

На правах рукописи



**ПОПОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКСТИЛЬ-БЕТОНА**

**Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Пенза – 2018**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН

**Лесовик Валерий Станиславович**

**Официальные оппоненты**

**Муртазаев Сайд-Альви Юсупович,**

доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Грозненский государственный  
нефтяной технический университет  
им. академика М.Д. Миллионщикова»,  
проректор по стратегическому развитию  
и инвестиционной деятельности

**Низина Татьяна Анатольевна,**

доктор технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Национальный исследова-  
тельский Мордовский государственный  
университет им. Н. П. Огарёва», профес-  
сор кафедры «Строительные конструк-  
ции»

**Ведущая организация**

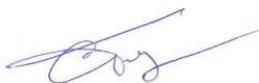
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский госу-  
дарственный архитектурно-строитель-  
ный университет», г. Санкт-Петербург

Защита состоится 28 декабря 2018 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте: <http://dissovnet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/2-uncategorised/96-82-porov-dmitriy-yurevich>.

Автореферат разослан 27 октября 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бакушев  
Сергей Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Растущий потенциал строительного комплекса Российской Федерации обусловлен применением современных достижений техники и технологий в строительстве и строительном материаловедении. Новый этап развития общества связан с созданием комфортной среды обитания человека, в том числе за счет использования достижений архитектурного материаловедения. Для реализации этого необходимы новые подходы и приемы при проектировании и синтезе строительных материалов, заключающиеся в рациональном выборе сырья и комплекса современных модификаторов, позволяющих достичь заданные физико-механические характеристики изделий. Особое значение этому уделяется при создании тонкостенных армированных композитов, таких как текстиль-бетон, использование которых позволяет сократить энергоемкость и материалоемкость сооружений, расширить области применения бетона и открывает новые возможности в архитектуре при создании пространственных и филигранных форм.

Однако при изготовлении тонкостенных конструкций из высокомарочных бетонов возрастает риск деструктивных процессов и образования трещин в результате усадочных деформаций цементного камня. Это может привести к значительному ухудшению эксплуатационных свойств конструкций и даже их полному разрушению. В связи с этим актуальным является разработка текстиль-бетонов, в меньшей степени подверженных деструктивным процессам, вызванным усадочными явлениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI58317X0063), а также в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова 2017-2021 года и Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова до 2021 года.

**Степень разработанности темы.** В ходе проведенного литературного обзора установлено, что снижение действия усадочных явлений в бетонах на разных этапах формирования материала происходит за счет сокращения клинкерной составляющей, использования быстротвердеющих цементов, введения пористых, воздухововлекающих и расширяющих добавок, что приводит к удорожанию и сказывается на физико-механических характеристиках конечных изделий. Установлено, что наибольшее количество деструктивных процессов в цементных бетонах протекает в период гидратации и твердения. Ранее не проводились исследования, связанные с повышением эффективности текстиль-бетонов за счет снижения деструктивных явлений бетонной матрицы посредством использования полиминеральных композиционных вяжущих (КВ) на основе отходов мокрой магнитной

сепарации (отходы ММС) железистых кварцитов и опоковидного мергеля в сочетании с суперабсорбирующими полимерами (САП).

**Цель и задачи работы.** Повышение эффективности текстиль-бетона за счет снижения деструктивных явлений цементной матрицы.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

- изучение характера влияния вида и дисперсности САП на пластическую усадку в цементном камне и мелкозернистом бетоне;
- обоснование целесообразности использования и разработка полиминеральных композиционных вяжущих с применением отходов ММС и опоковидного мергеля для приготовления текстиль-бетонов с повышенной сопротивляемостью к деструктивным процессам;
- проектирование составов текстиль-бетонов на основе полиминеральных композиционных вяжущих и САП с применением расчетно-экспериментальной методики высокоплотных упаковок;
- изучение свойств текстиль-бетонов и исследование влияния компонентов на усадочные деформации в ранние сроки твердения;
- разработка рекомендаций по изготовлению текстиль-бетона и технологической схема производства изделий на его основе.

**Научная новизна работы.** Установлен характер влияния вида и дисперсности суперабсорбирующих полимеров на пластическую усадку в цементном камне и текстиль-бетоне, заключающийся в снижении отрицательного капиллярного давления, посредством водоотдачи САП, что приводит к сокращению усадочных деформаций еще незатвердевшей системы, при этом не оказывая химического воздействия на гидратацию. Это позволяет уменьшить количество деструктивных процессов в период схватывания вяжущего и обеспечить качественное формирование структуры материала.

Предложена феноменологическая модель твердения системы полиминерального композиционного вяжущего «портландцемент – опоковидный мергель – отходы ММС», заключающаяся в последовательном росте новообразований системы «клинкерные минералы – опоковидный мергель – кварц различного генезиса – магнетит – гематит – вода – суперпластификатор». Последовательность твердения обусловлена разной интенсивностью и временем взаимодействия минеральной составляющей мергеля, полигенетического кварца и железосодержащих компонентов с продуктами гидратации клинкерных минералов, что объясняет повышение сопротивляемости КВ к деструктивным процессам, вызванным образованием и развитием микротрещин, за счет входящих в состав КВ минеральных компонентов, создающих армирующий эффект и участвующих в последовательном росте новообразований, отличающихся высокой дисперсностью и плотностью.

Установлен характер синергетического действия полиминеральных композиционных вяжущих и САП на формирование структуры текстиль-бетона, заключающийся в повышении сопротивляемости бетонной матрицы деструктивным процессам, вызванным пластической усадкой и трещинообразованием в период схватывания и твердения, а также снижении щелочной агрессии по отношению к стеклянным волокнам армирующей сетки за счет использования разработанных КВ, что в дальнейшем благоприятно сказывается на долговечности текстиль-бетона.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения эффективности текстиль-бетона за счет применения суперабсорбирующих полимеров и использования полиминеральных композиционных вяжущих, полученных путем совместного помола портландцемента и отходов ММС и последующего введения опокovidного мергеля, используемого в качестве минерального модификатора. Расширены представления об усадочных явлениях в цементных системах и предложена общая модель усадочных деформаций.

Подобран оптимальный вид и дисперсность суперабсорбирующих полимеров, которые обеспечивают минимальное значение пластической усадки и оптимальные физико-механические характеристики текстиль-бетона.

Разработаны составы для приготовления текстиль-бетона на основе полиминеральных композиционных вяжущих и САП с использованием расчетно-экспериментальной методики высокоплотных упаковок. Разработанные составы полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым СП 96.13330.2016 «СНиП 2.03.03-85 Армоцементные конструкции»: классу по прочности на сжатие В30-60, классу по прочности на осевое растяжение Вt1,2-2, классу по средней плотности D2100-2300, маркам по морозостойкости F200-500 и маркам по водонепроницаемости W16-22.

