

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/21999

Лесовик В.С., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,  
Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.,  
Глаголев Е.С., канд. техн. наук, доц.,  
Магомедов З.Г., магистрант,  
Воронов В.В., аспирант,  
Канева Е.В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУР СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ\*

LHZ47@mail.ru

*Теоретические подходы, имеющиеся применительно к традиционным строительным растворам, совершенно не применимы к растворам на основе сухих строительных смесей ни по составу, ни по эксплуатационным нагрузкам. К сожалению, внутренние резервы ни вяжущих, ни наполнителей рационально не используются при проектировании и приготовлении растворов на основе сухих строительных смесей, что снижает технико-экономическую эффективность и долговечность полученного материала. В реальных условиях строительные растворы, приготовленные на основе сухих смесей, эксплуатируются в самых разнообразных условиях, а этот факт предъявляет к строительным растворам требование надежно работать длительные (нормируемые) сроки. Таким образом, строительные растворы должны удовлетворять целому комплексу требований по физико-механическим и эксплуатационным параметрам. В статье предложены теоретические подходы к созданию оптимальных эффективных структур сухих строительных смесей, обладающих высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.*

**Ключевые слова:** теоретические основы, сухие строительные смеси, проектирование состава, принципы подбора, пробные замесы, выбор сырьевых материалов, модификация смесей, апробирование составов.

**Введение.** Конечное свойство любого материала формируется комплексом входящих в него компонентов, сухие строительные смеси представляют собой весьма сложную полиминеральную композицию, состоящую из значительного количества компонентов, а физико-химические процессы в них обусловлены взаимодействием в системе « минеральное вяжущее – полимерное связующее – наполнитель – модифицирующие добавки - вода» [1–9].

**Основная часть.** Рациональный подбор ингредиентов смешиваемой высоконаполненной дисперсной системы, как показали многочисленные исследования [1–9], гарантирует получение материала с требуемыми эксплуатационными характеристиками. Одним из серьезных требований, предъявляемых к сырью, является правильный выбор вяжущего, заполнителей, наполнителей, их количественного содержания, их природы, а также порядок загрузки компонентов смеси и качество их смешения. Вышеизложенное требует серьезного подхода к научному обоснованию и

разработке конкретных рецептур различного назначения с учетом химических, минерало-

гических, гранулометрических и других особенностей сырьевых компонентов, а также совместности используемых компонентов в смеси для обеспечения требуемых свойств на стадиях существования: сухих (порошковых) смесей, растворных строительных смесей и затвердевшего раствора.

Принципов создания составов сухих строительных смесей различного функционального назначения до настоящего времени нет, есть лишь отдельные разрозненные сведения, касающиеся оптимизации гранулометрического состава сухих смесей различного назначения; рассматриваются возможности улучшения эксплуатационных свойств смесей, предлагаются составы смесей на основе местного сырья и техногенных продуктов, приводится опыт по снижению расхода цемента и использования некоторых наполнителей, а также имеются результаты исследований влияния различных комплексных модифицирующих добавок на свойства разработанных смесей. Существующие закономерности мелкозернистых систем, в частности, теоретические положения и принципы проектирования традиционных строительных

растворов и мелкозернистых бетонов [2, 6] переносятся на строительные растворы различного функционального назначения, полученные на основе сухих смесей, хотя условия службы строительных растворов на основе сухих смесей принципиально отличны от работы мелкозернистых бетонов, сложны и многофункциональны.

Теоретические подходы, имеющиеся применительно к традиционным строительным растворам, совершенно не применимы к растворам на основе сухих строительных смесей ни по составу, ни по эксплуатационным нагрузкам. К сожалению, внутренние резервы ни вяжущих, ни наполнителей рационально не используются при проектировании и приготовлении растворов на основе ССС, что снижает технико-экономическую эффективность и долговечность полученного материала.

