

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2021, №2, Том 8 / 2021, N 2, Vol. 8 <https://t-s.today/issue-2-2021.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/04SATS221.pdf>

DOI: 10.15862/04SATS221 (<http://dx.doi.org/10.15862/04SATS221>)

Разработка и исследование цементных и полимерных композитов для ремонта мостового сооружения

¹Ерофеев В.Т., ²Бондарев Б.А., ³Круглов В.М., ⁴Гаврилов М.А., ¹Родин А.И.,
¹Ерофеева И.В., ²Бондарев А.Б., ¹Филатов А.В., ¹Мартынов А.А., ²Востриков И.А.

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия

²ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия

³ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия

⁴ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства», Пенза, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ерофеев Владимир Трофимович, e-mail: AL_Rodin@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке технологии и исследованию строительных смесей, предназначенных для ремонта поврежденных конструкций мостового сооружения. В ней представлены результаты исследования композитов, изготавливаемых на основе цементных и полимерных вяжущих. Показано, что основными факторами, влияющими на долговечность конструктивных элементов гидротехнических сооружений, являются как динамические и подвижные нагрузки от воздействия автотранспорта, так и химические воздействия от примесей, содержащихся в воде, проходящей через сооружение и биологические воздействия от бактерий и мицелиальных грибов. Ранее в статье «Особенности оценки эксплуатационной надежности мостов в составе гидротехнических сооружений» приведены результаты обследования гидротехнического сооружения, выявлены различные дефекты и повреждения: трещины, сколы, шелушения и т. д. В данной статье для устранения подобных дефектов предложены составы лакокрасочных, мастичных смесей и каркасных полимербетонов. Для ремонта конструкций со значительными

повреждениями предложено использование порошково-активированных бетонов. В процессе экспериментальных изысканий были установлены составы цементных и полимерных бетонов с улучшенными прочностными и другими свойствами, рекомендуемые для применения в условиях действия силовых нагрузок, химических и биологических агрессивных сред. Рекомендовано использование в качестве вяжущих биоцидных цементов. Приводятся технологические операции по проведению ремонтных работ с помощью цементных и полимерных смесей. Практическое использование разработанных композитов целесообразно в том числе и в ходе устранения дефектов конструкций гидротехнических сооружений, находящихся на открытом воздухе в зонах с циклическими изменениями температур и влажности.

Ключевые слова: полимерные композиты; лакокрасочные составы; мастика; порошково-активированные бетоны; биоцидные вяжущие; мостовые сооружения; ремонт; прочность; биостойкость; климатическая стойкость

Development and research of cement and polymer composites for bridge structure repair

¹Vladimir T. Erofeev, ²Boris A. Bondarev, ³Valerij M. Kruglov,
⁴Mihail A. Gavrilov, ¹Aleksandr I. Rodin, ¹Irina V. Erofeeva, ²Alexandr B. Bondarev,
¹Andrej V. Filatov, ¹Andrej A. Martynov, ²Ilya A. Vostrikov

¹National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

²Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

³Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

⁴Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Corresponding author: Vladimir T. Erofeev, e-mail: AL_Rodin@mail.ru

Abstract. The article is dedicated to the construction mix technology development and the study intended for the bridgework damaged structures repair. It presents the results of a study of composites made on the concrete and polymer binders basis. It is shown that the main factors affecting the hydraulic structures' structural elements' durability are both dynamic and mobile loads from the effects of the vehicles, and chemical effects from impurities contained in the water passing through the structure as well as biological effects from bacteria and filamentous fungi. Previously in the article "Bridges maintainability evaluation peculiarities as part of hydraulic structures" were given hydraulic structures inspection results, found various defects and damages: cracks, chips, peeling, etc. In this article, to eliminate such defects were proposed the compositions of varnish-and-paint, mastic mixtures, and resin concrete. For the structure's repair with

significant damage, were proposed powder-activated concrete use. In the experimental research process, the cement and polymer concrete compositions with improved strength and other properties recommended for use in power loads conditions, chemical and biological aggressive media, were established. Recommended for use as binders for biocidal cement. Presented technological operations for repair work using cement and polymer mixtures. The developed composites' practical use is advisable, including in the structural defects elimination course in hydraulic structures located outdoors in zones with thermal and humidity cycling.