Предложены рекомендации по изготовлению текстиль-бетона и технологическая схема производства изделий на его основе с учетом технологических особенностей приготовления композиционных вяжущих.

**Методология и методы исследований.** Методологической основой работы послужили принципы строительного материаловедения, опирающиеся на обобщение, эксперимент, сравнение, применение системного подхода. Исследования проводились в соответствии с действующими ГОСТ и DIN с применением современного оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова и аналитических методов.

Основные исследования по изучению пластической усадки проводились в специально собранной установке Института строительных материалов Технического университета Дрездена (Германия), с применением современного оборудования. Изучение особенностей гидратации вяжущих

производилось путем выявления динамики тепловыделения с помощью дифференциального калориметра. Исследование микроструктурных особенностей – с помощью электронной растровой микроскопии. Расчет высокоплотных упаковок проводился по признанной расчетно-экспериментальной методике высокоплотных зерновых составов, разработанной профессором А.Н. Хархардиным.

**Положения, выносимые на защиту:**

– теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности повышения эффективности текстиль-бетонов за счет снижения деструктивных явлений бетонной матрицы;

– характер влияния вида и дисперсности суперабсорбирующих полимеров на пластическую усадку в цементном камне и текстиль-бетоне;

– феноменологическая модель твердения системы полиминерального композиционного вяжущего «портландцемент – опоковидный мергель – отходы ММС»;

– составы и свойства текстиль-бетонов, полученных на основе полиминеральных композиционных вяжущих и САП, с использованием расчетно-экспериментальной методике высокоплотных упаковок;

– рекомендации по изготовлению текстиль-бетона и технологическая схема производства изделий на его основе с учетом технологических особенностей приготовления композиционных вяжущих.

**Степень достоверности полученных результатов** обеспечивается применением общепринятых гипотез и допущений, апробированных и стандартизированных методик проведения испытаний с использованием метрологически поверенного лабораторного оборудования, удовлетворительной корреляцией результатов экспериментальных и теоретических исследований, а также их повторяемостью, вероятностно-статистической обработкой экспериментальных данных.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты диссертации докладывались на международных, всероссийских и вузовских конференциях: юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации», XXI научные чтения (Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014 год); научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук, Баженова Юрия Михайловича «Эффективные строительные композиты» (Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015 год); Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии и инновации» (Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016 год); первый Международный онлайн конгресс «Фундаментальные основы строительного материаловедения» (Белгород,

БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017 год); VII Международная научная конференция «Задачи и методы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» («Золотовские чтения») (Москва, РААСН, 2018 год).

Разработки были представлены на XIV межрегиональной специализированной выставке «Современный город» (Белгород, Белэкспоцентр, 2017 год).

Исследования были удостоены исследовательского гранта Немецкой службы академических обменов «Deutscher Akademischer Austauschdienst» (DAAD) в 2015 году.

**Внедрение результатов исследований.** Для внедрения результатов диссертационной работы разработаны следующие нормативные документы: рекомендации по приготовлению текстиль-бетона на основе композиционных вяжущих; стандарт организации СТО 02066339-001-2018 «Текстиль-бетон повышенной сопротивляемости деструктивным процессам». Заключен протокол о намерениях с ООО «Строительная Компания №1» по внедрению разработанных составов текстиль-бетона на ряде строительных площадок по благоустройству городской агломерации Белгородской области, при строительстве здания «Института исследований внешней акустики», а также в рамках реализации проекта «Геосинтезированная архитектурная среда» для возведения «звуковой» перголы.

Теоретические положения и результаты научно-исследовательской работы используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы представлены в 19 научных публикациях, в том числе в пяти статьях в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК; в двух статьях в журналах, индексируемых в международных реферативных базах данных и системах цитирования Scopus и Web of Science. На составы текстиль-бетонов зарегистрировано ноу-хау (№20180024 от 10.07.2018 г.).

**Личный вклад.** Автором расширены представления об усадочных явлениях в цементных системах и разработана общая модель усадочных деформаций. Изучена особенность влияния и экспериментально доказана эффективность применения САП. Изучена особенность гидратации и предложена феноменологическая модель твердения разработанных полиминеральных композиционных вяжущих и выявлена тенденция к снижению образования деструктивных процессов в КВ и текстиль-бетоне на его основе. Разработаны составы текстиль-бетонов на полиминеральных композиционных вяжущих с применением САП и определены их свойства. Принято участие в апробации и внедрении результатов работы.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 179 страницах машинописного текста, включающего 69 рисунков, 52 таблицы, 122 наименования литературных источников, семь приложений (на 12 страницах).

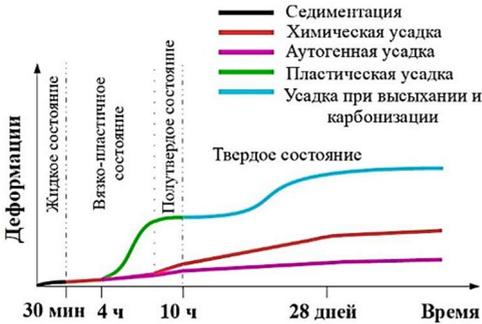
## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Переход от использования массивного железобетона к более легким тонкостенным бетонным композитам, армированным неметаллическими материалами, расширяет возможности применения бетона при строительстве объектов сложной конфигурации с повышенной архитектурной выразительностью. Текстиль-бетон – один из видов материалов, который может широко использоваться при создании современного облика города. Благодаря конструктивным и технологическим особенностям данный материал открывает широкие области применения: создание малых архитектурных форм, садово-парковой мебели, сэндвич-панелей и фасадных плит, использование в качестве основного композиционного материала для выполнения работ по усилению и реконструкции зданий и сооружений из бетона.

Однако, при формировании структуры текстиль-бетона возникают риски, связанные с усадочными явлениями, что негативно сказывается на физико-механических характеристиках конечных изделий. Согласно результатам выполненных ранее работ, компенсация данных негативных явлений осуществляется в основном путем введения модификаторов различных спектров действия, но используемые методы не всегда являются эффективными при применении традиционных видов вяжущих.

В связи с этим **рабочей гипотезой** исследований является предположение о возможности повышения эффективности текстиль-бетона за счет использования полиминеральных композиционных вяжущих и суперабсорбирующих полимеров.

Деструктивные процессы в бетонах, такие как возникновение внутреннего напряжения, образование структурных микротрещин, изменение геометрических размеров и прочее, в основном вызваны усадочными явлениями цементного камня, что в большинстве случаев приводит к растрескиванию бетона. Особенно важное значение это имеет для тонкостенных армоцементов и текстиль-бетона. В общем виде усадочные деформации рядового бетона можно представить в виде схемы (рисунки 1).