Следует четко разграничивать термины, связанные с определением составов строительных растворов: подбор и проектирование. Эти термины относятся к двум различным процессам. Однако, как правило, считается, что это один процесс, состоящий лишь из подбора сырьевых материалов для строительного раствора в чисто лабораторных условиях, без необходимого учета многих факторов. В реальных условиях строительные растворы эксплуатируются в самых разнообразных условиях, а этот факт предъявляет к строительным растворам требование надежно работать длительные (нормируемые) сроки. Таким образом, строительные растворы должны удовлетворять целому комплексу требований по физико-механическим и эксплуатационным параметрам. В связи с вышеизложенным, стоит вопрос не о качестве раствора, испытываемого в лабораторных условиях, а о надежной качественной работе затвердевшего раствора в условиях воздействия комплекса внешних климатических воздействий и нагрузок. Практика показала что, результаты испытаний строительных материалов, полученных в лабораторных условиях, в реальных условиях эксплуатации имеют серьезные расхождения. Поэтому необходимо учитывать условия эксплуатации, в которых будет работать разработанный материал, и в соответствии с этим принимать сырьевые компоненты, а также разработать рекомендации для производства строительных работ.

Оптимизацию структуры и научно-обоснованное определение вещественного состава различных искусственных конгломератов осуществляют общим (единым) методом проектирования [3, 4]. Могут быть методы и специфические, разработанные применительно к каждой разновидности конгломерата. Создание

строительных материалов различного назначения с эффективными свойствами требует методов специфического проектирования их состава с обеспечением требуемых структур. Строительные растворы на основе сухих смесей кардинальным образом отличаются от традиционных строительных растворов, что предопределяет специфические подходы к методу проектирования, обеспечивающие все этапы жизненного цикла строительных растворов на основе сухих смесей (таблица жизненного цикла смесей).

К главным научным принципам проектирования сухих строительных смесей относятся следующие: максимальное соответствие проектируемых составов сухих смесей и их свойств, полученных в лабораторных условиях, реальным производственным; обеспечение высокой гомогенизации минеральных и органических составляющих смеси, поровой составляющей, поверхностей раздела твердой и жидкой фаз и других структурных элементов по объему материала; создание оптимальной структуры материала с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными характеристиками; использование общих объективных закономерностей, присущих конгломератным материалам оптимальной структуры, в том числе, закона конгруэнции, закона створа, закона прочности и других; использование общего метода и математических методов проектирования оптимального состава и получение высококачественных составов в производственных условиях.

Принципы подбора составов традиционных строительных растворов [5] заключаются в установлении соотношения между составляющими (цементом, известковым или глиняным тестом, песком и водой), которое обеспечивает получение растворов заданных свойств как в свежеприготовленном состоянии, так и после затвердевания смеси в заданных условиях. Состав строительных растворов сначала определяют по эмпирическим формулам и в соответствии с рекомендациями ориентировочных расходов материалов в зависимости от марки растворов и рекомендуемых вяжущих первоначально находят расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  песка влажностью 3–7 %. После приготовления пробного замеса и испытания смеси уточняют состав – определяют расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  раствора. Марку и подвижность раствора принимают по проекту и с учетом условий работы.

Следует отметить, что по давней традиции рецептура составов различных традиционных строительных растворов в нормативных документах приводится в объемных долях, однако сведений о насыпной плотности цемента и дру-

гих компонентов, рекомендуемых к использованию в растворных смесях, в вышеназванных документах не приводится, что делает перерасчет составов на массовые доли неточным, причем отклонения по массовому содержанию компонентов могут превышать 30 %, что непременно отразится на качестве и долговечности затвердевшего раствора.

Строительные растворы на основе сухих смесей – это материал с широким спектром действия комплексных добавок, которые придают им специальные технологические и эксплуатационные свойства. В зависимости от функционального назначения: кладочные пленочные клеи, теплоизоляционные штукатурные растворы, выравнивающие, гидроизоляционные и т.д. составы смесей принципиально различны. Для обеспечения гарантированного качества и долговечности службы строительных растворов на основе сухих смесей различного функционального назначения требуется разработать надежные принципы проектирования составов их.