Keywords: polymer composites; varnish-and-paint compositions; mastic; powder-activated concrete; biocidal binders; bridge structures; repair; strength; biostability; climatic resistance

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons "Attribution" («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons "Attribution" 4.0 Global License



Введение

Introduction

В зависимости от характера и тяжести повреждений, а также результатов инструментальных исследований рекомендуются различные ремонтные мероприятия сооружений с применением различных технологий восстановления с помощью бетонных матриц и защитных покрытий на основе полимерных композиционных материалов [1–10]. Инновационными являются разработки в области создания самовосстанавливающихся бетонов [11; 12]. В настоящее время для устранения дефектов большого размера в виде сколов, отслоений применяются растворы или мелкозернистые цементные смеси, а для ремонта незначительных повреждений (оголение арматуры, трещины и расслоения бетона на глубину до 100 мм, морозные разрушения в зонах деформационных швов конструкций) рекомендуются полимерные составы на основе синтетических смол [13–19].

Из различных разновидностей цементных бетонов эффективно применение порошково-активированных бетонов с высокими показателями стойкости в условиях воздействия циклически действующих температурно-влажностных факторов, в том числе с улучшенными биоцидными свойствами [14; 19–21].

Физико-химические исследования порошково-активированных песчаных бетонов нового поколения, включающие в своем составе пластификаторы, реакционно- и реологически активные добавки, по сравнению с традиционными бетонами подтвердили эффекты повышения прочности, плотности и стойкости за счет увеличения степени гидратации клинкерных минералов цемента [14; 17–21].

Важнейшей задачей, учитываемой при проектировании зданий и сооружений, является модернизация методов расчета, учитывающих распространение волн напряжения, формируемых динамической нагрузкой [22]. Бетоны и покрытия по ним в зависимости от условий эксплуатации часто подвергаются механическим нагрузкам динамического характера, при которых материал реагирует как упругое, а при длительно действующих напряжениях проявляется пластическая деформация. Такой тип поведения характерен и для мелкозернистых бетонов при динамическом нагружении [14].

К защитным покрытиям, используемым для ремонта железобетонных и других конструкций, предъявляются различные требования – покрытие должно быть прочным; стойким к агрессивной среде; иметь хорошее сцепление с защищаемой поверхностью [8; 9; 14]. Тип покрытия выбирается исходя из конкретных условий эксплуатации и степени

разрушения конструкции. Защитные покрытия в зависимости от толщины могут быть тонкослойными и толстослойными: лакокрасочные, мастичные, полимербетонные, листовые. Для ненаполненных модифицированных композиций важным является обеспечение требуемой вязкости и других технологических свойств. В наполненных составах при введении наполнителей не должно возникать нежелательных реакций на контакте со связующим.

Лакокрасочные составы применяются в виде лаков, эмалей, грунтовок. Лаки – это растворы пленкообразующих в органических растворителях, после высыхания образуют твердую блестящую пленку. Эмали – растворы пленкообразующих в органических растворителях с добавкой пластификатора, пигмента и наполнителя, наносят в несколько слоев. Как правило, лакокрасочные покрытия по строительным конструкциям формируются из синтетических смол, пластификаторов, отвердителей, красящих веществ. Красителями называют вещества, способные растворяться в пленкообразующем, а нерастворимые относятся к пигментам. Лакокрасочные покрытия получают путем нанесения на защищаемую поверхность грунтованного, основного и покрывного слоев составами на основе синтетических смол. Толщина покрытий, как правило, составляет около 200 мк. Мастичные композиции включают в своем составе различные наполнители. При этом они в зависимости от количественного содержания наполнителя различаются на наливные и высоконаполненные. Наливные используют для изготовления покрытий, не подвергающимся высоким нагрузкам, а высоконаполненные – в покрытиях, испытывающих ударные и истирающие нагрузки. Для повышения стойкости лакокрасочные покрытия могут быть армированы тканями (стеклотканью и др.) и волокнами. Мастичные покрытия формируют толщиной до 2 мм. Для изготовления толстослойных покрытий, испытывающих значительные нагрузки, используют полимербетоны. В этом случае эффективны ударопрочные каркасные полимербетоны [8; 9].