**Рисунок 1** – Модель развития усадочных деформаций в рядовом бетоне при нормальных условиях окружающей среды

нию. Дальнейший рост усадочных деформаций в основном вызван контракцией цементной основы, обусловленной химической и аутогенной усадками, вследствие уменьшения объема продуктов гидратации и последующей усадкой при высыхании и карбонизации.

В основе механизма пластической усадки в цементных системах лежит образовавшееся вследствие быстрого испарения влаги отрицательное капиллярное давление, которое приводит к сжатию системы. Действие пластической усадки продолжается до достижения времени прорыва капиллярного давления, когда скорость испарения влаги превышает скорость миграции воды к поверхности бетона, в результате чего происходит локальное проникновение воздуха в систему. Сокращение пластической усадки возможно за счет снижения капиллярного давления посредством компенсации недостающей влаги.

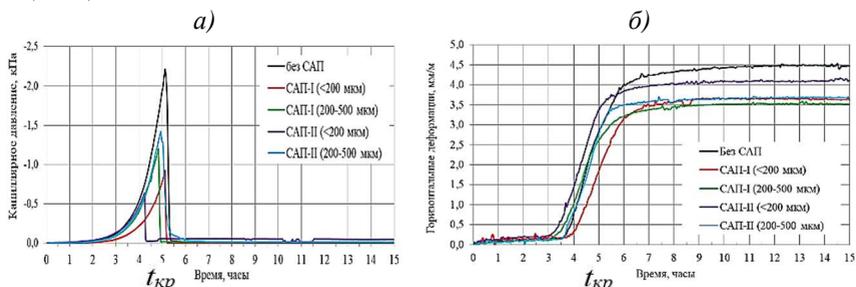
В настоящее время появляются новые классы добавок, которые, в том числе, решают ряд проблем, связанных с усадочными деформациями бетонов. Одними из таких добавок нового поколения являются суперабсорбирующие полимеры с высокой поглощающей способностью и последующей отдачей воды. САП являются сшитыми полиэлектролитами (полиакрилаты натрия), которые способны поглощать воду в количествах, значительно превышающих их собственную массу, образуя гель и сохраняя воду в своей структуре без растворения. Поглощение воды и набухание происходит в процессе перемешивания смеси. В работе исследовалось влияние добавок марки Floset разных модификаций и дисперсности (таблица 1) на цементное тесто в течение 15 часов после водозатворения, при двух режимах работы климатической камеры, имитирующей нормальные условия твердения (скорость испарения влаги  $0,25 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ) и жаркий климат ( $0,75 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ).

Резкое увеличение деформаций приходится на период затвердевания цементной матрицы в промежутке времени примерно с 4 до 10 часов. Эти деформации вызваны пластической усадкой еще незатвердевшей смеси вследствие быстрого испарения влаги с поверхности бетона, что приводит к нарушению структуры и образованию трещин, а в случае с тонкостенными изделиями из бетона – к их полному разрушению.

**Таблица 1** – Характеристики исследуемых САП

Модификация	Дисперсность, мкм	Обозначение
ВЗ	менее 200	САП-I (<200 мкм)
	от 200 до 500	САП-I (200-500 мкм)
129XB4N	менее 200	САП-II (<200 мкм)
	от 200 до 500	САП-II (200-500 мкм)

Анализ полученных результатов влияния вида и дисперсности САП на пластическую усадку в цементном камне показал, что во всех случаях введение добавок в количестве 0,3 % от массы цемента при В/Ц=0,5 способствовало значительному снижению отрицательного капиллярного давления в цементной системе и приводило к сокращению пластической усадки (рисунок 2). При этом, наибольший эффект по сокращению горизонтальных деформаций был достигнут при применении суперабсорбирующих полимеров модификации Floset ВЗ (дисперсности <200 мкм) в умеренном климате и составил 20 %, а Floset 129XB4N (дисперсности <200 мкм) в более жарком климате – 17 %. Также при определении динамики тепловыделения установлено, что САП не оказывают химического влияния на гидратацию цемента.

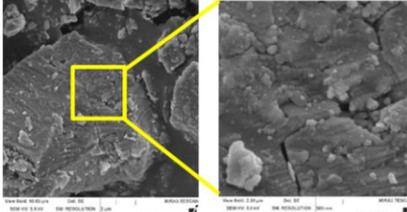


**Рисунок 2** – Кривые изменения капиллярного давления (а) и горизонтальных деформаций (б), при скорости испарения влаги 0,25 кг/(м<sup>2</sup>·ч)

Необходимо отметить, что при изучении влияния САП на физико-механические свойства цементного камня, выявлено незначительное снижение прочности. Для компенсации потери прочности и повышения сопротивляемости к деструктивным процессам на всем жизненном цикле бетона рассмотрена возможность применения полиминеральных композиционных вяжущих<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>В работе под композиционным вяжущим понимается вяжущее, полученное в результате совместного помола (обеспечивающего механоактивацию компонентов) портландцемента с одним или несколькими минеральными кремнеземистыми компонентами, с добавлением химических модификаторов, способствующих усилению имеющихся и приданию новых свойств конечных изделий.

Для получения композиционных вяжущих использовались отходы ММС железистых кварцитов Лебединского ГОКа и опоковидный мергель Хворостянского месторождения Белгородской области. Отходы ММС представляют собой подготовленный природно-техногенными процессами кремнеземсодержащий компонент с высокой свободной внутренней энергией, состоящий из кварца (67-70 %), железистых карбонатов (6-13 %), силикатов (9-12 %), гематита (6-11 %) и магнетита (2-6 %). Кварц железистых кварцитов различного генезиса имеет уникальные характеристики. Он состоит из трех разновидностей:



**Рисунок 3** – Дефектность частичек опоковидного мергеля

регионально-метаморфизованная (халцедоновидная), динамо-метаморфическая и контактово-метаморфическая генерации. Опоковидный мергель представлен кальцитом (40-45 %), цеолитом (20-25 %), опалом (22-30 %) и монтмориллонитом (5-25 %), который имеет дефектность кристаллической решетки (рисунок 3).

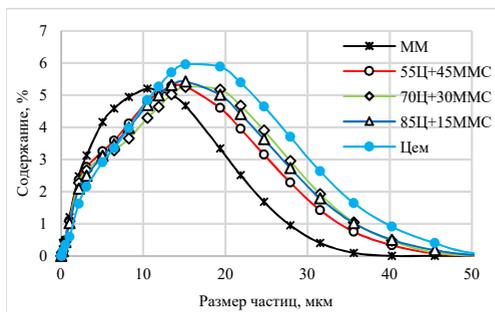
Определение гидравлической активности кремнеземсодержащих компонентов показало, что отходы ММС и опоковидный мергель отличаются большей активностью по сравнению с кварцевым песком, взятым за эталон (таблица 2).

