

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
**BUILDING AND ARCHITECTURE**

**УДК 691.32**

**DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-123-132**

Обзорная статья/Review article

**Управляемые воздействия на структурообразование и свойства цементных бетонов**

**Ю.Г. Иващенко, Р.Т. Мамешов**

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, Россия

**Резюме. Цель.** В работе рассматриваются управляемые воздействия на изменение свойств компонентов, управляющий эффект технологических способов и приемов получения композиционных строительных материалов с комплексом заданных свойств. **Метод.** Применены методы механо-физического, физико-химического, нанотехнологического воздействия. **Результат.** Систематизированы и обобщены системно-структурные подходы управляющих воздействий на стадии структурообразования, технологических переделов, формирования оптимальной структуры и свойств цементных бетонов. Приведены физико-химические принципы и механизмы формирования структуры, основанные на установлении роли управления механо-физическими, физико-химическими, нанотехнологическими методами воздействия на систему «цемент – вода». Выявлена возможность управления структурными превращениями в вяжущих системах, в том числе, за счет применения технологических воздействий. **Вывод.** Реализация направленных условий воздействий на компоненты цементных бетонов обеспечит целенаправленное конструирование структур современных строительных материалов.

**Ключевые слова:** строение композиционного материала, портландцемент, составные компоненты, структурообразующие факторы, свойства

**Для цитирования:** Ю.Г. Иващенко, Р.Т. Мамешов. Управляемые воздействия на структурообразование и свойства цементных бетонов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022;49(2):123-132. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-123-132

**Controlled impacts for structure formation and properties of cement concretes**

Yu. G. Ivaschenko, R.T. Mameshov

Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University,  
77 Polytechnic Str., Saratov 410054, Russia

**Abstract. Objective.** The paper considers controlled effects on changes in the properties of components and the control effect of technological methods and techniques for obtaining composite building materials with a set of specified properties. **Method.** Methods of mechano-physical, physico-chemical, nanotechnological influence were applied. **Result.** The system-structural approaches are systematized and generalized by control actions at the stage of structure formation, technological stages, formation of the optimal structure and properties of cement concrete. The physicochemical principles and mechanisms of structure formation are given, based on establishing the role of controlling the mechano-physical, physico-chemical, nanotechnological methods of influencing the cement-water system. The possibility of controlling structural transformations in binder systems, including through the use of technological influences, has been revealed. **Conclusion.** The implementation of the impacts on the components of cement concretes will ensure the targeted design of the structures of modern building materials.

**Keywords:** structure of a composite material, portland cement, constituent components, structure-forming factors, properties

**For citation:** Yu.G. Ivaschenko, R.T. Mameshov. Controlled impacts for structure formation and properties of cement concretes. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022;49(2):123-132. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-123-132

**Введение.** Теоретические положения строительного материаловедения, огромная база экспериментальных данных, практический опыт модернизации технологических переделов определяют современную методологию получения материалов с комплексом заданных свойств, уровнем ресурсоэнергоэффективности технологий [1,4,6,34,35].

Материалы на основе минеральных вяжущих веществ востребованы в современных строительных технологиях как конструкционные, теплоизоляционные, сухие строительные смеси (ССС), специального назначения, например, такие как радиационнозащитные.

Строительные материалы являются композиционными материалами со сложной полиструктурной организацией.

**Постановка задачи.** Многообразие структурных уровней с качественно отличными механизмами их организации ставит многоплановую задачу управления структурообразованием и формированием свойств материала. Управление рассматривается как алгоритм направленного формирования структур на масштабных, от нано- до макроуровнях материалах, с учетом материаловедческих и технологических аспектов на методологической платформе «свойства компонентов – состав – структура – функциональные свойства – состояние (во времени)» [3,15,17,18,33,34,39].

Под структурой бетона подразумевают строение материала на самых различных уровнях, характеризующих полиструктурное строение материала, с выделением в инженерных расчетах микро-, мезо- и макроструктур и особенности процессов структурообразования, определяемые разными структурообразующими факторами.

Процесс структурообразования цементного камня (нано- и микроструктура) протекает в динамической смене образующихся структур в преиндукционный, индукционный и постиндукционный периоды гидратации, характеризующих кинетику структурной прочности. Наложение указанных процессов приводит зачастую к возникновению внутренних напряжений (явление контракции) и снижению прочностных показателей. Свойства цементного камня твердеющего в свободном объеме отличается от свойств цементного камня в контактной зоне с заполнителем, что объясняется поверхностными, капиллярными деструктивными явлениями, возникающими внутренними напряжениями.

Структурообразование происходит по «эстафетному» механизму твердения вяжущей матрицы со сменой различных структур, стабильность которых не достигается даже в значительные сроки [28]. Оптимальными при формировании структуры и свойств твердеющего цементного теста являются физико-технические воздействия, положительные температуры (40-50 °С) [6].

