений - 14 вариантов.

На заключительном этапе (1/2) первой итерации осуществляется улучшение каждого из дополнительных критериев качества от минимального уровня к оптимальному. После 1-ой итерации осталось 4 варианта. В результате диапазоны рецептурно-технологических факторов сузились по сравнению с исходными. Далее процедуры повторяются на этапах 2-ой и 3-ей итераций.

На заключительном этапе 3-ей итерации дополнительно проводилась оптимизация энергоемкого технологического фактора – длительность ТВО ($\tau_{ТВО}$).

В результате оптимизации рекомендован состав для стеновых лицевых изделий, которые обеспечивают следующие уровни критериев качества: $R_{сж}=17,5 \text{ МПа}$, $R_{изг}=8 \text{ МПа}$, $\rho=1320 \text{ кг/м}^3$, $F35$, $k_p=0,99$, $\lambda=0,49 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $P_{отк}/P_{зак}=2,9\%$, $W_{24}=9,5$, $E=42 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, $\tau_{ТВО}=16,5 \text{ часов}$.

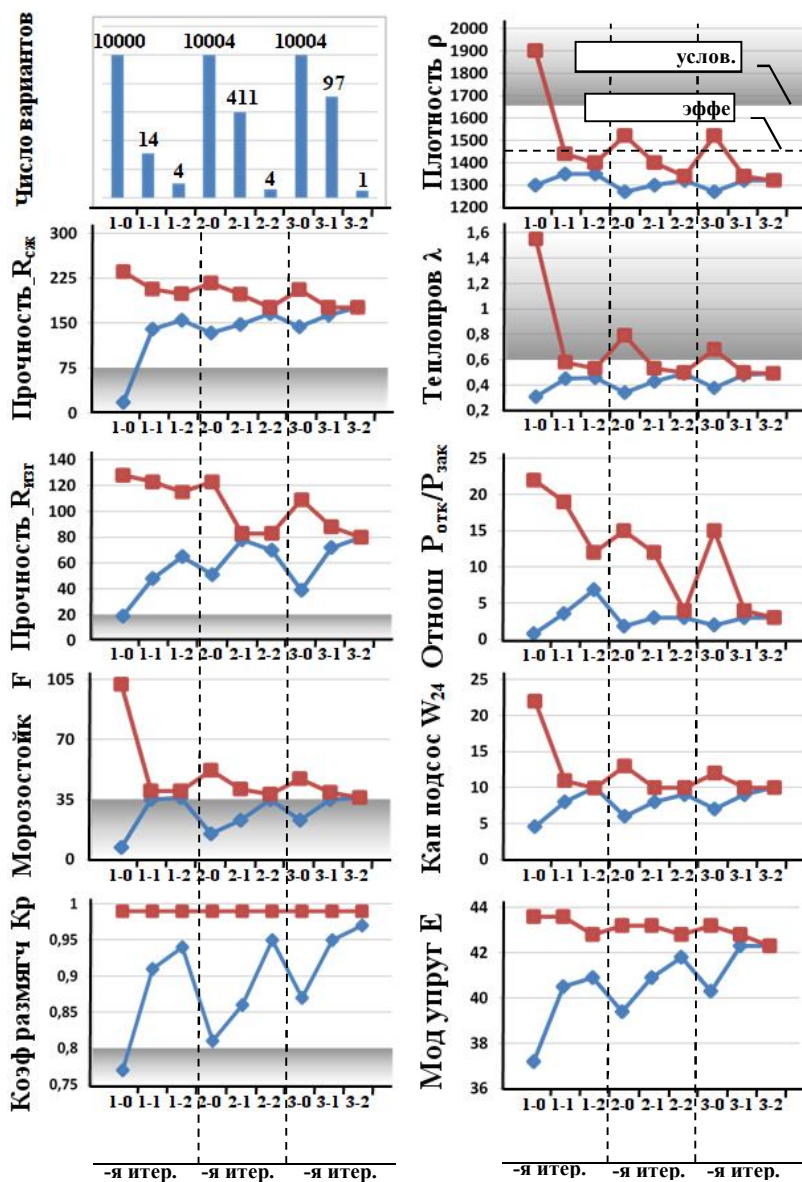


Рис. 1. Изменения в процессе поиска компромисса уровней критериев качества и числа вариантов

Выводы

Компромиссная оптимизация показала, что на данных составах могут быть получены материалы со значительно лучшими свойствами, чем в сформулированной оптимизационной задаче. По условиям ρ и λ можно говорить о возможности получения как эффективных, так и условно-эффективных изделий.

SUMMARY

The paper provided the results multicriterion compromise optimization of lime-silica composite of non-autoclave hardening. As a result of optimizing the recommended compositions, which ensures optimal quality criteria.

1. Шинкевич Е.С. Развитие научных основ получения известково-кремнеземистых строительных композитов неавтоклавного твердения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.23.05 / Шинкевич Елена Святославовна. – Одесса, 2008. – 328 с.
2. Декларационный патент на изобретение UA 64603A. Сырьевая смесь для получения модифицированных силикатных материалов и способ ее приготовления / Е.С. Шинкевич, Н.В. Сидорова, Е.С. Луцкий, В.И. Сидоров, С.И. Политкин. - № 7 С04В28/20 ; опубл. 16.02.2004, Бюл. №2.
3. Тер-Петросян П.А. Эффективны строительные материалы на базе вулканических пород Армении // Строительные материалы. – 1999. №11.–С.26.
4. Урханова Л.А. Силикатные материалы и изделия на основе активированных известково-кремнеземистых вяжущих композиций: Монография. / Л.А. Урханова, Л.М. Сулименко. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. – 312 с.
5. Композиционные материалы / Под ред. Д.М. Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1985.-592с.

6. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / Соломатов В.С., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В.- К., 1999.-144с.
7. Сайфулин Р.С. Неорганические композиционные материалы.-М.,1983.- 304с.
8. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов // В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будивельник, 1989. – 240с.
9. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном материаловедении. – Одесса, Астропринт, 2006. – 116 с.
10. Вознесенский В.А. Связь результатов компромиссной оптимизации с нормативами по плотности и прочности газобетона / В.А. Вознесенский, В.П. Гаврилюк, Т.В. Ляшенко, А.Б. Тымняк // Вісник ОДАБА. Вип. №35. – Одеса, 2009. – С.56-63.