**Таблица 2** – Гидравлическая активность кремнеземсодержащих компонентов

Кремнеземсодержащий компонент	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Активность по поглощению СаО (титрование), м <sup>2</sup> /г
Кварцевый песок	553	25,6
ММС	553	36,2
Мергель	551	74,4

Получение полиминеральных композиционных вяжущих осуществлялось путем совместного помола портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н и отходов ММС до удельной поверхности  $\approx 550$  м<sup>2</sup>/кг в вибрационной мельнице с последующим введением домолотого опоковидного мергеля (Суд  $\approx 700$  м<sup>2</sup>/кг), используемого в качестве минерального модификатора (ММ) (рисунок 4).

Оптимизация составов КВ осуществлялась с применением математического метода планирования эксперимента. В качестве варьированных факторов выступало содержание ММС в составе КВ (15, 30, 45 % от массы цемента) и содержание ММ (2, 3, 4 % от массы КВ). Выходным параметром служил предел прочности при сжатии. Для снижения значения В/В и повышения эффективности КВ использовался суперпластификатор Glenium-51.



**Рисунок 4** – Гранулометрия вяжущих систем в диапазоне от 0 до 50 мкм

Анализ полученных результатов позволил выявить оптимальные составы композиционных вяжущих (таблица 3), при которых достигаются максимальные значения выходного параметра. Так прирост прочности КВ-2 и КВ-3 на 28 суток твердения составил более чем 25 и 50 % соответственно, что

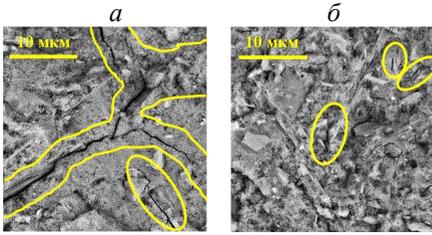
позволило скомпенсировать потери, вызванные САП.

**Таблица 3** – Составы разработанных полиминеральных композиционных вяжущих с добавлением суперпластификатора и их свойства

Обозначение	Цемент, %	ММС, %	Glenium-51, %	ММ, %	В/В	Рк., мм	Ср, пл., кг/м <sup>3</sup>	Rсж, МПа		
								3 сут	7 сут	28 сут
Цемент	100	-	0,9	-	0,32	100	2 110	24,08	38,68	49,63
КВ-1	55	45	1	2	0,26	100	2 080	17,29	27,12	34,79
КВ-2	70	30	0,95	3	0,25	100	2 210	41,13	50,19	63,1
КВ-3	85	15	0,9	4	0,24	100	2 270	53,52	64,46	75,64

В результате подбора оптимальной дозировки суперпластификатора было установлено снижение количества воды затворения, необходимого для достижения заданного расплыва конуса КВ, по сравнению с контрольным составом (цемент) (таблица 3). Это обусловлено использованием суперпластификатора Glenium-51 на основе поликарбоксилатного эфир-полимера, действие которого усиливается при увеличении дисперсности вяжущей системы. Также выявлено повышение водопотребности композиционных вяжущих с ростом доли отходов ММС в их составе. Это объясняется большей размолоспособностью отходов ММС по сравнению с цементом, в результате чего, при совместном помоле до заданной удельной поверхности, с увеличением содержания ММС растет доля частичек цемента большего размера, что приводит к снижению эффекта диспергирования, вызванного совокупностью действия электростатического и стерического (пространственного) отталкивания при вводе суперпластификатора.

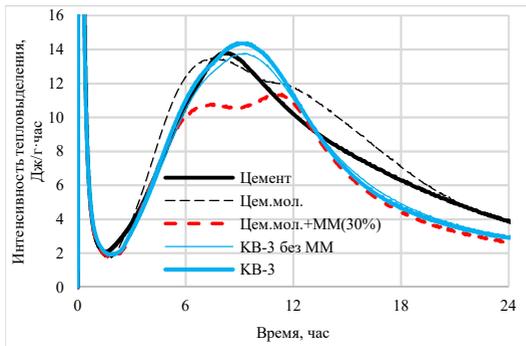
Дальнейшие исследования были направлены на изучение структуры гидратированного КВ и объяснение выявленных эффектов.



**Рисунок 5** – Характерные микротрещины в структуре цементного камня (а) и KB-3 (б)

При анализе микроструктуры образцов KB-3 наблюдалось значительное снижение количества образовавшихся микротрещин и их размеров по сравнению с цементным камнем (рисунок 5). Микротрещины не имеют ярко выраженной направленности и не пересекаются между собой. Тогда как трещины в цементном камне строго направлены и образуют сеть разветвлений. Выявленный характер дефектности структуры позволяет высказать предположение о повышении сопротивляемости полиминерального композиционного вяжущего к деструктивным процессам, вызванным особенностями твердения.

В связи с этим были изучены процессы гидратации и твердения разработанных полиминеральных композиционных вяжущих. Особенность гидратации KB и влияние полиминеральных компонентов устанавливались с точки зрения динамики тепловыделения (пяти-стадийный процесс гидратации), выраженной зависимостью  $dQ/dt=f(t)$  в начальный период твердения (до 24 ч.) с использованием дифференциального калориметра (рисунок 6).



**Рисунок 6** – Динамика тепловыделений исследуемых проб

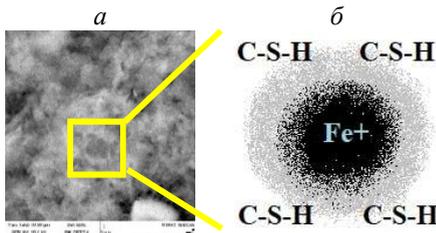
Домол цемента приводит к изменению характера гидратации и появлению на кривой динамики тепловыделения второго пика. Вероятно, это обусловлено запоздалой гидратацией основных клинкерных минералов в результате блокирования этрингитом и портландитом, которые интенсивно образуются на стадии ускорения тепловыделения. Введение в систему молотого цемента минерального модификатора способствует связыванию портландита и протеканию более полной гидратации  $C_3S$  и  $C_3A$ , что подтверждается уменьшением высоты первого пика и увеличением второго, с последующим резким спадом интенсивности выделяющегося тепла.