В работах [8; 13; 23] показано, что при условии наличия относительно незначительных повреждений конструкций гидротехнического сооружения, а также по отремонтированным поверхностям с помощью бетонов, целесообразно применять составы с повышенной химико-биологической стойкостью, в том числе на основе отходов химического и строительного производств, изготовленные методом литьевого формования, а более значительные дефекты – глубиной порядка 20–30 мм целесообразно ремонтировать с помощью каркасных композитов.

В настоящей статье приводятся сравнительный анализ составов различного типа, результаты исследования цементных и полимерных систем, выполнена оптимизация их составов для обеспечения их технологических свойств и долговечности в условиях воздействия силовых

нагрузок. Также приведены рекомендации по применению тех или иных составов в зависимости от степени повреждения бетона и арматуры в конструктивных элементах гидротехнического сооружения. Данная работа выполнялась авторами в течение более чем десяти лет.

Цель и задачи

Purpose and objective

Цель исследований состояла в разработке технологии и исследовании составов композитов на цементных и полимерных связующих для ремонта мостовых конструкций и гидротехнических сооружений.

1. Разработка модифицированных эпоксидных композитных материалов лакокрасочного типа и оценка возможности их применения для ремонта повреждений мостовых конструкций гидротехнического сооружения.
2. Достижение улучшения свойств ремонтных полимерных составов при введении волокнистых наполнителей асбестоцементного производства и оценка их использования качестве грунтовок и/или финишного покрытия для устранения дефектов защитного слоя бетона и обнажение арматуры вследствие этого.
3. Обоснование достижения улучшения свойств мелкозернистых бетонов посредством порошковой активации и оценка их эффективности применения для ремонта крупных дефектов в конструкциях мостовых сооружений.
4. Разработка составов материалов на основе цементных и полимерных связующих с высокими показателями статической и динамической прочности, демпфирующих свойств.
5. Исследование влияния на физико-механические свойства цементных ремонтных составов биоцидных вяжущих и фунгицидных модификаторов.
6. Установление технологических свойств цементных и полимерных композитов с целью получения составов для ремонта мостовых конструкций.
7. Разработка технологии производства ремонтных работ с использованием порошково-активированных бетонов и модифицированных ненаполненных и высоконаполненных полимерных составов.

Материалы и методы

Materials and methods

При проведении исследований рассматривались образцы из цементных и полимерных композитов.

В качестве вяжущих при изготовлении цементных композитов применялись цементы различных производителей, относящиеся к бездобавочным: ООО «Ульяновскцемент», ПАО «Мордовцемент», ООО «Красноярский цемент». Для получения опытной партии биоцидных цементов вяжущие изготавливали посредством совместного измельчения цементного клинкера, двухводного гипса и биоцидного препарата (Na_2SO_4 , NaF, ПГМГ-С) до достижения $S_{уд}$ продукта 2900–3000 $\text{см}^2/\text{г}$.

В качестве пластифицирующих добавок рассматривались следующие материалы: суперпластификатор нового поколения (ГП) серии «Melflux» – «Melflux 1641F» на основе поликарбоксилатных эфиров (производитель – компания Degussa Construction Polymers, SKW Trostberg, Германия); комплексная добавка – суперпластификатор «Хидетал ГП-9γ» (производитель – ООО «УК ГП СКТ-Стандарт», г. Коломна). Также относится к пластификаторам последнего поколения поликарбоксилатного типа. Применение данного суперпластификатора обеспечивает длительную сохраняемость подвижности бетонной смеси, что является важным при перевозке ее на дальние расстояния.