Таким образом, твердение вяжущих веществ обусловлено процессами гидратообразования и формирования структуры новообразований:

- химическим связыванием воды затворения вяжущим веществом;
- образованием и развитием в твердеющей системе пространственного каркаса;
- формирование искусственного камня в вяжущей системе, как совокупности организованных структур, определяется не только кинетикой, но и количественными характеристиками этих процессов, и взаимным влиянием друг на друга [3-8].

Для гетерогенных материалов типа бетонов структуру можно определить как топологию объектов с фиксированными связями между отдельными структурными элементами любого масштабного уровня.

**Методы исследования.** При создании структур необходимо учитывать специфику физико-химических и технологических особенностей составляющих компонентов композиционного материала с ярковыраженной гетерогенностью. В этой связи выделяются управляемые воздействия на изменение свойств компонентов, управляющий эффект технологических способов и приемов получения строительных материалов и изделий.

Переход к физико-химическим принципам и механизмам формирования структуры, основанным на установлении роли управления механо-физическими, физико-химическими, нанотехнологическими воздействиями на систему «цемент – вода» обеспечит получение бетонов прочностью до 120-150 МПа [6,18,41-44].

Разработка технологии вяжущих низкой водопотребности (ВНВ), других разновидностей типа тонкомолотых цементов (ТМЦ), синтеза прочности цементного камня на их основе связана с положениями физико-химической механики, развитой работами П.А. Ребиндера, Н.В. Михайлова, Н.Б. Урьева и др., рассматривающими структурно-механические свойства дисперсных систем и процесса их гидратационного твердения. Синтез высокой прочности, плотности цементного камня на основе ВНВ, ТМЦ обуславливается снижением их водопотребности [20,27].

Резервы повышения эффективности использования цемента заключается в трансформации его химико-минералогического состава, регулированием окислительно-восстановительной среды в цементной печи, увеличением удельной поверхности механоактивацией совместно с минеральными добавками и поверхностно-активными веществами, оптимизацией гранулометрического состава посредством сепарации, снижением содержания активных щелочей.

Установлено, что обработка минеральных добавок, вводимых в цемент типа активного кремнезема (опока, трепел, диатомит, топливных зол, шлаков черной и цветной металлургии), водными растворами, содержащими кислоты или соли трехвалентных элементов ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  и др.), приводит к увеличению Льюисовских и Бренстедовских кислотных центров на поверхности, что способствует повышению пуццолановой активности материала [1,37,39,40].

Для успешного решения проблемных задач повышения эффективности цементов необходимо рассмотрение возможностей управления в системе «цемент – вода» свойствами воды затворения, поверхностной активности минеральных добавок, технологическими приемами при смешивании, в начальных этапах структурообразования, рациональных режимах твердения.

При управлении механохимической активностью твердого тела необходимо сочетать вид и степень механического воздействия с подбором химического состава среды, в условиях которой осуществляется измельчение с учетом физико-химического воздействия на процесс активации. Хемосорбционное модифицирование поверхности носит, как правило, необратимый характер. Механическое воздействие на кристаллическую и молекулярную структуру твердого тела приводит к увеличению дислокации, раскрытию активной поверхности, механодеструкции (аморфизации) элементов структуры, что приводит к существенному увеличению количества активных центров гранулометрического состава, удельной поверхности.

Исследования природы взаимодействия частиц с водой и сил, проявляющихся при твердении вяжущей системы, показывают, что введение ионов частиц примесей электрические, магнитные воздействия приводят к упорядочению или разупорядочиванию структуры воды. Вода с оптимально уменьшенным значением модуля упругости, то есть более разупорядоченная, приобретает повышенную активность как растворитель в химической технологии.

Результаты исследований показывают, что для твердеющих вяжущих вода является особым компонентом, свойства которого зависят от изменяющейся поверхностной энергии частиц цемента, минеральных наполнителей, концентрации и состава ионов, свойств поверхностно-активных веществ и химических добавок.

Вода благодаря своему строению, способна реагировать на самые слабые физико-химические воздействия с изменением своих свойств. Воду и водные растворы можно перевести в активированное состояние следующими способами: подогрев, деаэрация, высоковольтный электрический разряд, акустическая, электромагнитная обработка, электрохимическая активация. Различные способы активации воды, изменяющие ее состав, структуру, свойства могут быть разделены на физические, химические, комбинированные способы воздействия. Активированная вода обладает большой химической активностью за счет изменения ионного состава

ва, показателя рН, удельной электрической проводимости, температуры и других параметров, что в целом оказывает управляющее воздействие на структурирование минеральных вяжущих систем [25,26].

Крупные и мелкие заполнители оказывают многостороннее влияние на свойства бетонной смеси и бетона, в большей степени на реологические свойства бетонной смеси вследствие иммобилизации части воды затворения. По своему качеству заполнитель должен соответствовать требуемым свойствам бетона (плотность, прочность, морозостойкость, ограничение содержания вредных примесей) [11].

Мелкие заполнители модифицируют термохимическими способами обработки. Для повышения адгезии заполнителей к цементному камню применяют различные способы активации поверхности: механическая активация, прививка на поверхности водорастворимых полимерных олигомеров, смол, обработка водными растворами электролитов.