При анализе микроструктуры образцов KB-3 наблюдалось значительное снижение количества образовавшихся микротрещин и их размеров по сравнению с цементным камнем (рисунок 5). Микротрещины не имеют ярко выраженной направленности и не пересекаются между собой. Тогда как трещины в цементном камне строго направлены и образуют

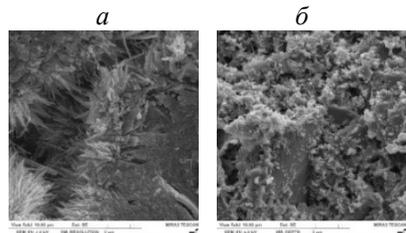
сеть разветвлений. Выявленный характер дефектности структуры позволяет высказать предположение о повышении сопротивляемости полиминерального композиционного вяжущего к деструктивным процессам, вызванным особенностями твердения.

С учетом вышесказанного и характера кривых динамики тепловыделения, можно заключить, что особенность гидратации полиминерального композиционного вяжущего заключается в создании условий для полной гидратации основных клинкерных минералов за счет участия активных минеральных компонентов, входящих в его состав.

Основываясь на знаниях о природе происхождения используемых компонентов КВ, дальнейшее нарастание структурной прочности композиционных вяжущих, предположительно, происходит за счет обеспечения последовательного роста новообразований при твердении системы «клинкерные минералы – опоквидный мергель – кварц различного генезиса – магнетит – гематит – вода – суперпластификатор». Последовательность твердения обусловлена разной интенсивностью и временем взаимодействия минеральной составляющей опоквидного мергеля, полигенетического кварца, магнетита и гематита с продуктами гидратации клинкерных минералов. Регионально-метаморфизованная (халцедоновидная) генерация кварца отходов ММС железистых кварцитов интенсивно связывает гидроксид кальция, а динамо-метаморфическая и контактово-метаморфическая разновидности выступают подложками и центрами кристаллизации. За счет высокого электростатического потенциала, железосодержащие (до 17 % атомарного веса оксида железа) магнетит и гематит притягивают гидросиликаты кальция, оказывая адсорбирующее действие и выступая подложками для новообразований (рисунок 7).



**Рисунок 7** – Адсорбирующее действие железосодержащих компонентов:  
*a* – микросъемка, *б* – принцип действия

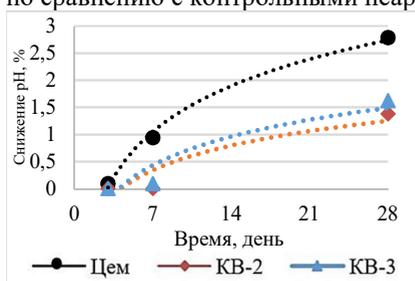


**Рисунок 8** – Морфология новообразований цемента (*a*) и КВ-3 (*б*)

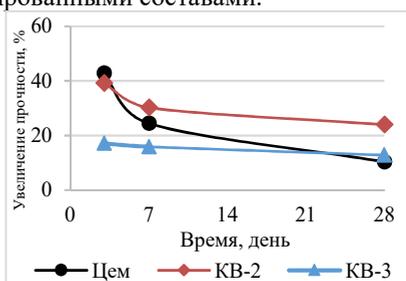
Анализ фотографий микроструктуры гидратированного цемента и КВ-3 на 28 суток показал, что новообразования в цементном камне представлены в виде частокола крупных игольчатых и пластинчатых форм (рисунок 8, *a*). В композиционном вяжущем новообразования высокодисперсные, плотно заполняют межпоровое пространство, отличаются особой плотностью и прочностью кластеров «вяжущее – наполнитель» (рисунок 8, *б*).

С учетом установленной особенности гидратации и предложенной феноменологической модели последовательного твердения КВ можно предполагать повышение сопротивляемости полиминерального композиционного вяжущего к деструктивным процессам, вызванным образованием и развитием микротрещин, за счет входящих в состав КВ минеральных компонентов, создающих армирующий эффект и участвующих в последовательном росте новообразований, отличающихся высокой дисперсностью и плотностью.

Определяющим фактором, влияющим на долговечность текстиль-бетона, является способность армирующих сеток длительное время сохранять свои свойства и обеспечивать совместную работу с бетоном. В связи с этим проведены исследования, которые позволили выявить снижение агрессивного воздействия щелочной среды композиционных вяжущих, по сравнению с цементом, на армирующие волокна из стекла (типа Е), путем определения разницы изменения рН водных вытяжек (рисунок 9) и динамики набора прочности (рисунок 10) образцов содержащих стекловолокно, по сравнению с контрольными неармированными составами.

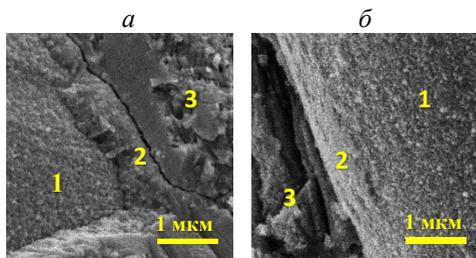


**Рисунок 9** – Разница изменения рН водных вытяжек, содержащих стекловолокно



**Рисунок 10** – Динамика набора прочности образцов, армированных стекловолокном

Разница изменения рН водных вытяжек образцов, содержащих стеклянные волокна и контрольных, является следствием развивающейся коррозии фибры, в результате которой продукты коррозии разбавляют щелочную систему. При этом, образовавшиеся продукты коррозии негативно сказываются на прочности цементного камня за счет снижения качества зацепления с цементной матрицей. Чем агрессивнее среда, тем быстрее развивается коррозия стекловолокна, и тем стремительней сокращается динамика набора прочности. Разработанные полиминеральные композиционные вяжущие демонстрируют тенденцию снижения агрессивного влияния, что также подтверждается микросъемкой поверхности стекловолокна, находящегося в течение 72 суток в цементном камне и КВ-3 (рисунок 11).



**Рисунок 11** – Контактная зона стекловолокна с цементным камнем (а) и КВ-3 (б) на 72 суток: 1 – стекловолокно, 2 – продукт коррозии, 3 – вяжущее

В результате щелочной агрессии на поверхности стекловолокна образуются нестойкие соединения адсорбционного типа, у которых впоследствии распадаются связи Si–O–Si с образованием рыхлой пленки. В результате действия растворов, гидроокиси кремнезема переходят в анионы  $\text{SiO}_4^{-4}$ ,  $\text{SiO}_5^{-2}$  и  $\text{SiO}_3^{-2}$ , скопление которых на поверхности стекловолокна выявлено мето-

дом энерго-дисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Следующим этапом исследований являлась разработка и изучение свойств бетонной смеси текстиль-бетона. С применением разработанных полиминеральных композиционных вяжущих, пластифицирующих добавок Реопласт ЛС-01 и Glenium-51, техногенных наполнителей (золы и микрокремнезема) и кварцевого песка ( $M_k=1,7$ ) проектировались составы текстиль-бетонов по расчетно-экспериментальной методике высокоплотных зерновых составов. Данная методика проектирования позволяет создавать высокоплотные составы бетонов, обладающие низкой закрытой пористостью<sup>2</sup>, и обеспечивает повышение реологических и технических свойств, за счет применения тонкодисперсных техногенных наполнителей.