Проектирование оптимального состава сухих смесей является одной из основных технологических операций. Каждая разновидность сухой строительной смеси имеет определенное функциональное назначение, а поэтому их состав проектируют с учетом конструктивных особенностей их эксплуатации. Метод проектирования состава позволяет установить, во-первых, рациональное соотношение или процентное содержание компонентов, при которых требуемые свойства выдерживаются в заданных пределах, а структура затвердевшего материала является оптимальной; во-вторых, раскрывает обоснованные способы регулирования свойств, улучшая их технологичность и гарантированные сроки службы в конструкции.

Вопросами подбора составов, рецептур сухих строительных смесей различного назначения занимается ряд исследователей, которые разработали составы и предложили свои подходы к подбору составов сухих смесей широкого спектра назначения.

Учитывая особенности сухих смесей для строительных растворов, устанавливаем принципы проектирования применительно к строительным растворам на основе сухих смесей: при правильно определенном составе затвердевший раствор должен обладать оптимальной структурой; с повышением количества вяжущего вещества в затвердевшем растворе оптимальной структуры уменьшается фазовое отношение (отношение массы жидкой среды к массе твердой); расход вяжущего снижается при применении наполнителей; оптимальный состав и структура затвердевшего раствора существенно

зависят от технологических параметров приготовления сухой смеси, подготовки и нанесения строительной смеси на конструкцию; поэтому при проектировании в лабораторных условиях следует с предельно допустимой точностью моделировать реальные технологические процессы; эффективные показатели качества и стоимости проектного состава определяются в реальных эксплуатационных условиях.

Предлагаемый нами метод проектирования строительных растворов на основе сухих смесей включает шесть этапов:

1) составляется задание на проектирование состава строительного раствора на основе сухой смеси с обоснованием главных показателей: технологических, эксплуатационных свойств;

2) выбор сырьевых материалов с позиций их доступности, целесообразности и обеспечения требуемого уровня качества готовой продукции;

3) определение основных свойств сырьевых компонентов и обоснование их применения;

4) проектирование минерального состава сухих строительных смесей;

5) модификация сухих смесей различными органическими, органоминеральными добавками в соответствии с заданными свойствами сухой смеси, а также технологическими параметрами растворной смеси и техническими характеристиками конечного продукта - затвердевшего раствора;

6) пробные замесы в лабораторных условиях и испытания образцов с предельно возможным моделированием натуральных условий с выявлением оптимальных составов и корректировка составов с рациональным расходом сырьевых компонентов;

7) апробирование установленного состава в производственных условиях.

Задание на проектирование включает главные показатели строительно-эксплуатационных свойств с учетом тщательного анализа условий работы строительного раствора на основе сухих смесей в конструкции и сооружении. Необходимо четко учитывать характеристику района строительства, область применения и условия службы материала, технические характеристики смесей, требования по долговечности и т.д. Если необходимые данные отсутствуют, то следует собрать необходимые данные с выявлением реальных эксплуатационных условий и особенностей службы материала в летний и зимний периоды, скорость и размеры температурных перепадов, влажностные условия работы материала, возможные агрессивные воздействия и т.д. Перечисленные сведения будут учтены при

назначении методов испытаний разработанного материала для использования в реальной конструкции.

Выбор сырьевых материалов является ответственной частью проектирования составов. При выборе материалов необходимо руководствоваться доступностью материалов в данном регионе, экономической целесообразностью использования их, нормативной документацией на сырьевые материалы, а также и нестандартными методами, отражающими специфические свойства используемых материалов в строительных растворах на основе сухих смесей. Особенности минеральных компонентов, их подготовка к использованию обеспечивает важную основу физико-химических и физико-механических свойств строительного раствора и затвердевшего минерального камня и, в конечном счете, долговечность конечного материала. От рациональности выбора сырьевых компонентов и их взаимодействий в созданной системе будет определяться строительно-технологические и эксплуатационные свойства раствора.

Выбор составляющих компонентов сухих строительных смесей, определение основных свойств сырьевых ингредиентов и обоснование их применения обеспечивает получение продукции стабильного качества с требуемым уровнем строительно-технических свойств, отвечающей требованиям современного строительного рынка.