Эффективны крупные заполнители с кубовидной формой щебня. Минимизация межзерновой пустотности смеси крупного и мелкого заполнителя направлена на снижение расхода цемента и улучшение физико-механических характеристик бетона. Наибольшая прочность бетона достигается при максимальной прочности зерен щебня фракции – 20 мм. Введение минеральных добавок в бетонную смесь позволяет регулировать прочностные и деформативные свойства бетона, повысить химическое сопротивление и долговечность материалов. Оптимум наполнения определяется химико-минералогическим составом, дисперсностью, гранулометрией, показателями кислотно-основных свойств, пуццолановой активностью [4]. Эффект наполнения реализуется за счет сокращения расхода цемента на 10-40% и повышения прочности бетона на 25-50%.

Пластифицирующие, супер- и гиперпластифицирующие олигомерные, мономерные водорастворимые соединения являются одним из широко применяемых химических добавок в современной технологии бетонов, как действенный способ управления процессами структурообразования, улучшения технологических показателей бетонных смесей и обеспечивающих заданные сроки эксплуатационной надежности изделий и конструкций [33].

Метод адсорбционного модифицирования с помощью ПАВ (катион-анион и неионактивных) регулирует изменение молекулярных свойств поверхности, как гидрофильных, так и гидрофобных частиц, обуславливающее максимальное сближение их с вяжущей матрицей.

Эффективными являются ПАВ, химически взаимодействующих с частицами дисперсной фазы различной природы с учетом кислотно-основных свойств поверхности. В твердеющих системах на основе вяжущих гидратационного твердения достигается водоредуцирующий эффект и улучшение физико-технических свойств материала. Добавки этого класса существенно снижают значение межфазной энергии на границе раздела твердое тело–жидкость, следовательно, выступают в качестве сильных диспергаторов при механо-химической активации вяжущих веществ [32,33,38].

Получение высокого модифицирующего эффекта достигается применением водорастворимых продуктов органического синтеза олигомерного (полимерного), мономерного строения и размером полимерной цепи с боковым расположением гидрофильных и гидрофобных групп. Гидрофобность молекулам придают бензольные, нафталиновые, меламиновые циклы, а гидрофильность – сульфогруппы. Основными определяющими факторами в процессе адсорбционного модифицирования являются закономерности взаимодействия на разных этапах формирования структуры цементно-водных систем.

Модифицированные полимерные водорастворимые материалы (интерполимерные комплексы – ИПК) представляют широкий класс интерполимерных соединений и находят практическое применение в качестве структурообразователей дисперсных систем.

Несомненный интерес представляет олигомерные и полимерные продукты конденсации ацетон-, фенол-, мочевины и формальдегида. Реакции трехмерного сшивания этих продуктов

обуславливает их структурообразующую способность в дисперсных системах. В процессе комплексообразования ИПК могут участвовать различные классы соединений: комплиментарные макромолекулы (интерполимерные комплексы), поверхностно-активные вещества (комплексы полимер–ПАВ), ионы металлов (комплексы полимер–металл) и др. наиболее распространенный способ получения – это смешение растворов готовых взаимодействующих комплексов в общем растворителе (вода) [33].

В бетонную смесь вводятся короткомерные стальные, синтетические, стеклянные, асбестовые и графитовые волокна. Отношение длины фибры к ее диаметру обычно находится в пределах 30-150 при длине волокна 1-76 мм.

Результаты исследований подтверждают тот факт, что введение фибр в бетон улучшает его прочность, способность выдерживать статические и динамические нагрузки, повышает трещиностойкость. Значительное улучшение свойств бетона может быть достигнуто введением армирующих фибр из прочного и жесткого материала.

Волокна (фибры) разделяют на два типа:

1) волокна с низким модулем упругости и высоким относительным удлинением (нейлоновые, полиэтиленовые, полиэтилентетрафталатные и др.), улучшающие ударную прочность бетона;

2) волокна с высоким модулем упругости и высокой прочностью (металлические, асбестовые, графитовые, щелочестойкие силикатные, алюмосиликатные и др.), повышающие прочность и жесткость бетона, а также способность выдерживать динамические нагрузки.

Кроме геометрических параметров фибр (длина и диаметр) на свойство бетона влияет количество (расход на 1 м<sup>3</sup> смеси) и их пространственная ориентация, однородность распределения в объеме смеси, технология приготовления бетонных смесей, прочность сцепления с цементным камнем [29-37,39,40].

Эффект фиброармирования сводится к тому, что они уменьшают раскрытие трещин в бетоне и разрушение бетона происходит тогда, когда напряжения в нем превышают прочность сцепления волокон с цементным камнем или прочность самих волокон [31].

**Обсуждение результатов.** Технологический процесс должен воспроизвести в реальных условиях целевую задачу получения материалов с комплексом заданных свойств, качественных показателей на каждом этапе технологического процесса.

Все это достижимо при реализации технологического перевооружения предприятий строительной индустрии (современные дозаторы, смесители, оборудования механических (вибрационных) воздействий, гиперпрессования, центрифугирования, установок тепловлажностной обработки).

