

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дергунов С. А., Орехов С. А., Кулешов И. В.  
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Новое тысячелетие характеризуется огромным разнообразием применения различных инноваций, внедрением новых идей, использованием опережающих технологий. Современная отрасль строительного производства отличается своеобразием форм и креативностью внешнего образа зданий. Применение современных методик проектирования позволяет внедрять в жизнь сложнейшие замыслы архитекторов (рис.1).



Международный Деловой  
Центр жемчужина Абу-Даби



Комплекс «Федерация»



«Город столиц»

Рисунок 1 Объекты современной архитектуры

Создание таких объектов требует использования огромного разнообразия доступных эффективных отделочных материалов и систем. И при решении этой сложной многоплановой задачи важную роль играют вопросы качества строительных композитов.

Целенаправленная разработка составов отделочных материалов с использованием местных сырьевых компонентов и отходов промышленности позволяет получить продукт, не уступающий по качеству зарубежным аналогам, но более привлекательный в экономическом плане. Плановая оптимизация всех составляющих, учет индивидуальных особенностей сырьевых компонентов и условий их взаимодействия позволяют подобрать наиболее рациональные рецептуры [1].

На сегодняшний день наиболее распространенными продуктами применяемыми для отделки зданий и сооружений, придающие им внешний облик восприятия и создающие первичную защиту конструкций от воздействия окружающей среды являются сухие строительные смеси, которые повсеместно вытеснили традиционные строительные растворы. Разработку данных материалов можно условно разделить на два этапа, это:

1. создание оптимальной минеральной основы;
2. модификация минеральной части.

Выбор минеральных компонентов должен учитывать: расположение месторождений, производственных предприятий и отвалов; сведения геологической разведки карьеров и балансовые запасы; технологическую готовность компонентов; соответствие действующей отечественной нормативной документации.

Рациональность принятых решений во многом будет определять технико-экономические показатели конечного продукта [2].

Заполнитель, в большинстве случаев, занимает более 90 % объема материала и к его выбору и оптимизации необходимо придавать особое внимание. Зернам песка различных месторождений свойственны свои индивидуальные особенности поверхностной и внутренней структуры, формы зерен, содержания примесей и т. д. (рис. 2).



Рисунок 2 – Пески различных месторождений Оренбургской области

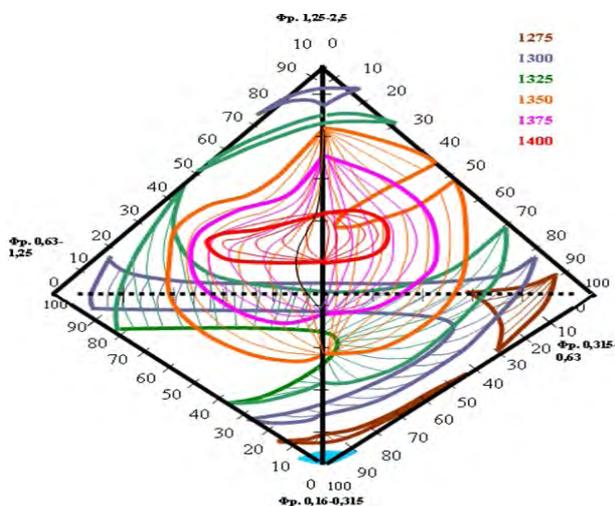


Рисунок 3 – Изоповерхности насыпной плотности

На основе выбранного карьера необходимо проводить подбор соотношения фракций, количество которых может достигать четырех (фр. 0,16-0,315, фр. 0,315-0,63, фр.0,63-1,25, фр. 1,25 – 2,5 мм.), с разработкой изоповерхностей насыпной плотности (рис.3). Цель данной оптимизации получение наиболее плотной упаковки частиц, т.к. это определяет расход вяжущего вещества.

Активная составляющая любой строительной смеси – это вяжущее.

Научные и технико-экономические прогнозы на ближайшее десятилетие свидетельствуют об отсутствии альтернативы традиционным вяжущим веществам (таким, как цемент, гипс, известь), а научно-технический прогресс в этой области будет развиваться по пути создания на основе этих вяжущих новых специальных видов смешанных композиционных вяжущих, отличающихся улучшенными характеристиками и имеющими направленный спектр действия.

