

УДК 666.965(063):519.2

*Шинкевич Е.С., доктор техн. наук, профессор,
Тымняк А.Б., ассистент, Линник Д.С., аспирант
Тертичный А.А., аспирант
Одесская государственная академия строительства и
архитектуры, г. Одесса, Украина*

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Отрасль промышленного производства сухих строительных смесей (ССС) существует более 10 лет. За это время СССР прочно вошли в повседневную строительную практику. Производители постоянно работают над совершенствованием технологии и свойств выпускаемой продукции. Постепенно повышается культура потребления СССР на строительных объектах, и широко применяются высокопроизводительные машинные способы отделки.

Предлагаемые потребителю СССР можно классифицировать на простые и модифицированные. Модифицированные смеси производятся на высокотехнологическом оборудовании с использованием новейших добавок. Функциональные добавки являются обязательным компонентом СССР, без применения которых, как правило, невозможно достичь заданного уровня свойств смеси. Их номенклатура достаточно широка и включает более 10 типов добавок различного функционального назначения: пластификаторов, водоудерживающих, упрочнителей, ускорителей, замедлителей и т.д.

Наиболее важной задачей в оптимизации составов является уменьшение расхода вяжущего (цемента, извести, гипса) и снижение себестоимости конечной продукции. Очень часто производители пытаются улучшить качество смеси за счет либо повышения количества вяжущего, либо введения сложного комплекса дорогостоящих химических добавок. Однако каждая добавка имеет свой механизм действия и при взаимодействии с вяжущим может проявлять как положительные, так и отрицательные эффекты. При нерациональном использовании большого количества добавок происходит колоссальное увеличение себестоимости СССР и ухудшение ее рабочих характеристик. Реальным путем снижения стоимости сырья для производства СССР является оптимизация рецептур. В состав СССР входят молотые наполнители, позволяющие увеличить объем смеси и снизить ее расход на 10-15%, тем самым уменьшить себестоимость СССР.

Как видно, многокритериальная оптимизация составов СССР является актуальной и сложной задачей, решению которой способствует применение математического моделирования и компьютерных методов анализа. С развитием нового научного направления в виде компьютерного материаловедения появились принципиально новые возможности анализа и оптимизации состав, структуры и свойств СССР [1, 2, 3, 4, 5].

Технологические процессы отличаются большой сложностью, обилием и разнообразием взаимосвязей внутри каждого технологического передела. Для выбора оптимальных состава СССР необходимо количественно оценить и сопоставить огромное количество взаимосвязей и возможных вариантов, что осуществимо на базе быстродействующих компьютерных технологий анализа композиционных материалов. Используемый подход к оптимизации характеризуется формализацией задачи, которая формулируется стандартным образом, после чего ее решение проводится на основе четкого алгоритма. Алгоритм в данном случае не означает отсутствия вариантов решений, наоборот, проводится сравнение различных вариантов, алгоритм при этом лишь точно определяет, как проводится такое сравнение. Выбор оптимальных решений обычно производится

в несколько стадий: формирование задачи, нахождение оптимальных условий на основе алгоритма оптимизации, реализация оптимальных условий на практике.

В оптимизационных задачах подбора состава поведение исследуемой системы характеризуется обычно комплексом критериев качества, оптимальные значения которых, как правило, достигаются при взаимоисключающих условиях [4, 5]. В результате этой закономерности оптимизационная задача формулируется как многокритериальная, при решении которой возникают проблемные вопросы, связанные с принятием компромиссных решений.

При выборе составов одной из самых ответственных проблем является проблема выбора состава, дисперсности и технологических режимов получения материала с заданным комплексом свойств при минимуме расхода материальных и энергетических затрат. В этом случае задача отыскания оптимальной стратегии сводится к обычной задаче оптимизации без каких-либо дополнительных гипотез. Решение таких задач заключается в выявлении в области возможных вариантов зоны, удовлетворяющей заданному уровню свойств композиционных ССС, а затем в этой зоне выбирается состав, который обеспечивает максимальное качество изделий при минимальных затратах.