Реологически активным наполнителем служила каменная мука, приготовленная помолом в лабораторной шаровой мельнице. Для изготовления каменной муки применяли микрокварц Липецкого горнообогатительного комбината (ЛГОК), $S_{уд}$ 3400 $\text{см}^2/\text{г}$.

В качестве реакционно-химических пуццолановых добавок использовали липецкие порошкообразные конденсированные микрокремнеземы: с удельной поверхностью 5500 $\text{м}^2/\text{г}$ и насыпной плотностью 175 $\text{кг}/\text{м}^3$; с удельной поверхностью 5100–6500 $\text{м}^2/\text{кг}$, насыпной плотностью 170 $\text{кг}/\text{м}^3$ с содержанием SiO_2 не менее 88 % [24].

В полимерных композициях вяжущим служила диановая эпоксидная смола марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84). Отверждение составов осуществлялось полиэтиленполиамином. Лакокрасочные составы изготавливались на основе модифицированных кремнийорганическим лаком эпоксидных композиций. Для этого применялся кремнийорганический лак марки КО-992. Мастичные составы формировались на основе модифицированной эпоксидной смолы ЭД-20 и асбестосодержащих наполнителей. В качестве последних рассматривались как отходы химического и строительного производств, так и природного происхождения, а именно кварцевый песок, тонкодисперсные отходы

строительного производства – молотый шифер (далее – ТДОСП), волокнистые отходы химического производства (далее – ВОХП), а также природный материал серпентин.

При проведении испытаний материалов использовали современные и гостированные методы. Технологические свойства цементов и прочность цементного камня определялись в соответствии с ГОСТ 310.3–76, ГОСТ 30744–2001, ГОСТ 310.6–85. Наряду с указанными методами исследований также применялись рентгенофазовый, термические (термогравиметрия, дифференциальная термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия), а также биологические методы (отпечатков, изъятия проб, определения грибостойкости и фунгицидности по ГОСТ 9.049–91).

Исследование демпфирующих свойств осуществляли резонансным методом путем испытания консольно закрепленных образцах размером 40×40×160 мм при колебаниях с постоянной амплитудой вынуждающей силы. По значениям резонансного пика определяли логарифмический декремент колебаний (δ).

Испытания на удар осуществляли по методу ASTM D 7126 [14] с применением вертикального копра Coesfeld. Во время испытаний регистрировали и рассчитывали глубину отпечатка, размеры и площадь зоны повреждения, энергию удара, величину импульса ударника, при котором происходило разрушение образца.

Химическое сопротивление материалов устанавливали по изменению прочности после определенного времени экспозиции образцов в агрессивной среде согласно ГОСТ 25881-83. Коэффициент химической стойкости определяли согласно следующей формулы: $K_{СТ} = \sigma_t / \sigma_0$ (где σ_t – предел прочности образцов после выдерживания в агрессивной среде в течение времени t , МПа; σ_0 – предел прочности контрольных образцов, МПа).

При исследовании химической стойкости концентрации растворов азотной кислоты принималось с учетом последующей возможности из применения при устройстве защитных покрытий строительных конструкций и технологического оборудования [25].

Краевой угол смачивания композиций определяли при помощи «метода неподвижной капли».

Для подбора рациональных составов материалов применяли математические методы планирования эксперимента. С целью выявления достоверных данных проводили статистическую обработку результатов: устанавливали средние значения свойств и коэффициент их изменчивости.

Математическую обработку и анализ результатов исследований проводили с использованием ЭВМ и программных комплексов.

