

DOI: 10.12737/22318

Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.,
Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.,
Лесовик Г.А., канд. техн. наук, доц.,
Ерофеева И.В., канд. техн. наук, доц.,
Магомедов З.Г., магистрант,
Кучерова А.С., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА – СУХАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ СМЕСЬ*

LHZ47@mail.ru

В соответствии с методологией системных исследований при конструировании сухих строительных смесей с требуемыми свойствами определена система и проведен ее системно-структурный анализ, выявлена взаимосвязь структурных элементов с физико-техническими и эксплуатационными свойствами полученного композита. Системно-структурные подходы применительно к рассмотрению и созданию сухих строительных смесей заключаются в представлении данного объекта как динамической системы, которая обладает определенной целостностью, выделенной из окружающей среды; которая требует построения иерархии системно-структурных уровней изучаемой системы, начиная с исходных сырьевых компонентов (вяжущих, заполнителей, наполнителей, функциональных добавок), принципов их выбора и подготовки к производству, технологических процессов приготовления сухой смеси; последующего приготовления растворной смеси и до укладки раствора в соответствии с назначением и всех взаимосвязей, развивающихся и трансформирующихся по принципу «система в системе» и адаптирующихся в материале в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: системно-структурный анализ, сухая строительная смесь, система технологическая, система техническая, динамическая система, иерархия системы.

Введение. В соответствии с методологией системных исследований при конструировании композиционного материала с требуемыми свойствами необходимо провести системно-структурный анализ системы, выявить взаимосвязь структурных элементов с физико-техническими и эксплуатационными свойствами полученного композита. Системно-структурные подходы применительно к рассмотрению и созданию ССС заключаются в представлении данного объекта, как динамической системы, которая обладает определенной целостностью, выделенной из окружающей среды; которая требует построения иерархии системно-структурных уровней изучаемой системы, начиная с исходных сырьевых компонентов (вяжущих, заполнителей, наполнителей, функциональных добавок), принципов их выбора и подготовки к производству, технологических процессов приготовления сухой смеси; последующего приготовления растворной смеси и до укладки раствора в соответствии с назначением и всех взаимосвязей, развивающихся и трансформирующихся по принципу «система в системе» и адаптирующихся в материале в процессе эксплуатации.

Методология. В работе используется направление системных исследований, ориентируемых на проектирование структур системы

строительных растворов на основе сухих смесей – системно-структурный анализ.

Основная часть. Сухие строительные смеси и технология их приготовления и эксплуатации может быть разбита на три самостоятельные системы (рис. 1): две технологические - «сухая строительная смесь» и «строительный раствор» и техническую – «затвердевший строительный раствор».

1. Технологическую – «сухая строительная смесь», как определенный перечень и последовательность технологических процессов получения заданного материала с существенными, энергетическими и информационными связями в процессе создания.

2. Технологическую – «строительный раствор», как некоторую промежуточную систему, которая обладает определенным набором технологических свойств для приготовления, формирования или укладки раствора в конструкцию.

3. Техническую – «затвердевший строительный раствор», как элемент строительной конструкции или размещенный в строительной конструкции и обладающий требуемым набором эксплуатационных свойств.

«Сухой строительной смеси» как технологической системе присущи следующие черты.



Рис. 1. Системно-структурный подход к анализу композиционного материала

1. Определенная целостность (единство) – четкая последовательность технологических процессов приготовления сухой смеси и граничные условия управления процессом приготовления.

2. Сложность поведения системы – образование упорядоченных структур происходит в зависимости от состояния равновесия.

3. Стохастическая природа возможных взаимодействий внешней среды – технологических параметров, связанных с неконтролируемыми колебаниями температуры, влажности, давления. Изменение влажности исходных ингредиентов и условий смешивания их определяет флуктуационные колебания, приводящие к образованию устойчивых структур.

4. Иерархия системы может быть представлена в виде отдельных технологических операций, определяющих состояние системы. Технологические операции сушки и смешивания, а также свойства исходных сырьевых компонентов определяют реологические параметры растворной смеси, как промежуточной подсистемы при переходе к конечному продукту – технической системе «затвердевшему строительному раствору». К основным технологическим операциям этой системы можно отнести: подготовка исходных сырьевых компонентов, сушка, дозирование, процесс перемешивания и затаривание готовых смесей в герметичные емкости для последующей доставки материала и укладки (система «строительный раствор»). Для каждой технологической операции система может быть разбита на технические подсистемы.

«Строительному раствору» как технологической системе свойственны следующие признаки.

1. Определенная целостность (единство) – наличие у всей системы единой цели, общего назначения – определенный перечень и строгая последовательность процессов получения и укладки строительного раствора с требуемыми технологическими свойствами.

2. Сложность поведения системы. Простые структуры, из которых формируется система, обладает взаимопроницающим влиянием.