Практика требует разработки полифункциональных материалов, сочетающих в себе различные специальные свойства. В данном случае приходится привлекать для анализа дополнительные критерии качества. И хотя математическая теория планирования эксперимента не дает однозначного ответа в таких многокритериальных задачах, она помогает принять компромиссное решение. В настоящее время точной теории принятия компромиссных решений не существует. При любом способе постановки задачи обоснование решения по множеству критериев остается не до конца формализованным, а окончательный выбор решения определяется уровнем квалификации технолога.

Для многокритериальной оптимизации составов ССС предложена следующая стратегия и алгоритм поэтапной оптимизации.

Первый этап – выделение комплекса основных критериев качества на основе действующей нормативно-технической документации.

Второй этап – обоснование дополнительных критериев качества и направлений их оптимизации, которые определяются или заказчиком и/или научными исследованиями. Данный этап обеспечивает улучшения качества изделий за счет учета не входящих в действующие стандарты показателей при сравнении конкурирующих вариантов решений.

На *третьем этапе*, когда из многих решений выделены наиболее эффективные, окончательный выбор делается в пределах этого ограниченного множества. Ограниченное число эффективных решений легче анализируется. В качестве дополнительной информации на третьем этапе могут анализироваться факторы, определяющие ресурсосбережение, стоимость и/или учитывающие экологические аспекты [4]. Окончательный выбор компромиссного решения по-прежнему остается прерогативой инженера-технолога.

Как этап оптимизации может быть определена оптимальная удельная поверхность (тонкость помола) наполнителей. Это является важным ресурсосберегающим фактором, оптимизация которого позволяет снизить затраты на получение необходимого качества сырья для производства ССС.

Для определения оптимальной поверхности трепела (как наполнителя) был проведен натурный эксперимент. В эксперименте варьировалось соотношение трепела с удельными поверхностями: $S_{уд1}=350\text{м}^2/\text{кг}$, $S_{уд2}=425\text{м}^2/\text{кг}$, $S_{уд3}=500\text{м}^2/\text{кг}$ при неизменном общем его содержании в составе ССС.

По натурному эксперименту рассчитываются экспериментально-статистические (ЭС) модели. ЭС модели строятся с использованием типовой версии COMPEX (программа разработана на кафедре ПАТСМ в ОГАСА), реализующей последовательный регрессионный анализ с генерирующей ошибкой эксперимента $s\{\ln Y\}=0,2$ при $\alpha=0,05$.

Модель (1) описывает изменения прочности при сжатии ($R_{сж}$):

$$\ln R_{сж} = 4.91 S_{уд1} + 4.97 S_{уд2} + 4.97 S_{уд3} + 0.149 S_{уд2} S_{уд3}, \tag{1}.$$

На основе рассчитанных ЭС моделей установлены закономерности изменения комплекса свойств под влиянием удельной поверхности трепела. По ЭС моделям установлено, что значение рецептурных параметров, которые обеспечивают максимальные значения прочности, трещиностойкости и коэффициента теплопроводности не совпадают (табл.1).

Таблица 1

Относительное изменение свойств под влиянием удельной поверхности наполнителя

Свойства	Относительное изменение
Прочности при сжатии ($R_{сж}$)	2.1
Трещиностойкость, которая характеризовалась критическим коэффициентом интенсивности напряжений (k_{Ic})	1.6
Коэффициента теплопроводности (λ)	1.6

Оптимизация проводилась по основным критериям качества: прочности при сжатии ($R_{сж}$), прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$), морозостойкости (F), плотности (ρ), водопоглощения (W) и коэффициента теплопроводности (λ).

Выбор состава: количественного (составных компонентов) и качественного (тонкость помола) проводится по диаграммам в виде смесевых треугольников (рис.1).

Выбор рациональных составов осуществляется наложением рассчитанных оптимизационных диаграмм изменения исследуемых свойств под влиянием состава ССС [4, 7]. Для этого по диаграммам в виде смесевых треугольников устанавливается оптимальное соотношение в смеси трепела частиц с требуемой удельной поверхностью (рис. 1).