Результаты и обсуждение

Results and discussion

1. Исследование лакокрасочных и мастичных составов на основе эпоксидных композиций

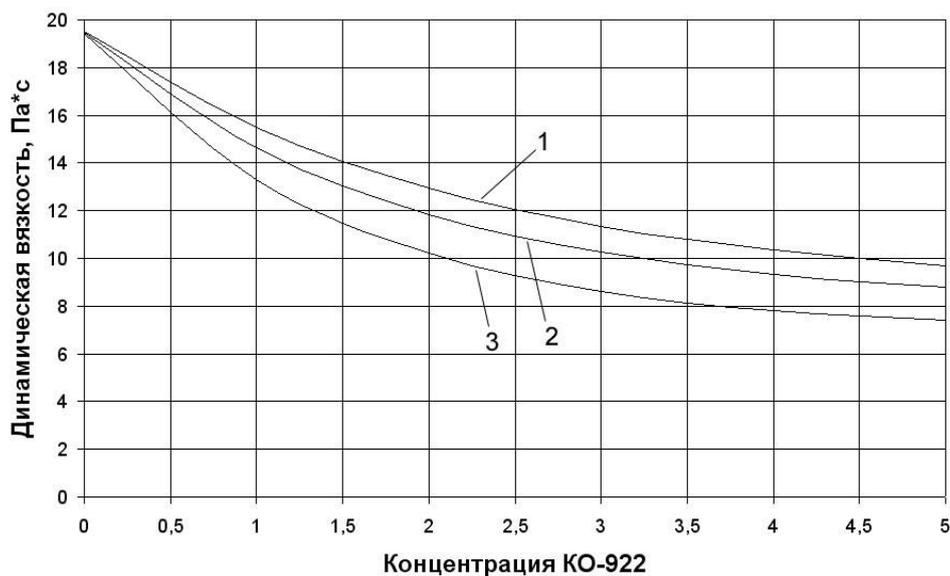
1. Varnish-and-paint and mastic compositions research on epoxy composition bases

При создании монолитных материалов с улучшенными физико-механическими показателями важно обеспечивать хорошее смачивание поверхности наполнителя полимерным связующим и улучшение пластично-вязких свойств последних посредством их модификации.

С увеличением содержания наполнителя в полимерных материалах уменьшается их текучесть. Эффективным методом уменьшения вязкости полимерных составов является введение добавок пластифицирующего типа. В этом случае происходит улучшение технологических свойств и расширение интервала высокоэластичного состояния полимерных композитов. В работе проводилась модификация эпоксидной смолы кремнийорганическим лаком КО-922 в составах наполненных асбестосодержащими наполнителями [25]. Полученные данные изображены на рисунке 1.

Из графических зависимостей следует, что уменьшение динамической вязкости композиций при наибольших концентрациях добавки КО-992 составляет от 48 до 61 %. Из результатов исследований следует, что при постоянных значениях степени наполнения для всех составов более заметное влияние на вязкость смеси оказывает дисперсность наполнителя. При проведении исследования дисперсность для ТДОСП составляла 5100 см²/г, для ВОХП – 4000 см²/г, для серпентина – 4400 см²/г.

Механизм пластификации от добавления КОЖ объясняется тем, что они оказывают разрушающее действие на крупные надмолекулярные соединения в эпоксидной матрице, что ведет к формированию более мелких кластеров вследствие уменьшения энергетического потенциала на его поверхности [25].



1 – состав с ВОХП; 2 – то же с серпентином; 3 – то же с ТДОСП

1 – composition with chemical production fibered waste; 2 – the same with serpentine; 3 – the same with finely dispersed construction debris

Рисунок 1. Изменение динамической вязкости эпоксидных композиций от содержания кремнийорганической добавки (разработано авторами)

Figure 1. Change in the epoxy compositions dynamic viscosity from the organosilicon additives content (developed by the authors)

Вибрационные и динамические нагрузки являются одним из основных факторов воздействия на гидротехнические сооружения.