3. Стохастическая природа возможных воздействий внешней среды влияет на технологические характеристики, температура и влажность в процессе твердения материала могут повлиять на требуемые эксплуатационные показатели материала.

4. Система может быть отнесена к динамическим системам, так как структура и связи системы изменяются во времени в процессе проведения технологических операций.

5. Иерархия системы может быть представлена в виде отдельных структур: цементного раствора, пограничного слоя между цементным раствором с наполнителем и заполнителем и непосредственно наполнителем и заполнителем.

«Затвердевшему строительному раствору» как технической системе характерны следующие черты.

1. Определенная целостность (единство) – наличие у всей системы общей цели, общего назначения. Функциональное назначение материала определяется его составом, структурой, физико-механическими характеристиками, сформированными в процессе получения сухой смеси и укладки строительного раствора в конструкцию.

2. Сложность поведения системы. Изменение и формирование внутренней структуры материала изменяет основные физико-механические и эксплуатационные свойства затвердевшего раствора.

3. Стохастическая природа возможных воздействий внешней среды, связана с неконтролируемыми колебаниями температуры, влажности, давления с изменением основных свойств материала. При изменении влажности происходит адсорбция воды в порах, что ведет к увеличению теплопроводности, попеременное замораживание-оттаивание снижает прочность материала и т.д.

4. Система может быть отнесена к динамическим системам. «Затвердевший строительный раствор», как композиционный материал, полученный из цементного вяжущего имеет способность изменять свои свойства (в основном, прочность, морфологию гидратных новообразований, плотность цементного камня в течение длительного времени за счет процессов гидратации вяжущего).

5. Иерархия системы может быть представлена в виде трех уровней: макро-, микро- и субмикроуровня, переходящих один в другой по принципу «структура в структуре» с преде-

лом измерений соответственно: $0,14...5 \times 10^3$ м; $10^{-9} ... 10^{-7}$ м; менее 10^{-9} м. На субмикроруровне при гидратации композиционных наноструктурированных вяжущих возникают потенциальные возможности проявления свойств наноразмерных частиц, что позволяет существенно улучшить свойства материалов по сравнению с традиционными материалами, состоящими из частиц обычных размеров. При использовании наноструктурированных вяжущих не только уплотняется микроструктура структура раствора, но также способствует развитию в нем пуццолановой активности.

Свойства затвердевшего строительного раствора как технической системы полностью зависят от состояния и параметров предшествующих двух технологических систем: «сухая строительная смесь», «строительный раствор». Из этого следует, что для получения качественного «затвердевшего строительного раствора», как композиционного материала с заданными свойствами необходимо детально изучить технологические системы на стадии получения материала и его использования с целью установления взаимосвязи технологических параметров и конечных свойств композиционного материала.

Известно, что композиционными материалами признаются материалы, у которых в результате самоорганизации структуры и проявления особых внутрискруктурных эффектов значительно усиливаются технические свойства по сравнению с отдельно взятыми компонентами [1].

При приготовлении ССС мы имеем дело с композиционным материалом, образующимся в результате смешения тонкодисперсных наполнителей с вяжущим, затем полученная смесь совмещается с технологическими и структурообразующими добавками (пластификаторами, поробразователями, стабилизаторами и т.д.) и усиливающими компонентами (зернистыми, пористыми, волокнистыми и другими наполнителями). В системах, полученных смешением разноразмерных, разноразличных, разнообъемных компонентов проявляется синергетический эффект, обусловленный ориентацией структурных звеньев связующего. Длительное время считалось, что синергетика имеет место преимущественно в полимерных системах [2]. Электронные исследования микроструктур материалов на минеральных вяжущих показали, что в зоне контакта с усиливающими компонентами на микроуровне вяжущие проявляют склонность к образованию звеньевых цепочек полимерподобной формы и на границе с зёрнами наполнителя образуются сростки кристаллов линейного типа.

В связи с вышеизложенным были поставлены следующие задачи:

- исследование закономерностей самоорганизации многокомпонентных цементных композиций с учетом генетических особенностей компонентов;
- исследование и анализ физико-химических процессов, протекающих на поверхности и в объеме многофазных дисперсных систем;
- на основе выявленных закономерностей установить принципы проектирования новых эффективных материалов и разработать технологию производства сухих строительных смесей с прогнозируемыми свойствами.

В соответствии с поставленными задачами предложенные принципы проектирования были проверены в многочисленных исследованиях и получены строительные растворы с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами [3–20].