Определение (проверка) требуемых технических свойств исходных сырьевых компонентов с привлечением стандартных нормативов, обоснование их применения и подготовка для подбора составов строительных растворов на основе сухих смесей.

Проектирование минерального состава сухих строительных смесей базируется на основании достаточно сложных закономерностей, характеризующих процессы физико-химического взаимодействия компонентов сухих строительных смесей, происходящих при приготовлении сухих композиций, в сухих смесях, затворенных водой, а также при формировании минерального камня затвердевшего строительного раствора. Разработку составов смесей следует проводить на основании теоретических положений и экспериментальных данных, полученных на конкретных сырьевых материалах, методом постепенного приближения заданных параметров к требованиям технического задания. Соотношение вяжущее – наполнитель является определяющим для создания каркаса, требуемого по прочностным показателям искусственного камня, образующегося в результате

гидратации вяжущего вещества. Целесообразно исследовать широкий диапазон составов с целью выявления оптимальных составов, обеспечивающих требуемые параметры по обеспечению прочности и плотности. В зависимости от плотности и прочности смеси производят подбор оптимального гранулометрического состава наполнителей для сухих строительных смесей с целью создания наиболее плотной упаковки (в плотных растворных смесях) или же наименее плотной упаковки, обеспечивающую наибольшую пористость для теплозащитных растворов следует выполнять методом профессора А.Н. Хархардина [7].

Учитывая, что ССС это многокомпонентные системы, дальнейшую оптимизацию - модификацию сухих смесей различными органическими, органоминеральными добавками, в соответствии с заданными свойствами сухой смеси, а также технологическими параметрами растворной смеси и техническими характеристиками конечного продукта – затвердевшего раствора, следует осуществлять методом математического планирования по многофакторным планам. Следует учитывать особенности проявления отдельных функциональных добавок в системе, так повышение дозировок отдельных добавок может привести к изменению свойств общей системы, составляющие системы проявляют свои свойства по линейным зависимостям изменений свойств, при изменении концентрации компонентов. Использование этого метода позволяет, исходя из технологической и экономической целесообразности, варьируя расходом функциональных добавок, установить минимальное их использование, обеспечивающего получение материала с требуемыми свойствами и снижения себестоимости модифицированных смесей.

Изготовление пробных замесов проектного состава осуществляют в лабораторных условиях по полученным математическим расчетным значениям. При необходимости проводятся уточняющие эксперименты. С помощью лабораторных испытаний устанавливают качество сухой смеси, растворной смеси и отформованного раствора по всем предусмотренным свойствам. Если математические значения и реальные практические результаты совпадают, то работу над созданием требуемого состава считают законченной.

Разработанный и проверенный в лабораторных условиях состав требует проверки в производственных условиях. Разработанная рецептура, отвечающая требованиям технического задания, проходит апробацию на производственной линии. Выпускается опытная партия, кото-

рая проходит испытания в независимой лаборатории. При получении положительного заключения на полученный материал, разработанный состав запускается в серийное производство.

**Выводы.** Разработанная методика проектирования составов ССС различного функционального назначения позволила получать продукцию с гарантированными и стабильными показателями качества [10–25], при оптимальном расходе минеральных и органических компонентов, которая обеспечила высокую технико-экономическую эффективность строительных растворов и успешную реализацию в условиях возрастающей конкуренции на строительном рынке, что подтверждается соответствующими документами (акты внедрения в промышленное производство ССС и их использование в строительстве).