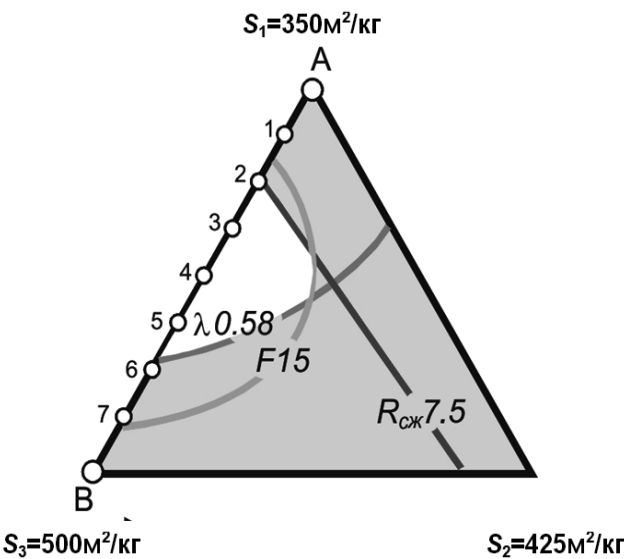


Рисунок 1. Определение области оптимальной удельной поверхности наполнителя

Параметром для выбора оптимальной величины удельной поверхности трепела может служить анализ корреляционной связи основного критерия оптимизации (например, коэффициента теплопроводности) с характеристиками структуры. То есть структура материала

должна создаваться целенаправленно с целью достижения максимального эффекта по снижению теплопроводности при минимально возможных затратах.

Анализ смесевых диаграмм, отражающих изменение долей трепела с разной удельной поверхностью, позволяет уточнить направление оптимизации по содержанию доли трепела с заданной удельной поверхностью или в виде их смеси. Например, на рис.2 изопараметрический анализ проведен по стороне АВ смесового треугольника, на которой расположена точка с оптимальным значением величины удельной поверхности трепела, которое может быть получено при смешивании трепела с разной удельной поверхностью S_1 и S_3 . По ЭС моделям определены значения уровней свойств в равностоящих друг от друга точках 1 – 7 с $S_{ю}$, представленной смесью этих 2-х фракций S_1 и S_3 . На рис. 2 нанесены уровни нормированных значений исследуемых свойств, а также изменения значений этих свойств в оптимальной области (не заштрихована). Как видно из диаграммы (рис. 2), рекомендуемые значения превышают нормированные.