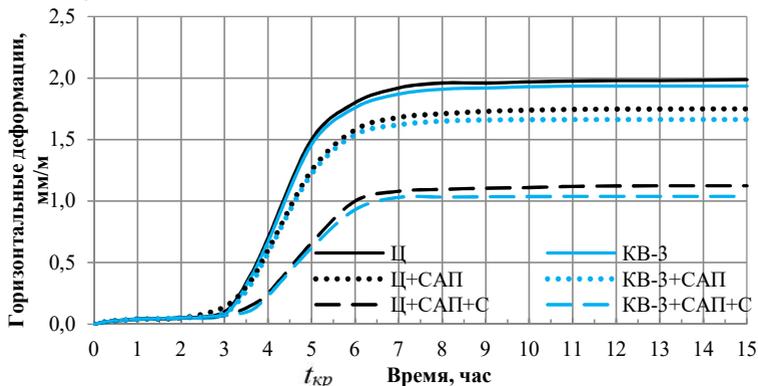
Были изучены усадочные характеристики разработанных равноподвижных составов бетонных смесей на портландцементе и полиминеральном композиционном вяжущем, а также влияние САП (Floset В3, дисперсности <200 мкм) и текстильной армирующей сетки на пластическую усадку в ранние сроки твердения (таблица 4).

**Таблица 4** – Исследуемые составы текстиль-бетонов на  $1 \text{ м}^3$ , кг

Обозначение Наименование	Ц	Ц +САП	Ц+САП +С	КВ-3	КВ-3 +САП	КВ-3+САП +С
Песок	1 242	1 242	1 242	1 352	1 352	1 352
Цемент	690	690	690	-	-	-
КВ-3	-	-	-	588	588	588
Зола	138	138	138	177	177	177
Микрокремнезем	42	42	42	39	39	39
Glenium-51	6,21	6,21	6,21	5,29	5,29	5,29
Вода	228	252,4	252,4	159	182,1	182,1
САП	-	1,035	1,035	-	0,882	0,882
Слоев сетки, шт	-	-	2	-	-	2

<sup>2</sup>Установленной по ГОСТ 10181-2014 с применением поромера.

Установлено, что введение САП во всех случаях приводит к сокращению горизонтальных деформаций, вызванных пластической усадкой (рисунок 12). При испытании в нормальных условиях (скорость испарения влаги  $0,25 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ) в первые 15 часов после водозатворения, составы на портландцементе и КВ-3 имеют практически равные значения горизонтальных деформаций. Однако, за счет особенностей гидратации и твердения полиминерального композиционного вяжущего в последующие сроки испытаний в затвердевшем бетоне наблюдается меньшее количество структурных дефектов.



**Рисунок 12** – Влияние компонентов текстиль-бетона на изменение горизонтальных деформаций, при скорости испарения влаги  $0,25 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

При сравнении результатов испытаний бетона и цементного камня (рисунок 2, б) наблюдается снижение горизонтальных деформации более чем в два раза. Это объясняется сдерживающим действием заполнителя и наполнителей при развитии пластической усадки бетона. Хорошо подобранное соотношение крупной и мелкой фракции сокращает размер капиллярных пор, предотвращает расслоение и образует каркас, препятствующий развитию объемных деформаций.

Как видно из графиков (рисунок 12), огромное значение в сдерживании усадочных деформаций в ранние сроки твердения играет текстильная армирующая сетка. При испытании в нормальных условиях два слоя армирующих сеток совместно с САП в составе текстиль-бетона на портландцементе и композиционном вяжущем более чем на 40 % сокращают горизонтальные деформации.

Таким образом, установлена возможность применения разработанных полиминеральных композиционных вяжущих с использованием отходов ММС и опоквидного мергеля в сочетании с САП для повышения эффек-

тивности текстиль-бетона за счет снижения деструктивных явлений в период схватывания, твердения и последующего формирования структуры материала. Эффективность применения КВ-2 и КВ-3 за счет компенсации прочности в бетоне с САП модификации В3 (дисперсности менее 200 мкм) составила 14 и 39 % соответственно, в сочетании с САП модификации FLOSET 129XB4N (дисперсности менее 200 мкм) – КВ-2 полностью компенсирует прочностью, тогда как КВ-3 на 30 % превосходит недостающую разницу.

Для внедрения результатов исследований разработаны следующие нормативные документы: стандарт организации СТО 02066339-001-2018 «Текстиль-бетон повышенной сопротивляемости деструктивным процессам»; рекомендации по приготовлению текстиль-бетона на основе композиционных вяжущих. Предложена технологическая схема производства изделий из текстиль-бетона с учетом технологических особенностей приготовления полиминеральных композиционных вяжущих. В зависимости от установленных закономерностей и рекомендаций разработаны составы для приготовления текстиль-бетона по двум основным способам (таблица 5, 6). Разработанные составы полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым СП 96.13330.2016 «СНиП 2.03.03-85 Армоцементные конструкции».

Для апробации разработанных составов текстиль-бетона на ряде строительных площадок по благоустройству городской агломерации Белгородской области, при строительстве здания «Института исследований внешней акустики», а также в рамках реализации проекта «Геосинтезированная архитектурная среда» для возведения «звуковой» перголы, заключен протокол о намерениях с ООО «Строительная Компания №1».

**Таблица 5** – Рекомендуемые составы для приготовления текстиль-бетона методом ламинирования и их эксплуатационные свойства

Состав <sup>3</sup>	Количество компонентов на 1 м <sup>3</sup> , кг							Класс по прочности на сжатие	Класс по прочности на осевое растяжение	Класс по средней плотности	Марка по морозостойкости	Марка по водонепроницаемости
	Песок Мк=1,7	КВ	Зола (К)	Микрокремнезем	Реопласт ЛС-01	Вода	САП – В3 (<200 мкм)					
ТБ-Ла-КВ2-30	1 233	685	176	29	10,28	245	1,028	В30	Вt 1,2	D2100	F200	W16
ТБ-Ла-КВ2-40	1 016	847	136	22	12,71	224	1,271	В40	Вt 1,6	D2200	F300	W18
ТБ-Ла-КВ3-30	1 352	588	196	43	8,82	187	0,882	В30	Вt 1,2	D2100	F200	W16
ТБ-Ла-КВ3-40	1 249	694	170	28	10,41	284	1,041	В40	Вt 1,6	D2200	F300	W18
ТБ-Ла-КВ3-50	982	893	118	19	13,4	324	1,34	В50	Вt 1,6	D2100	F400	W20