Результаты современных теоретических и экспериментальных исследований, зарубежного и отечественного опыта реализации конкурентоспособной продукции является методической базой для новых технических и технологических решений управления качественными показателями изделий и конструкций [1,7,18,19,31].

Прогнозирование эксплуатационного ресурса строительных материалов, конструкций, возможно осуществлять с учетом структурных факторов управления сопротивлением разрушению. Первая группа факторов – вид физических и физико-химических связей в вяжущей матрице, определяющих уровень возможного сопротивления структуры силовому механическому воздействию.

Вторая группа структурных факторов соответствует управлению соотношением структурных элементов в общей полиструктуре материалов, распределением по размерам зерен минеральных вяжущих (микрообъем по Юнгу), минеральных добавок, поровой структуры.

Третья группа факторов учитывает оценочные показатели и характеристики деформирования и разрушения матрицы (вероятностный, материаловедческий, конструкторский) при силовом воздействии, действии агрессивных сред.

Изменение вещественного состава и свойств цементного камня напряженно-деформированного состояния материала в результате эксплуатационных (температурно-влажностных) воздействий, в том числе и агрессивных сред, и определяют в совокупности достигаемое к определенному моменту эксплуатационного цикла состояние и конструкционный потенциал изделий, конструкций.

В работах [1,8] показано, что наиболее долговечным является бетон, имеющий плотную непроникающую для агрессивных компонентов структуру цементного камня, которая, согласно известному положению о кольматации пор порового пространства, может образовываться за счет формирования в процессе гидратации гелевидных фаз-кольматантов. В качестве таких фаз могут выступать гидроксиды алюминия, железа, кремния.

Многоуровневый принцип организации структуры композиционных материалов определяет выделение в единой структуре многих взаимосвязанных и зависимых структур от атомно-молекулярного уровня до составных структур цельных элементов [18,23,27].

Цементсодержащие материальные композиции относятся к неравновесным системам. На границе раздела протекают химические реакции с частичным разрывом и образованием межатомных связей в объеме каждой фазы с образованием промежуточных соединений различного типа, происходит диффузия, растворение одной фазы в другой с формированием новых химических образований и перехода ее в новое состояние с более высокой степенью организации.

Представления о композиционных материалах как открытых материальных системах базируется на фундаментальных основах термодинамического анализа структурообразования вяжущих систем, выявления физического смысла этого процесса и определения его движущих сил.

Твердеющее вяжущее представляет собой сложную неравновесную физико-химическую систему. Развивающиеся в ней необратимые процессы характерны для состояний, далеких от термодинамического равновесия, и в этих случаях может происходить переход от беспорядка и теплового хаоса к порядку и спонтанному развитию новых типов структур. Образование упорядоченных структур, более сложных, чем первоначальные являются характерным признаком самоорганизации, которая непосредственно связана с эволюцией материальной системы, образованием диспативных структур. Диспативные структуры организуются в объемном пространстве, во времени состояния, которые могут перейти в состояние термодинамического равновесия в результате кинетического фазового перехода.