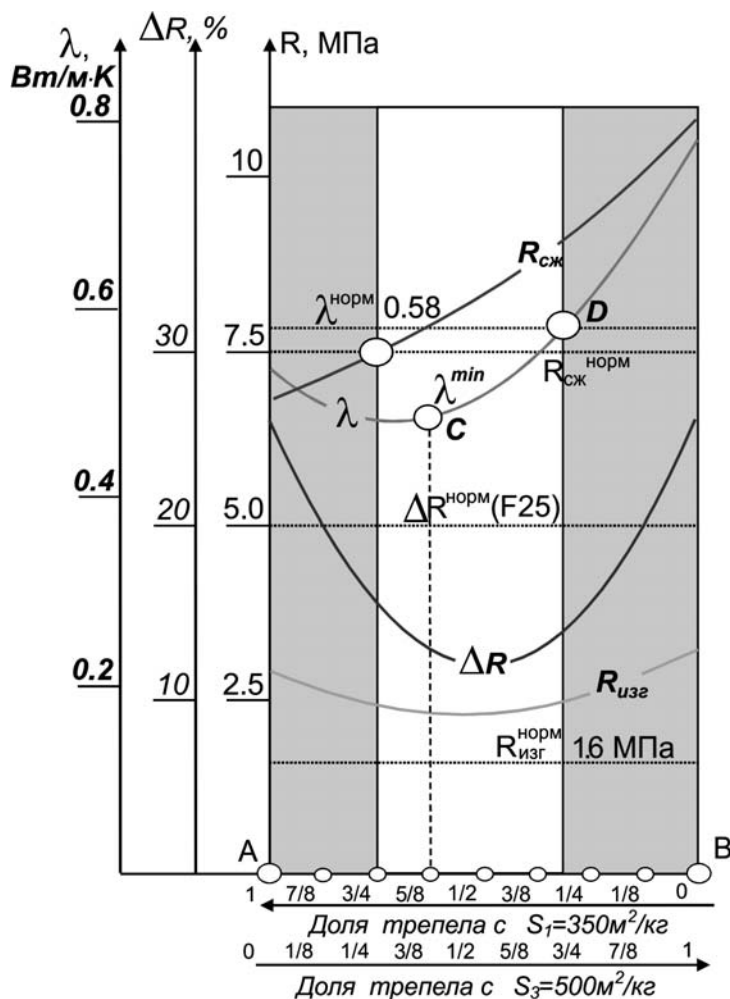


Рисунок 2. Изменение свойств ССС

(прочности при сжатии - $R_{сж}$, прочности на растяжение при изгибе - $R_{изг}$, коэффициента теплопроводности - λ , потери прочности при замораживании-оттаивании - ΔR) при изменении соотношения минерального наполнителя с различной удельной поверхностью

Таким образом, в результате данного этапа определена удельная поверхность минеральной добавки, обеспечивающая заданные эксплуатационные показатели. Предложенный алгоритм поэтапной многокритериальной оптимизации позволяет решать оптимизационные задачи на качественно новом и доступном уровне анализа, что повысит достоверность результатов исследований.

Далее подбираются функциональные добавки, необходимые для получения всего комплекса свойств проектируемой смеси.

В лабораторных условиях ССС испытываются по всему комплексу требуемых свойств. По результатам испытаний осуществляется дальнейшая оптимизация состава и выбор рабочих составов для изготовления опытно-промышленных и промышленных партий.

Испытания опытных партий ССС осуществляется по всему комплексу технологических и строительно-технических свойств, в т.ч. включающих определение долговечности. На основании проведенных испытаний может быть осуществлена корректировка рабочих составов смеси, предполагаемой к промышленному производству.

Контроль за дозированием компонентов отработанных рецептов, за техническими и технологическими параметрами их переработки, за соблюдением технологии производства в соответствии с технологическими картами осуществляется посредством производственного компьютера и оперативного контроля заводской лаборатории с применением ЭС моделей.

Применение модифицированных ССС в строительстве в сочетании с передовыми и системными технологическими решениями по их использованию обеспечивает значительный прирост качества и производительности работ, снижение затрат на строительство, ремонт и эксплуатацию объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.
2. Вознесенский В.А. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будивельник, 1989. – 240с.
3. Шинкевич Е.С. Влияние удельной поверхности минеральной добавки на трещиностойкость силикатных неавтоклавных материалов / Е.С. Шинкевич, Г.Г. Бондаренко, Е.С. Луцкин, А.А. Койчев // Совершенствование качества строительных материалов (модели, составы, свойства, эксплуатационная стойкость): Межд. сборн. науч. трудов. – Новосибирск, 2005. – С. 69-73.
4. Шинкевич Е.С. Возможности ресурсосбережения на основе анализа связи состава, структуры и теплофизических свойств активированных силикатных композиций неавтоклавного твердения / Е.С. Шинкевич, Н.В. Сидорова, Е.С. Луцкин, Д.Ю. Парамонов // Межрегиональные проблемы экологической безопасности: Сб. трудов конф. – Сумы – С.-Петербург, 2002. – Т.2. – С.61-66.
5. Шинкевич Е.С. Моделирование и оптимизация модифицированных силикатных композитов / Е.С. Шинкевич // Доклад к МОК'42. – Одесса: Астропринт, 2003. – 24 с.
6. Сухие строительные смеси / Журнал «Строительные материалы XXI века», №2.- М, 48с.