Из многих структурообразующих факторов преобладающее влияние на демпфирующие и другие свойства полимерных материалов оказывает показатель «полимер-наполнитель» и степень сшивки композита. Улучшение демпфирующих свойств композитов достигается при их армировании дисперсной арматурой.

Результаты исследования демпфирующих свойств эпоксидных композитов без модификатора и составов наполненных асбестосодержащими наполнителями свидетельствуют о различных эффектах (табл. 1).

Из результатов исследований видно, что логарифмический декремент колебаний ненаполненного состава составил 0,137. Добавление в состав композитов тонкодисперсных волокнистых наполнителей улучшает демпфирующие свойства материала.

Строительные изделия в мостовых сооружениях испытывают влияние ударных нагрузок, которые приводят к их преждевременному разрушению. При проведении исследований ударной прочности были рассмотрены выше приведенные составы.

Таблица 1 / Table 1

Составы и результаты испытаний
Compositions and test results

№ состава Composition number	Состав, мас. ч. Composition, wt. h.	Плотность ρ , г/см ³ Density ρ , g/cm ³	Прочность на сжатие R , МПа Compression strength R , MPa	Логарифмический декремент колебаний δ Logarithmic vibration decrement δ	Максимальная контактная сила, Н Maximum contact force, N	Продолжительность контакта, мс Contact period, ms	Величина импульса, соответствующего разрушению образцов, Н·мс Impulse size corresponding to the samples decaying, N·ms
2	эпоксидная смола – 100 epoxide resin – 100 полиэтиленполиамин – 10 polyethylene polyamine – 10 кварцевый песок – 100 high-silica sand – 100	1,67	142,1	0,105	3333	0,47	392,9
3	эпоксидная смола – 100 epoxide resin – 100 полиэтиленполиамин – 10 polyethylene polyamine – 10 ТДОСП – 100 finely dispersed construction debris – 100	1,55	139,4	0,144	5499	0,52	714,7
4	эпоксидная смола – 100 epoxide resin – 100 полиэтиленполиамин – 10 polyethylene polyamine – 10 ВОХП – 60 chemical production fibered waste – 60	1,39	127,4	0,164	3447	0,21	881,8

Разработано авторами / Developed by the authors

Ударные воздействия на испытываемые образцы наносились с энергией удара, нормированной на толщину образца. При проведении испытаний определяли показатели максимальной контактной силы, продолжительности контакта ударника с образцами и интегральную сумму изменяющейся величины силы ударника от времени контакта его с образцами.

Результаты исследования показывают, что волокнистые наполнители существенно повышают ударную прочность полимерных композитов (табл. 1).

2. Исследование порошково-активированных бетонов и биоцидных вяжущих

2. Research of powder-activated concrete and biocidal binders

Порошково-активированные бетоны обладают улучшенными физико-техническими свойствами [19–21]. Эффективность также показали материалы, включающие в своем составе биоцидную добавку [23].

В настоящих исследованиях приводятся результаты оценки демпфирующих свойств и ударной прочности цементных композитов, составы которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Составы для испытаний

Test compositions

Компоненты Components	Содержание массовых частей в составах The weight parts content in the compositions								
	1	2	3	4	5	6	T17	T18	T19
Портландцемент (ульяновский) Portland cement (Ulyanovsk)	1,000	1,000	1,000	1,000	–	–	1,000	1,000	1,000
Гиперпластификатор «Melflux» Superplasticizer "Melflux"	–	–	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Каменная мука (микрокварц) Rock meal (microquartz)	–	–	–	1,100	0,750	–	–	–	–
Микрокремнезем Microsilicasuspension	–	–	–	–	0,120	–	–	–	–
Кварцевый наполнитель фракции 0–0,63 мм Silica filler, fraction 0–0,63 mm	–	–	–	2,753	1,775	2,065	–	–	–
Кварцевый наполнитель фракции 0,63–2,5 мм Silica filler, fraction 0.63–2.5 mm	–	–	–	2,347	1,875	1,760	–	–	–
Биоцидная добавка «Тефлекс» Biocide additive "Teflex"	–	–	–	–	–	–	0,030	0,030	0030
Вода Water	0,267	0,350	0,171	0,600	0,475	0,525	0,267	0,350	0,195

Разработано авторами / Developed by the authors

Результаты оценки плотности и пористости, испытания прочностных свойств исследуемых составов приведены в таблице 3.