*\*Работа выполнена в рамках з/б НИР №1978 от 31.01.2014 г. «Повышение эффективности производства энергосберегающих, инвестиционно-привлекательных стеновых и отделочных материалов за счет использования неорганических пластифицирующих систем».*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зозуля П. В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей / П. В. Зозуля. Сухие строительные смеси для XXI века: Технологии и бизнес: Сб. тезисов 3-ей Междунар. конф. 2003. С. 12–13
2. Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
3. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ (искусственные строительные конгломераты): учебное пособие для вузов. М.: Высш.школа, 1976. 309 с.
4. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учебное пособие для строит. вузов. М.: Высш. шк., 2002. 701 с.
5. Справочник по бетонам и растворам./ А.П. Чехов, А.М. Сергеев, Г.Д. Дибров. - 2-е изд. перераб. и доп. Киев, Будівельник, 1979, 256 с.
6. Дергунов С.А., Рубцова В.Н. Проектирование составов сухих смесей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. №11. С. 34–41.
7. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов: практикум: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 139 с.
8. Хрулев В.М. Развитие представлений о композиционных материалах в строительном материаловедении // Строительные материалы. №8. 2004. С. 28–29.
9. Хрулев В.М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства: учебное пособие для строит.-технол. спец. вузов. Уфа: ТАУ. 2001. 168 с.
10. Zagorodnuk L.H., Lesovik V.S., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №11. С. 1496–1502.
11. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 462 с.
12. Лесовик В.С. Техногенный метасоматоз в строительном материаловедении // Международный сборник научных трудов Строительные материалы-4С. Новосибирск. 2015. С. 26–30.
13. Lesovik V.S. Geonics. Subject and objectives. Belgorod: BSTU, 2012. 100 с.
14. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч. 2. С. 267–271.
15. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы. 2014. №7. С. 82–85.
16. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшуров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 25–31.
17. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Беликов Д.А. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур // Вестник Центрального регионального отделения РААСН, Выпуск 18. Москва. 2014. С. 112–119.
18. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Гайнутдинов Р. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. 2014. С. 93–98.
19. Lesovik V.S., Zagorodnuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. Т. 11. №12s. С. 948–953.
20. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyk L.H., Elistratkin M.Yu. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. № 9. С. 816–819.

21. Lesovik V.S., Chulkova I. L., Zagordnyuk L. Kh., Volodchenko A. A., Popov D. Y. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works // Research Journal of Applied Sciences. 2014. № 9. С. 1100–1105.

22. Ильинская Г.Г., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Коломацкий А.С. Сухие смеси для отделочных работ на композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С.15–19.

23. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Ильинская Г.Г., Беликов Д.А. Сухие строительные смеси для ремонтных работ на композиционных

вяжущих: монография. Белгород: Изд-во БГТУ 2013. 145с.

24. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: Научное издание. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 526 с.

25. Лесовик В.С. Загороднюк Л.Х., Шамшуров А.В., Беликов Д.А. Композиционное вяжущее на основе комплексного органоминерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 4–9.

---

**Lesovik V.S. Zagorodnyuk L.H., Glagolev E.S., Magomedov Z.G., Voronov V.V., Caneva E.V.**  
**THEORETICAL APPROACH TO CREATING THE OPTIMAL STRUCTURE OF DRY MIXES**

*Theoretical approaches available in the traditional sol-frame construction, it is not applicable to solutions based on dry mixes or composition or for operational loads. Unfortunately, internal reserves or binders or fillers are used efficiently in the design and preparation of solutions on the basis of dry mixes that reduces the technical and economic efficiency and durability of the resulting material. In the wild mortars prepared on the basis of dry mixes, operated in a variety of conditions, and this fact imposes a requirement mortars reliably long (normalized) time. Thus, the mortar must satisfy a set of requirements for physical-mechanical and operational parameters. In the article theoretical approaches to the creation of the optimal effective structures dry construction mixtures, having high physical-mechanical and performance properties.*

**Key words:** *theoretical foundations, dry mixes, design structure, the principles of selection, trial batches, the selection of raw materials, modification of mixtures, test formulations.*

---

**Лесовик Валерий Станиславович**, член-корр. РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: naukavs@mail.ru

**Загороднюк Лилия Хасановна**, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: LHZ47@mail.ru

**Глаголев Евгений Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Магомедов Зайнудин Гаджиевич**, магистрант, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Воронov Василий Васильевич**, аспирант, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Канева Елена Вячеславовна**, аспирант, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.