Тонкомолотые дисперсные компоненты различной минеральной природы, входящие в состав системы «цемент-наполнитель», существенным образом могут повлиять на реологические и структурно-механические свойства, как разбавленных вяжущих, так и строительных растворов на их основе.

Управлять физико-механическими процессами первичной организации структуры можно, изменяя качественный и количественный составы частиц дисперсной фазы. Исследования ряда авторов свидетельствуют, что введение в цемент наполнителей приводит к изменениям условий межчастичных взаимодействий и образованию кластерных структур. Это является причиной изменения свойств как цементно-наполненной пасты, так и камня на её основе, причём вид и свойства наполнителей играют при этом ведущую роль. Оптимальная концентрация и вид наполнителя должны обеспечивать минимизацию внутренних напряжений за счёт организации структуры композита, затруднить рост трещин в твердеющих дисперсных системах и тем самым снизить повреждённость материала (рис. 4) [3].

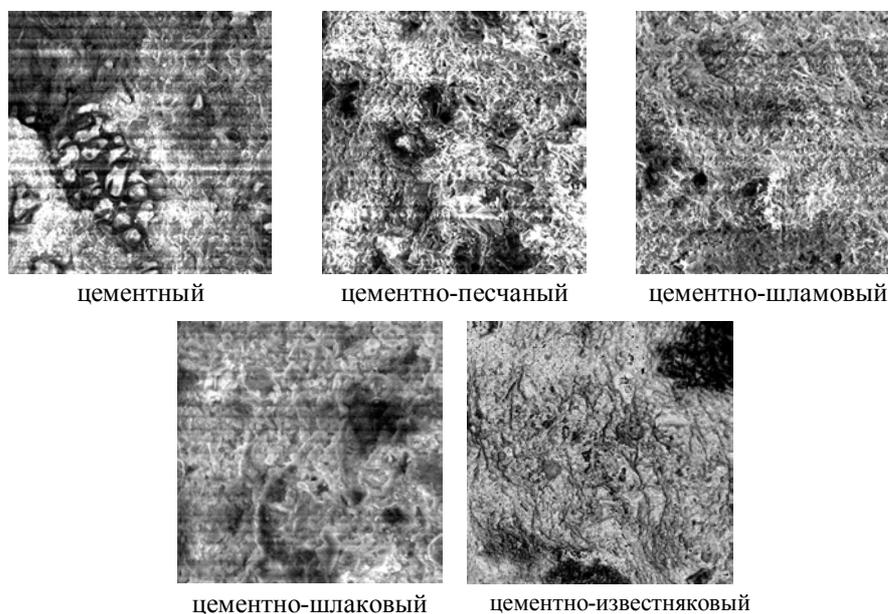


Рисунок 4 – Микроструктура камня на основе наполненных вяжущих

Завершающим этапом формирования минеральной части сухой смеси является разработка ее оптимального состава с использованием математических методов планирования эксперимента.

Для получения любого эффективного строительного материала необходимо проанализировать множество связей, учесть влияние на свойства

материала многочисленных сырьевых, рецептурных, технологических и эксплуатационных факторов. Сухую строительную смесь можно с уверенностью отнести к сложным системам, состояние и свойства которых зависят от множества параметров. При этом часть их неконтролируема, то есть в системе наряду с необходимостью действует случайность. Поскольку многокомпонентные строительные материалы относятся к классу систем стохастических (вероятностных), для изучения статистических закономерностей её поведения целесообразно использовать вероятностно-статистические методы. Основной задачей планирования эксперимента является математическое описание различных объектов исследования с целью получения модели, которая дает информацию об объекте-оригинале. Математическая модель позволяет управлять объектом исследований, то есть находить оптимальные решения.

Разработка составов производится по различным планам, для каждого вида смеси.