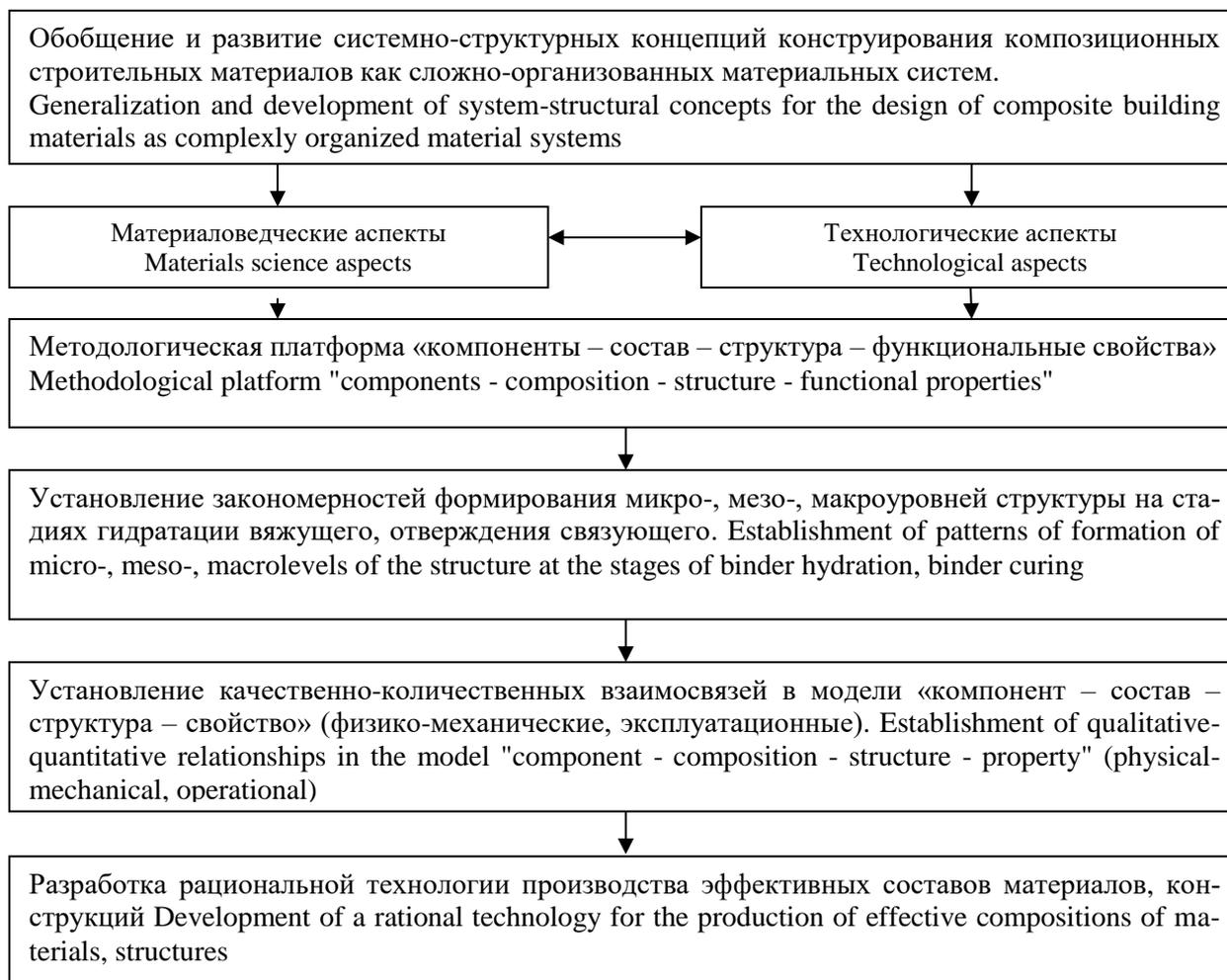
Образование упорядоченных структур, более сложных, чем первоначальные, является характерным признаком самоорганизации, которая непосредственно связана с эволюцией материальной системы.

Эволюция определяется внутренними (химико-минералогический состав вяжущего, активность воды затворения, кислотно-основные свойства, катион-анионный состав ПАВ и др.), внешними (температура, давление и другие физико-механические воздействия) и другими факторами (сдвиговые деформации, контракция, тепловыделение) с энтропийным характером [12-14,16,17,38,39].

Экспериментальные данные подтверждают термодинамические закономерности структурообразования и возможностью определения роли химико-минералогического состава цемента, минеральных, химических добавок, воды затворения на кинетику и характер развития структурных превращений в вяжущей системе, а также оценить термодинамическую устойчивость образующейся структуры (рис. 1).

На основе полученных закономерностей появляется возможность управления структурными превращениями в вяжущих системах, а также за счет применения технологических воздействий [40].

Определение параметров внешних технологических воздействий производится с учетом термодинамических и кинетических характеристик этих состояний. Учет этих факторов при осуществлении химических, тепловых, механических воздействий приводит к сокращению технологического цикла изготовления изделий, улучшению их строительно-технических свойств [12-16,21-24].



**Рис. 1. Схема управляемого формирования структуры и свойств строительных композиционных материалов**

**Fig.1. Scheme of controlled formation of the structure and properties of building composite materials**

**Вывод.** Проблема создания композиционных строительных материалов с комплексом заданных свойств является одной из важнейших задач современного материаловедения и имеет два основных аспекта – материаловедческий и технологический.

Систематизированы и обобщены системно-структурные подходы управляющими воздействиями на стадии структурообразования, технологических переделов, формирования оптимальной структуры и свойств цементных бетонов.

Развитие методологических основ бетоноведения должно развиваться на платформе «свойства компонентов – состав – структура – функциональные свойства» с обоснованием ресурсоэнергоэффективности технологических переделов.

Реализация теоретических и экспериментальных обоснований физико-химических явлений структурообразования, количественно-качественного состава, условий внутренних и внешних воздействий обеспечит целенаправленное конструирование структур современных строительных материалов.

Библиографический список:

1. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П. Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов Текст. – Уфа, ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
2. Сахипбгареев Р.Р. Потенциал структурообразования и самозалечивания цементных систем на поздних стадиях твердения / В В. Бабков, Р.Р. Сахипбгареев // Труды Международного конгресса «Наука и инновации в строительстве», SIB. - Воронеж, 2008. – Т. 1. – С.463-469.
3. Сахипбгареев Р.Р. Направления и механизмы управления процессами структурообразования цементных композитов / Р.Р. Сахипбгареев // XV Академические чтения РААСН / Казан, гос. арх.-строит. ун-т. – Казань, 2010. – Т.1. – С.53-57.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны: Теория и практика. – М.:Технопроект, 1998. – 768 с.
5. Гаджилы Р.А. Регулирование свойств цементных систем с учетом природы ПАВ. Цемент и его применение. 2003. - №5. - С. 26-27.
6. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов Текст. / С.С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 1995. № 4. - С. 16-20.
7. Комохов П.Г. Структура и свойства цементного камня с позиции компьютерного материаловедения Текст. /П.Г. Комохов, А.М. Харитонов // Academia. Архитектура и строительство. 2007. – №4 - С. 63-66.
8. Королев А.С. Управление водонепроницаемостью цементных композитов путем направленного уплотнения гидратной структуры цементного камня. Монография. Челябинск:Изд-во – ЮУрГУ, 2008. - 146 с.
9. Stuart Matthews, Lojze Bevc, Stuart Curtis, Ainars Paeglitis. Concrete structure management: Guide to ownership and good practice. Fib Bulletins. 2008; 44(February):210.
10. Shi X. et al. Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. *Construction and Building Materials*. 2012; 30:125-138.
11. Перцев В.Т., Леденев А.А., Рудаков О.Б. Физико-химические подходы к разработке эффективных органоминеральных добавок для бетона // Конденсированные среды и межфазные границы. 2018. № 20 (3). С. 432-442.
12. Лотов В.А. О взаимодействии частиц цемента с водой или вариант механизма процессов гидратации и твердения цемента. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг ресурсов. Т.239. – №1. – 2018. С. 99-110
13. Гаркави М. С, Цимерманис Л. Б. К вопросу об энтропийном анализе фазовых переходов в процессе твердения строительных материалов //Инженерно-физические исследования строительных материалов.Челябинск, 1974. – С. 40–47.
14. Гаркави М.С. Колебательные процессы при самоорганизации вяжущих систем // 1 международное совещание по химии и технологии цементов. М.1996. – С. 190-191
15. Соломатов В. И., Выровой В. Н., Бобрышев А. Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов – Ташкент : Фан, 1991. – 284 с.
16. Селяев В. П., Иващенко Ю. Г., Низина Т. А. Полимербетоны: монография. – Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2016. – 281 с.
17. Чернышов Е.М. Формула «4С» («состав – структура – состояние – свойства») в концептуально-методологической парадигме современного системного материаловедения // Строительные материалы – 4С: состав – структура – состояние – свойства: Междунар. сб. науч. трудов. – Новосибирск, 2015 – С. 5–12.
18. Баженов Ю.М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 6 – 14.
19. Иващенко Ю.Г., Павлова И.Л., Решетов В.А. Основы методологических принципов развития системно-структурных концепций конструирования композиционных строительных материалов // Сборник докладов международной научно-практической конференции. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. С. 81-85
20. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966 – 400 с.
21. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985. – 201 с.
22. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
23. Бобрышев А.Н. Синергетика композиционных материалов / А.Н. Бобрышев, В.Н. Козомазов, Л.О. Бабин, В.И. Соломатов - Липецк : НПО ОРИУС, 1994. - 152 с.
24. Штакельберг Д.И. Самоорганизация в дисперсных системах. – Рига: Зинатне, 1990. - 175 с
25. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Ерофеев В. Т., Матвиевский А.А., Митина Е.А., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Цементные композиты на основе магнитно- и электрохимически активированной воды затворения. Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2011. – 128 с.
26. Иващенко Ю.Г., Мухамбеткалиев К.К. Композиты на основе модифицированных глиносодержащих вяжущих систем // Разработка современных технологий и материалов для обеспечения энергосбережения, надежности и безопасности объектов архитектурно-строительного и дорожного комплекса: сб. статей Междунар. науч.-практ. симп. / Саратов, 2010. С.51-56.
27. Вагнер Г.Р. Физико-химия процессов активации цементных дисперсий. Киев: Наук. думка, 1980. – 200 с.
28. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня. – М.: НИУ МГСУ, 284 с.
29. Миронов В.А., Белов В.В., Голубев А.И., Смирнов М.А. Оптимизирование композиций для изготовления строительных смесей. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. – 416 с.
30. Ушеров-Маршак А. В. Калориметрия цемента и бетона. – Х.: Колорит, 2002. – 184 с.
31. Максимова И. Н., Макридин Н. И., Ерофеев В. Т., Скачков Ю. П. Прочность и параметры разрушения цементных композитов: монография. – Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2015. – 358 с.
32. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. Москва: Стройиздат, 1989. – 188 с.
33. Сватовская Л.Б., Сычев М.М. Активированное твердение цементов Л.: Стройиздат, 1983. – 160 с.
34. Гранковский И.Г. Структурообразование в минеральных вяжущих системах Киев: Наукова думка, 1984. 300 с.

35. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 368с.
36. Куприяшклина Л.И. Наполненные цементные композиты. Саранск: И-во Мордовского университета. 2007.180 с.
37. Шейкин А.Е. Чеховский Ю.В. Брессер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. – Москва : Стройиздат, 1979. – 344 с.
38. Мчедлов-Петросян О. П. Химия неорганических строительных материалов. Москва : Стройиздат, 1971. – 224 с.
39. Шпынова Л.Г., Чих В.И., Саницкий М.А. и др. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня /. - Львов : Вища школа : Изд-во при Львов. ун-те, 1981. - 158 с. : ил.
40. Иващенко Ю.Г., Страхов А.В., Тимохин Д.К. О роли активности минеральных наполнителей в системно-структурных концепциях конструирования композиционных строительных материалов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Материалы всероссийской научно-технической конференции. – Саранск: Изд-во Мордовского университета. – 2018. – С 61-67.
41. Yahia A., Kabagire K. D. New approach to proportion pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2014; 62:38-46.
42. Wei S. et al. Characterization and simulation of microstructure and thermal properties of foamed concrete. *Construction and building materials*. 2013; 47: 1278-1291.
43. Cleland, D. & Matthews, S. & Stipanovic, Irina & Jacobs, J.. (2009). Concrete structure ownership and management: Part 1. *Structural Concrete*. 10. 87-97. 10.1680/stco.2009.10.2.87.
44. Radić, Jure & Kušter Marić, Marija. *Challenges in concrete structures management*. 2012.

#### References:

1. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. Structure formation and destruction of cement concretes. - Ufa, State Unitary Enterprise "Ufa Polygraph Plant", 2002: 376. (In Russ)
2. Sakhipbgariev P.P. The potential of structure formation and self-healing of cement systems at the late stages of hardening / VV Babkov, P.P. Sakhipbgariev. *Proceedings of the International Congress "Science and Innovation in Construction"*, SIB. Voronezh, 2008; 1: 463-469. (In Russ)
3. Sakhipbgariev P.P. Directions and mechanisms for controlling the processes of structure formation of cement composites. XV Academic readings of the RAASN. *Kazan, state. arch.-build. un-t. Kazan*, 2010; 1:53-57. (In Russ)
4. Batrakov V.G. Modified concretes: Theory and practice. M.: *Tekhnoproekt*, 1998: 768. (In Russ)
5. Gajily R.A. Regulation of the properties of cement systems, taking into account the nature of surfactants. *Cement and its application*. 2003; 5: 26-27. (In Russ)
6. Kapriylov S.S. General patterns of formation of the structure of cement stone and concrete with the addition of ultrafine materials. *Concrete and reinforced concrete*. 1995; 4:16-20. (In Russ)
7. Komokhov P.G., Kharitonov A.M. Structure and properties of cement stone from the standpoint of computer materials science. *Academia. Architecture and construction*. 2007; 4: 63-66. (In Russ)
8. Korolev A.S. Management of the water resistance of cement composites by directional compaction of the hydrated structure of the cement stone. Monograph. Chelyabinsk: Publishing House SUSU, 2008: 146. (In Russ)
9. Stuart Matthews, Lojze Bevc, Stuart Curtis, Ainars Paeglitis. Concrete structure management: *Guide to ownership and good practice. fib bulletins*. 2008; 44(February):210.
10. Shi X. et al. Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview. *Construction and Building Materials*. 2012; 30:125-138.
11. Pertsev V.T., Ledenev A.A., Rudakov O.B. Physico-chemical approaches to the development of effective organo-mineral additives for concrete. *Condensed media and interfacial boundaries*. 2018; 20 (3): 432-442. (In Russ)
12. Lotov V.A. On the interaction of cement particles with water or a variant of the mechanism of the processes of hydration and hardening of cement. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Resource engineering*. 2018; 239(1):99-110 (In Russ)
13. Garkavi M. S., Tsimerman L. B. On the issue of entropy analysis of phase transitions in the process of hardening of building materials. *Engineering and physical research of building materials*. Chelyabinsk, 1974: 40-47. (In Russ)
14. Garkavi M.S. Oscillatory processes during self-organization of binder systems. *1st international meeting on chemistry and technology of cements*. M.1996: 190-191(In Russ)
15. Solomatov V. I., Vyrovoy V. N., Bobryshev A. N. et al. Polystructural theory of composite building materials Tashkent: Fan, 1991: 284. (In Russ)
16. Selyaev V. P., Ivashchenko Yu. G., Nizina T. A. Polymer concretes: monograph. Saransk: Publishing House of the Mordovian University, 2016: 281. (In Russ)
17. Chernyshov E.M. Formula "4C" ("composition - structure - state - properties") in the conceptual and methodological paradigm of modern systems materials science. Building materials - 4C: composition - structure - state - properties: Intern. Sat. scientific works. - Novosibirsk, 2015: 5-12. (In Russ)
18. Bazhenov Yu.M. Structural design of modern concrete: defining principles and technological platforms. [Stroitel'nye materialy]. *Construction Materials*. 2014; 3: 6 - 14. (In Russ)
19. Ivashchenko Yu.G., Pavlova I.L., Reshetov V.A. Fundamentals of methodological principles for the development of system-structural concepts for the design of composite building materials. Collection of reports of the international scientific-practical conference. Belgorod: Publishing house of BSTU im. V.G. Shukhov. 2007: 81-85 (In Russ)
20. Rebinder P.A. Physical and chemical mechanics of dispersed structures. M.: *Nauka*, 1966: 400. (In Russ)
21. Prigogine I. From existing to emerging. M.: *Nauka*, 1985: 201. (In Russ)
22. Nicolis G., Prigogine I. Self-organization in non-equilibrium systems. M.: *Mir*, 1979: 512. (In Russ)