**Таблица 6** – Рекомендуемые составы для приготовления текстиль-бетона методом литья и их эксплуатационные свойства

Состав <sup>4</sup>	Количество компонентов на 1 м <sup>3</sup> , кг							Класс по прочности на сжатие	Класс по прочности на осевое растяжение	Класс по средней плотности	Марка по морозостойкости	Марка по водонепроницаемости
	Песок Мк=1,7	КВ	Зола (К)	Микрокремнезем	Glennium-51	Вода	САП – В3 (<200 мкм)					
ТБ-Ли-КВ2-45	1 233	685	159	35	6,51	222	1,028	В45	Вt 1,6	D2100	F400	W20
ТБ-Ли-КВ2-55	825	1 031	112	20	7,84	363	1,547	В55	Вt 2	D2300	F500	W22
ТБ-Ли-КВ3-45	1 352	588	177	39	5,29	182	0,882	В45	Вt 1,6	D2100	F400	W20
ТБ-Ли-КВ3-55	1 110	793	143	29	7,14	335	1,19	В55	Вt 2	D2200	F500	W22
ТБ-Ли-КВ3-60	866	962	129	27	8,66	379	1,443	В60	Вt 2	D2300	F500	W22

<sup>3</sup>«ТБ» – текстиль-бетон, «Ла» – приготовление методом ламинирования, «КВ» – вид разработанного вяжущего, «30» – класс по прочности на сжатие.

<sup>4</sup>«ТБ» – текстиль-бетон, «Ли» – приготовление методом литья, «КВ» – вид разработанного вяжущего, «45» – класс по прочности на сжатие.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Итоги выполненного исследования.** Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения эффективности текстиль-бетона за счет применения суперабсорбирующих полимеров и использования полиминеральных композиционных вяжущих, полученных путем совместного помола портландцемента и отходов ММС и последующим введением опоковидного мергеля, используемого в качестве минерального модификатора.

Расширены представления об усадочных явлениях в цементных системах и предложена общая модель усадочных деформаций.

Установлен характер влияния САП на пластическую усадку в цементном камне в зависимости от вида и дисперсности суперабсорбирующих полимеров, заключающийся в снижении отрицательного капиллярного давления посредством водоотдачи САП, что способствует сокращению усадочных деформаций еще незатвердевшей системы и, как следствие, снижению количества деструктивных процессов на первоначальном этапе формирования структуры. Среди используемых САП наибольший эффект сокращения горизонтальных деформаций был достигнут применением модификации Floset B3 (дисперсности менее 200 мкм) при испытании в нормальных условиях твердения и составил 20 %, а для модификации Floset 129XB4N (дисперсности менее 200 мкм) в более жарком климате – составил 17 %.

Выявлена особенность гидратации и предложена феноменологическая модель твердения системы полиминерального композиционного вяжущего «портландцемент – опоковидный мергель – отходы ММС», заключающаяся в последовательном росте новообразований системы «глиноземные минералы – опоковидный мергель – кварц различного генезиса – магнетит – гематит – вода – суперпластификатор». Последовательность твердения обусловлена разной интенсивностью и временем взаимодействия минеральной составляющей мергеля, полигенетического кварца и железосодержащих компонентов с продуктами гидратации глиноземных минералов, что объясняет повышение сопротивляемости КВ к деструктивным процессам, вызванным образованием и развитием микротрещин, за счет входящих в состав КВ минеральных компонентов, создающих армирующий эффект и участвующих в последовательном росте новообразований, отличающихся высокой дисперсностью и плотностью.

Установлен характер синергетического действия полиминеральных композиционных вяжущих и САП на формирование структуры текстиль-бетона, заключающийся в повышении сопротивляемости бетонной матрицы деструктивным процессам, вызванным пластической усадкой и трещинообразованием в период схватывания и твердения, а также снижении

щелочной агрессии по отношению к стеклянным волокнам армирующей сетки за счет использования разработанных КВ, что в дальнейшем благоприятно сказывается на долговечности текстиль-бетона.

Разработаны составы для приготовления текстиль-бетона на основе полиминеральных композиционных вяжущих и САП с использованием расчетно-экспериментальной методики высокоплотных упаковок. Разработанные составы полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым СП 96.13330.2016 «СНиП 2.03.03-85 Армоцементные конструкции»: классу по прочности на сжатие В30-60, классу по прочности на осевое растяжение Вt1,2-2, классу по средней плотности D2100-2300, маркам по морозостойкости F200-500 и маркам по водонепроницаемости W16-22. Предложены рекомендации по изготовлению текстиль-бетона и технологическая схема производства изделий на его основе с учетом технологических особенностей приготовления полиминеральных композиционных вяжущих.

Для внедрения результатов исследований разработаны следующие нормативные документы: стандарт организации СТО 02066339-001-2018 «Текстиль-бетон повышенной сопротивляемости деструктивным процессам»; рекомендации по приготовлению текстиль-бетона на основе композиционных вяжущих. На составы текстиль-бетонов зарегистрировано ноу-хау (№20180024 от 10.07.2018 г.). Заключен протокол о намерениях с ООО «Строительная Компания №1» по внедрению разработанных составов текстиль-бетона на ряде строительных площадок по благоустройству городской агломерации Белгородской области, при строительстве здания «Института исследований внешней акустики», а также в рамках реализации проекта «Геосинтезированная архитектурная среда» для возведения «звуковой» перголы.

Внедрение результатов диссертации в учебно-методический процесс осуществляется при выполнении аудиторной и самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению «Строительство» бакалавриата и магистратуры в ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы могут быть **рекомендованы** для внедрения при строительстве объектов сложной конфигурации с повышенной архитектурной выразительностью, решающих задачи по улучшению среды обитания человека, а также в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Строительство» и «Химическая технология».

**Перспективы дальнейших исследований** могут быть направлены на расширение возможностей и сферы применения бетонов, используемых для создания комфортной среды обитания человека за счет новых подходов и приемов при проектировании и синтезе строительных материалов.