Выбор параметров оптимизации производится исходя из экономической целесообразности. Необходимо решить систему с заранее заложенными значениями свойств и приоритетами расхода того или иного материала. Общий вид системы выглядит следующим образом:

$$F(X_1; X_2) = f(f_1; f_2; f_3; f_4; \dots; f_n)$$

где  $X_1; X_2$  – изменяемые параметры эксперимента (содержание компонентов минеральной части);

$f_1; f_2; f_3; f_4; \dots; f_n$  - функции влияния содержания компонентов минеральной части на водопотребность смеси, прочность при сжатии, водоудерживающую способность, пористость и т.д.

Введение в минеральную систему поверхностно-активных веществ различного функционального назначения существенным образом изменяет свойства, переводя ее на новый более высокий качественный уровень. И на сегодняшний день более 95% бетонов и сухих смесей в мире производятся с использованием химических добавок. При этом достигается стабильность качества, и повышаются технологические, структурные и строительно-технические показатели.

Добавки в большинстве случаев участвуют в процессах гидратации и структурирования на атомно-молекулярном уровне с появлением специфичных данному модификатору новообразований (рис.5). Это может привести к изменению морфологии гидратов и достигнутые на первый взгляд положительные результаты в ближайшем будущем сведутся к нулю.

Передозировка и неумелое использование продуктов строительной химии может стать причиной формирования структуры повышенной дефектности и привести к снижению надежности системы. Последствия в данном случае весьма трудно предугадать, т.к. показывает практика в композиционных материалах конгломератной структуры (бетоны и растворы) дефекты носят скрытый внутренний характер (рис. 6).



Рисунок 5 – Гидратация цементного камня в присутствии ПАВ



Рисунок 6 – Последствия скрытых дефектов в конструкциях

Кроме того использование одной добавки не позволяет достичь комплекса желаемых свойств, т.е. необходимо вводить разные по функциональности модификаторы. Важным вопросом является совместимость их в составе комплексного модификатора – премикса.

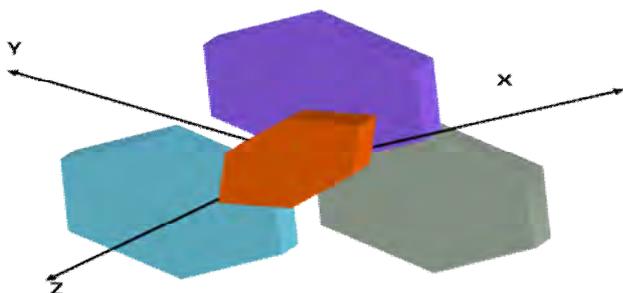


Рисунок 7 – Многомерная модель расчета состава премикса

Это является причиной безостановочного поиска максимального средства посредством апробации новых модификаторов с разработкой диаграмм рационального взаимозаменения с учетом доступности и экономического эффекта. Анализ учета проявления всех желаемых и негативных эффектов позволяет по сложным многомерным моделям рассчитать состав премикса.

Новой веткой исследований стало применение атомно-молекулярного моделирования при исследовании эволюции структуры модифицированных минеральных систем. Виртуальная модель разрабатывается таким образом, чтобы на ней можно было проводить разнообразные изменения в элементном составе и начальной структуре материала, в строении композита, задавая различные термодинамические параметры и подвергая материал изменениям в компьютерном пространстве. Это дает значительную информативность при решении многих научных вопросов, таких как выяснение механизма явления, который не поддается экспериментальному исследованию, изучение атомного строения границ частиц, дислокаций, дефектов и их роли в процессах деформации.

Каждая новая структура гидратов цементного камня индивидуальна. Совокупный анализ экспериментальных данных с возможностью атомно-молекулярного моделирования позволяет выявлять оптимальные решения и

создавать долговечные, высокотехнологичные композиционные строительные материалы.