Из результатов испытания следует, что у бетона демонстрируется структурная зависимость демпфирующих свойств. Из структурообразующих факторов наибольшее влияние на демпфирующие свойства бетона оказывают водоцементное отношение. Улучшению показателя демпфирующих свойств цементного камня способствует введение тонкомолотых добавок.

Таблица 3 / Table 3

Физико-механические свойства композитов
Composites physical and mechanical properties

Свойства Properties		Показатели для составов Indicators for formulations								
		1	2	3	4	5	6	T17	T18	T19
Плотность ρ , кг/м ³ Density ρ , kg / m ³		2 090	1 885	2 276	2 300	2 270	2 100	2 028	1 835	2 337
Прочность при сжатии R_b , МПа Compression strength R_b , МПа		56,4	52,6	133,0	67,1	110,0	32,5	59,5	58,3	131,0
Прочность при изгибе R_{bt} , МПа Bending strength R_{bt} , МПа		8,7	4,0	11,2	9,87	12,75	6,02	13,1	16,5	32,5
Пористость P , % Void volume P , %		16,71	19,18	12,52	11,23	8,99	9,79	10,8	12,28	20,42
Демпфирующие свойства (логарифмический декремент колебаний) δ Damping properties (logarithmic vibration decrement) δ		0,181	0,178	0,072	0,119	0,172	0,082	0,232	0,148	0,175
Ударная прочность Impact resistance	Максимальная контактная сила F , Н Maximum contact force F , N	2 073	1 866	1 672	3 808	4 530	2 724	–	1 735	–
	Продолжительность контакта t , мс Contact period t , ms	0,17	0,11	0,08	0,21	0,25	0,24	–	0,38	–
	Импульс силы S , Н·м Power impulse S , N·m	81,1	57,2	38,1	200,1	177,9	56,8	–	165,7	–

Разработано авторами / Developed by the authors

Из результатов исследований следует, что изменение водоцементного отношения от 0,267 до 0,350 практически не изменило изучаемый показатель. Применение суперпластификаторов различного типа привело к снижению демпфирующих показателей (составы №3, №9, №10). Введение пластификаторов способствует и уплотнению структуры бетона, на что указывает повышение плотности составов №3, №9, №10 по сравнению с составами №1 и №2. Это способствовало уменьшению демпфирующих свойств.

Введение в состав цементного теста совместно с суперпластификаторами кварцевого песка (составы №6 и №7) не изменило показатели демпфирующих свойств. У наполненных кварцевым песком составов логарифмических декремент колебаний практически такой же как и у цементного камня составов №3, №9, №10. Данный факт подтверждает, что демпфирующие свойства определяются свойствами цементного камня. Введение микрокварца (состав №4) в составы, содержащие кварцевый песок (№6 и №7), способствует к повышению логарифмического декремента колебаний: данный показатель у состава №4 более чем в 1,5 раза выше. Еще к большему увеличению демпфирующих свойств приводит введение в состав совместно с микрокварцем микрокремнезема (состав №5). У данного порошково-активированного бетона показатель повысился более чем в 2 раза по сравнению с составами №6 и №7 и в 1,4 раза – по сравнению с

составом №4. Это объясняется тем, что введение в состав одновременно микрокварца и микрокремнезема привело к увеличению площади контакта цементного камня и наполнителя и формированию бетона улучшенной структуры.