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Попов, Д.Ю.** Химическая усадка на ранней стадии твердения [Текст] / Д.Ю. Попов, В.С. Лесовик, В.С. Мещерин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №8. – С. 6-12. (0,875/0,29 п.л.)
2. **Попов, Д.Ю.** Влияние суперабсорбирующих полимеров на пластическую усадку цементного камня [Текст] / Д.Ю. Попов, В.С. Лесовик, В.С. Мещерин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №11. – С. 6-12. (0,875/0,29 п.л.)
3. Лесовик, В.С. Текстиль-бетон – эффективный армированный композит будущего [Текст] / В.С. Лесовик, **Д.Ю. Попов**, Е.С. Глаголев // Строительные материалы. – 2017. – №3. – С. 81-84. (0,5/0,17 п.л.)
4. Лесовик, В.С. Повышение эффективности текстиль-бетона / В.С. Лесовик, **Д.Ю. Попов** // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4 (33). – С. 10-16. (0,875/0,438 п.л.)
5. **Попов, Д.Ю.** Состояние и перспективы применения текстиль-бетона / Д.Ю. Попов // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 3. – С. 51-57. (0,875/0,875 п.л.)

### В зарубежных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science:

6. Lesovik, V.S. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works [Текст] / V.S. Lesovik, I.L. Chulkova, L.K. Zagordnyuk, A.A. Volodchenko, **D.Y. Popov** // Research Journal of Applied Sciences. – 2014. – № 9. – P. 1100-1105. (0,75/0,15 п.л.)
7. Lesovik, V.S. Textile-reinforced concrete with the use of composite binder based on new types of mineral raw materials [Электронный ресурс] / V.S. Lesovik, E.S. Glagolev, **D.Y. Popov**, G.A. Lesovik, M.S. Ageeva // Materials Science and Engineering. 2018. (ISSN: 327-032033). Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/327/3/032033>

### Публикации в других изданиях:

8. Lesovik, R.V. Textile Fiber Concrete on the basis of Composite Binding Materials [Текст] / R.V. Lesovik, M.S. Ageeva, Yu.V. Pukharenko, G.A. Lesovik, **D.Y. Popov** // 19-te Internationale Baustofftagung «ibausil» 16-18 September 2015. F.A. Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar, Tagungsbericht – Band 2, Bundesrepublik Deutschland, Weimar, 2015. S. 1167 – 1171. (0,313/0,063 п.л.)
9. Лесовик, В.С. Практика использования закона сродства структур для проектирования эффективных композитов [Текст] / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, **Д.Ю. Попов**, Е.С. Глаголев // Научные технологии и

инновации (XXI научные чтения): сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 9–10 окт. 2014 г. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – Ч. 3. – С. 156-163. (0,5/0,125 п.л.)

10. Лесовик, В.С. Изучение основных моментов в создании текстиль-бетона [Текст] / В.С. Лесовик, **Д.Ю. Попов**, Danilo Nicke // Научно-технологические инновации (XXI научные чтения): сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 9–10 окт. 2014 г. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – Ч. 3. – С. 237-241. (0,313/0,104 п.л.)

11. **Попов, Д.Ю.** Композиционные вяжущие для получения самоуплотняющихся мелкозернистых декоративных бетонов [Текст] / Д.Ю. Попов, Ю.В. Дёгтев, Р.В. Лесовик, М.Ю. Елистраткин, З.Г. Магомедов, Хао Цзинь-цян // Эффективные строительные композиты: сб. трудов науч.-практ. конф. к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова 2015. – С. 514-522. (0,563/0,092 п.л.)

12. **Попов, Д.Ю.** К вопросу химической усадки цементных композитов [Текст] / Д.Ю. Попов, В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, V. Mechtcherine // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: в 3 ч. Белгород, 15-16 марта 2016 г. – Белгород: изд-во БГТУ, 2016. – Ч.3. – С. 15-21. (0,438/0,11 п.л.)

13. Лесовик, Р.В. Особенности получения текстиль-бетонов [Текст] / Р.В. Лесовик, М.С. Агеева, А.С. Никулина, А.А. Матюхина, **Д.Ю. Попов** // Научно-технологические инновации (XXII научные чтения): сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 6–7 октября 2016 г. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – Ч. 3. – С. 232-235. (0,25/0,05 п.л.)

14. **Попов, Д.Ю.** Сокращение пластической усадки в цементных материалах на ранней стадии твердения [Текст] / Д.Ю. Попов, В.С. Лесовик, В.С. Мещерин, Е.С. Глаголев // Научно-технологические инновации (XXII научные чтения): сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 6–7 октября 2016 г. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – Ч. 3. – С. 318-323. (0,375/0,094 п.л.)

15. **Попов, Д.Ю.** К проблеме определения химической усадки цементных материалов [Электронный ресурс] / Д.Ю. Попов // Международный студенческий строительный форум – 2016 (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): эл. сб. докл. Междунар. студ. строит. форума

– 2016, Белгород, 24 ноября 2016 г. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – С.769-774.

16. **Попов, Д.Ю.** Эффективность использования текстиль-бетона в строительстве [Электронный ресурс] / Д.Ю. Попов, В.С. Лесовик, Е.С. Глаголев // «Фундаментальные основы строительного материаловедения: международный онлайн конгресс. 6-11 октября 2017, г. Белгород», Белгород. 2017, 7 с. 1 электрон. опт. диск (CD-R).

17. **Попов, Д.Ю.** К проблеме трещинообразования цементных систем [Электронный ресурс] / Д.Ю. Попов, В.С. Лесовик // «Фундаментальные основы строительного материаловедения: международный онлайн конгресс. 6-11 октября 2017, г. Белгород», Белгород. 2017, 7 с. 1 электрон. опт. диск (CD-R).

18. **Попов, Д.Ю.** Армирование композитов, созданных с учетом закона сростка структур [Электронный ресурс] / Д.Ю. Попов, Д.С. Махортов, Г.А. Ротарь // «Фундаментальные основы строительного материаловедения: международный онлайн конгресс. 6-11 октября 2017, г. Белгород», Белгород. 2017, 7 с. 1 электрон. опт. диск (CD-R).

19. Першина, И.Л. Проектная модель структуры для создания специфической акустической среды [Электронный ресурс] / И.Л. Першина, **Д.Ю. Попов**, Д.А. Дегтярев // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской науч.-практ. конф., СПбГАСУ. – СПб., 2018. – с. 134-139. Режим доступа: [https://www.spbgasu.ru/upload-files/nauchinnovaz/konferenzii/bimconf\\_2018.pdf](https://www.spbgasu.ru/upload-files/nauchinnovaz/konferenzii/bimconf_2018.pdf)

#### **Ноу-хау:**

20. Ноу-хау № 20180024. Текстиль-бетон на композиционном вяжущем / Лесовик В.С., **Попов Д.Ю.**, Ряпухин А.Н.; правообладатель – БГТУ им. В.Г. Шухова; дата регистрации – 10.07.2018 г.

## **ПОПОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКСТИЛЬ-БЕТОНА**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

#### **АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

---

Формат 60x84/16. Усл.-печ. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ № 301

Подписано в печать 19.10.2018 г.

Отпечатано в типографии БГТУ им. В.Г. Шухова