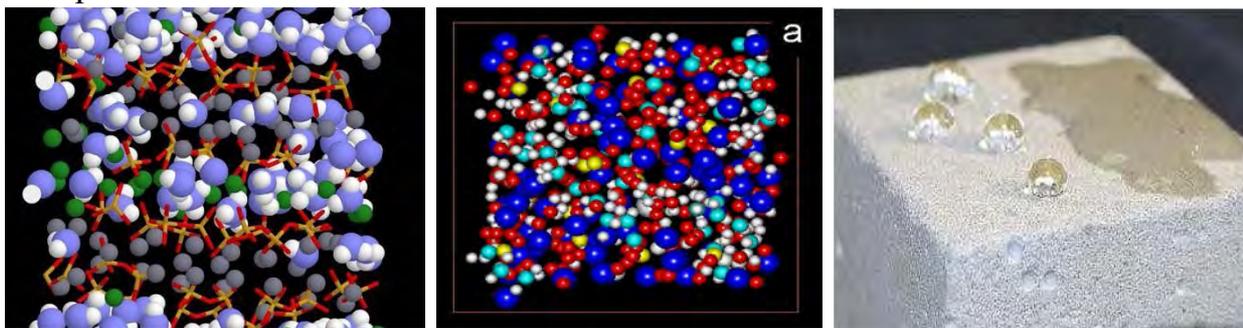


Рисунок 8 – Модели структуры и внешний вид гидрофобизированного камня на основе сухой строительной смеси

Важным остается вопрос повышение эффективности продуктов строительной химии, т.к. это наиболее дорогостоящие составляющие. Это стало возможным после открытия наноактиваторов – класс фуллеренов (новая стереохимия углеродов) (рис. 9). Благодаря своим особенностям они уже нашли широкое применение в создании сверхпроводников, полупроводников, магнетиков, нелинейных оптических материалов, полимеров, катализаторов и сенсоров для определения состава жидких, соединений для фармакологии и медицины. Это новое направление исследований только в самом начале своего развития в строительном материаловедении. Однако достигнутые результаты уже свидетельствуют об огромных перспективах и возможностях наноактивации [4, 5].

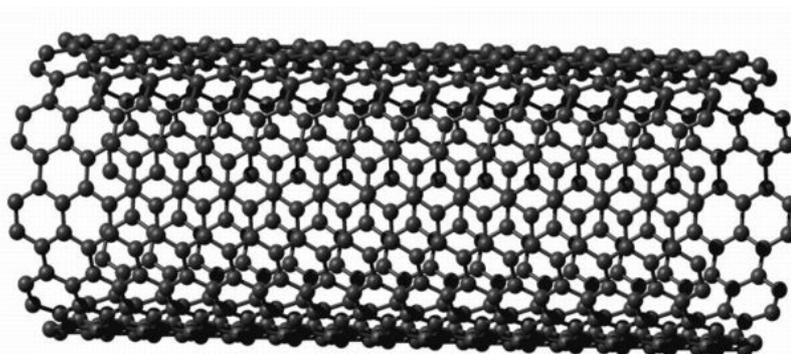


Рисунок 9 – Новая стереохимия углеродов

В заключении необходимо отметить, что создание новых эффективных строительных материалов преследует классическую цепочку «состав – структура - свойства», однако на более тонком наноуровне. Изучение и развитие этого направления открывает возможности создания новых перспективных строительных материалов с учетом дальнейших тенденций развития архитектуры.

### Список литературы

1. **Дергунов, С.А.** *Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) : учеб. Пособие / С.А. Дергунов, С.А. Орехов. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – 106 с.*
2. **Дергунов, С. А.** *Оптимизация минеральной части сухих строительных смесей / С. А. Дергунов, В.Н. Рубцова // Современные технологии в строительстве «MixBUILD» : сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. «MixBUILD-2003». – СПб., 2003. - С. 41-48.*
3. **Дергунов, С. А.** *Эффективность использования наполнителей в составе сухих строительных смесей / С. А. Дергунов, В. Н. Рубцова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2005. - №10 - С. 74-77.*
4. **Orekhov, S. A.** *Theoretische Grundlagen der Beeinflussung von mineralischen Baustoffen durch Erzeugnisse der Bauchemie / Internationale Baustofftagung Die 17. Ibausil / S.A Orekhov, S. A. Dergunov, A. V. Babnishcheva. - Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar. – S. 2-77.*
5. **Karen L.** *Hydration of cementitious materials, present and future / 13th International Congress on the Chemistry of Cement / L. Karen Scrivener, Andre Nonat - Cement and Concrete Research. Pages 651-655.*