Выводы. В соответствии с методологией системных исследований при конструировании сухих строительных смесей с требуемыми свойствами определена система, проведен ее системно-структурный анализ, выявлена взаимосвязь структурных элементов с физико-техническими и эксплуатационными свойствами полученного композита. Предложенные системно-структурные подходы применительно к рассмотрению и созданию сухих строительных смесей заключаются в представлении данного объекта как динамической системы, которая обладает определенной целостностью, выделенной из окружающей среды; которая требует построения иерархии системно-структурных уровней изучаемой системы, начиная с исходных сырьевых компонентов (вяжущих, заполнителей, наполнителей, функциональных добавок), принципов их выбора и подготовки к производству, технологических процессов приготовления сухой смеси; последующего приготовления растворной смеси и до укладки раствора в соответствии с назначением и всех взаимосвязей, развивающихся и трансформирующихся по принципу «система в системе» и адаптирующихся в материале в процессе эксплуатации.

**Работа выполнена в рамках договора РФФИ №14-41-08002 «Теоретические основы проектирования и создания интеллектуальных композитов заданными свойствами» и г/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. Хрулев В.М. Развитие представлений о композиционных материалах в строительном материаловедении // Строительные материалы. №8. 2004. С. 28–29.
2. Хрулев В.М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства: учебное пособие для строит.-технол. спец. вузов. Уфа: ТАУ.2001.168с.
3. Zagorodnyuk 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.
4. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю., И.Г. Лугинина. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 53–57.
5. Лесовик В.С., И.Л. Чулкова. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 462 с.
6. Агеева М.С., Алфимова Н.И. Эффективные композиционные вяжущие на основе техногенного сырья. Saarbrücken, 2015. 75 с.
7. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Агеева М.С., Ковалева И.А., Баженова О.Г., Новиков К.Ю. К вопросу использования техногенного сырья в производстве порошковых бетонов на композиционных вяжущих. В сборнике: Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды сборник докладов международной научно-технической конференции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 384–390.
8. 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.
9. 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.
10. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Д.А. Беликов К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур // Вестник Центрального регионального отделения РААСН, Выпуск 18. Москва.- 2014.- С. 112-119.
11. Lesovik V.S., Zagorodnyuk 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.
12. Kuprina A.A. Kuprina A. A., Lesovik V. S., Zagorodnyuk L. H., Elistratkin M. Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. С. 816-819.
13. Lesovik V. S., Chulkova I. L., Zagorodnyuk L. Kh., Volodchenko A. A., Popov D. Y. Lesovik V. S. 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. Т. 9. С. 1100-1105.
14. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Практическая реализация закона сродства структур при реставрации исторических объектов // Научные технологии и инновации: Сб. докл. Международной научно-практич. конференции, посвященная 60-летию БГТУ им.В.Г. Шухова, 2014. Ч.3. С. 242–246.
15. Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И., Гинзбург А.В. Оценка защитных свойств бетонов на композиционных вяжущих по отношению к стальной арматуре // Строительные материалы. 2013. №7 С. 56–58.
16. Алфимова Н.И., Вишневецкая Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья: монография. Saarbrücken. Изд-во LAP. 2013. 127 с.
17. Lesovik V.S., Alfimova N.I., Savin A.V., Ginzburg A.V., Shapovalov N.N. Assessment of passivating properties of composite binder relative to reinforcing steel // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. № 12. С. 1691–1695.
18. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kara K.A., Malyukova M.V., Suleymanov K.A. Energy-efficient concretes for green construction // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 12. С. 1087–1090.
19. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A., Kolomatskiy A.S., Shapovalov N.N. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 11. С. 779–783.
20. Alfimova N.I., Lesovik V. S., Trunov P.V. Reduction of energy consumption in manufacturing the fine ground cement // Research Journal of Applied Sciences. 2014. V. 9. (11). P. 745–748.

**Zagorodniuk L.Kh., Gridchin A.M., Lesovik, G. A., Erofeeva I.V., Magomedov Z.G., Kucherov A.S.
SYSTEMIC-STRUCTURAL ANALYSIS OF COMPOSITE MATERIAL – DRY MORTAR**

In accordance with the methodology of systematic research in the design of dry construction mixtures with required properties defined system and conducted systematic structural analysis, the interrelation of the structural elements with physical, technical and operational properties of the obtained composite. Systemic-structural approaches with regard to the consideration and creation of dry construction mixes are the representation of this object as a dynamic system which possesses a certain integrity, isolated from the environment; which requires a hierarchy of system-structural levels of the system under study, starting with raw materials (binders, aggregates, fillers, functional additives) and principles of their selection and prepare for production, technological processes of preparation of the dry mixture; subsequent preparation of mortar mix and paving mortar in accordance with the purpose and all the relationships, developing and transforming according to the principle of "system to system" and adaptive to the material in the process of operation.

Key words: *systemic-structural analysis, dry mortar, technical system, technical system, dynamic system, the system hierarchy.*

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

Гридчин Анатолий Митрофанович, доктор технических наук, профессор.

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

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

Лесовик Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

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

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

Ерофеева Ирина Владимировна, кандидат технических наук, доцент.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева

Адрес: Россия, 430005, ул. Большевикская, д. 68, г. Саранск, Республика Мордовия.

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.

Кучерова Анна Сергеевна, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

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

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