23. Bobryshev A.N. Synergetics of composite materials / A.N. Bobryshev, V.N. Kozomazov, L.O. Babin, V.I. Solomatov - Liptsk: NPO ORIUS, 1994: 152. (In Russ)
24. Stackelberg D.I. Self-organization in disperse systems. Riga: Zinatne, 1990: 175.
25. Bazhenov Yu.M., Fedosov S.V., Erofeev V.T., Matvievsky A.A., Mitina E.A., Emelyanov D.V., Yudin P.V. Cement composites based on magnetically and electrochemically activated mixing water. Saransk: Publishing House of the Mordovian University, 2011: 128. (In Russ)
26. Ivashchenko Yu.G., Mukhambetkaliev K.K. Composites based on modified clay-containing binder systems. Development of modern technologies and materials to ensure energy saving, reliability and safety of objects of the architectural, construction and road complex: Sat. articles of the International scientific-practical. symp. Saratov, 2010: 51-56. (In Russ)
27. Wagner G.R. Physico-chemistry of activation processes of cement dispersions. Kyiv: Nauk. Dumka, 1980: 200.
28. Samchenko S.V. Formation and genesis of the structure of cement stone. M.: NRU MGSU, 284 p. (In Russ)
29. Mironov V.A., Belov V.V., Golubev A.I., Smirnov M.A. Optimization of compositions for the manufacture of building mixtures. St. Petersburg: RIA Quintet, 2008: 416. (In Russ)
30. Usharov-Marshak A.V. Calorimetry of cement and concrete. Kh.: Kolorit, 2002: 184. (In Russ)
31. Maksimova I. N., Makridin N. I., Erofeev V. T., Skachkov Yu. P. Strength and fracture parameters of cement composites: monograph. Saransk: Publishing House of Mordovian University, 2015: 358. (In Russ)
32. Ratinov V.B., Rozenberg T.I. Additives in concrete. Moscow: Stroyizdat, 1989: 188. (In Russ)
33. Svatovskaya L.B., Sychev M.M. Activated hardening of cements L.: Stroyizdat, 1983: 160. (In Russ)
34. Grankovsky I.G. Structure formation in mineral binding systems Kyiv: Naukova Dumka. 1984: 300.
35. Bazhenov Yu.M., Demyanova B.C., Kalashnikov V.I. Modified high quality concretes. M.: DIA Publishing House, 2006: 368. (In Russ)
36. Kupriyashkina L.I. Filled cement composites. Saransk: Publishing House of the Mordovian University. 2007:180 (In Russ)
37. Sheikin A.E. Chekhovskiy Yu.V. Bresser M.I. Structure and properties of cement concretes. Moscow: Stroyizdat, 1979: 344. (In Russ)
38. Mchedlov-Petrosyan O. P. Chemistry of inorganic building materials. Moscow: Stroyizdat, 1971: 224. (In Russ)
39. Shpynova L.G., Chikh V.I., Sanitsky M.A. et al. Physico-chemical foundations of the formation of the structure of cement stone Lviv: Vishcha school: Publishing House at Lviv. un-te, 1981:158.
40. Ivashchenko Yu.G., Strakhov A.V., Timokhin D.K. On the role of the activity of mineral fillers in the system-structural concepts of the design of composite building materials. Durability of building materials, products and structures. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Saransk: Publishing House of the Mordovian University. 2018:61-67. (In Russ)
41. Yahia A., Kabagire K. D. New approach to proportion pervious concrete. *Construction and Building Materials*. 2014; 62:38-46.
42. Wei S. et al. Characterization and simulation of microstructure and thermal properties of foamed concrete. *Construction and building materials*. 2013; 47:1278-1291.
43. Cleland, D. & Matthews, S. & Stipanovic, Irina & Jacobs, J.. (2009). Concrete structure ownership and management: Part 1. *Structural Concrete*. 10.87-97. 10.1680/stco.2009.10.2.87.
44. Radic, Jure & Kuster Maric, Marija. Challenges in concrete structures management. 2012.

**Сведения об авторах:**

Ивашченко Юрий Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии»; [psk@sstu.ru](mailto:psk@sstu.ru).

Мамешов Раман Тайрович, соискатель, кафедра «Строительные материалы и технологии»; [mascara.t@list.ru](mailto:mascara.t@list.ru)

**Information about the authors:**

Yuriy G. Ivaschenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of «Building materials and technology»; [psk@sstu.ru](mailto:psk@sstu.ru).

Raman T. Mameshov, Applicant, Department of «Building materials and technology»; [mascara.t@list.ru](mailto:mascara.t@list.ru)

**Конфликт интересов/ Conflict of interest.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию/Received** 04.06.2022.

**Одобрена после/рецензирования Revised** 17.06.2022.

**Принята в печать/ Accepted for publication** 17.06.2022.