При проведении испытаний материалов на удар продолжительность контакта ударника с образцами оценивали с упруговязкопластичным состоянием материала. Относительные величины показателей цементного камня и бетона в сравнении с составом №1 приведены в табл. 3. Для состава №1 максимальная контактная сила равна 1866 Н, продолжительность контакта – 0,13 мс, а величина импульса силы – 81,1 Н·мс [24; 26]. Для проведения анализа результатов исследований образцы были разделены по 3 группам: цементный камень, реакционно-активные и порошково-активированные бетоны.

Сравнение результатов испытаний по оценке влияния на свойства материалов основных структурообразующих факторов свидетельствует о следующем. У образцов, изготовленных из теста нормальной плотности, значение максимальной контактной силы меньше, чем у образцов с увеличенным содержанием В/Ц (состав №2), и значительно выше, чем у состава с пластифицирующей добавкой (состав №3). При этом продолжительность контакта с ударником и величина его импульса у образцов сформированных из теста нормальной плотности также более высокие, чем у составов с повышенным водосодержанием и с добавкой суперпластификатора.

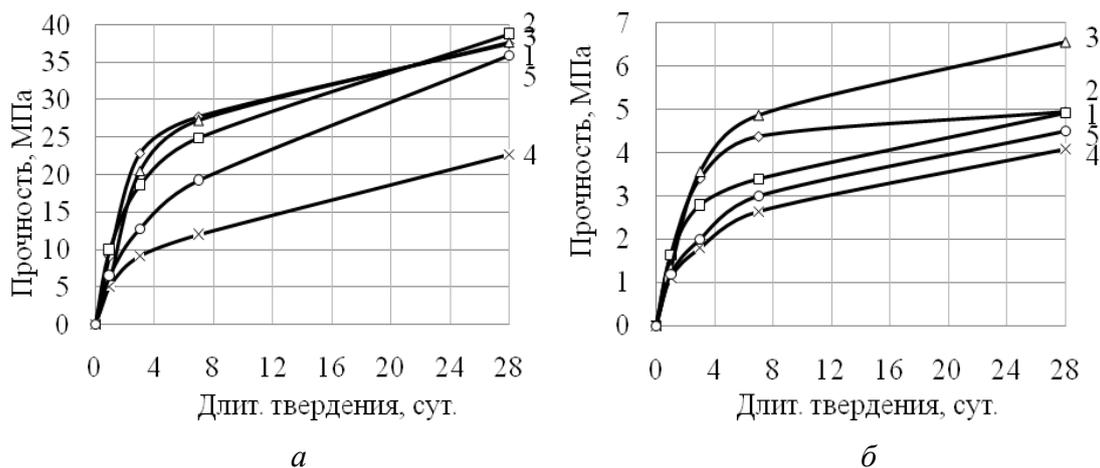
Сравнение высоконаполненных композитов, включающих введение суперпластификатора «Melflux 1641F», способствовало получению более высоких результатов, нежели композит, содержащий добавку «Хидетал 9у» (составы №4 и №8).

Введение в цементные растворы тонкодисперсных наполнителей привело к повышению максимальной контактной силы на 33,8 % по сравнению с контрольным составом. В качестве тонкодисперсных наполнителей в наших исследованиях использовались микрокварц и микрокремнезем.

Более высокие значения максимальной контактной силы, продолжительности контакта с ударником и величины его импульса показали высоконаполненные составы нового поколения, содержащие суперпластификатор «Melflux» (составы №4 и №5). Порошковый бетон, содержащий в своем составе микрокварц, кварцевый наполнитель и мелкий заполнитель, а также суперпластификатор «Melflux 1641F», показатели максимальной контактной силы и продолжительности контакта имеет более высокие по сравнению с составами №6 и №7, что объясняется более высокой жесткостью и прочностью материала. В то же время, бетоны

старого поколения (составы №6 и №7) характеризуются более низкими значениями продолжительности контакта и импульса силы деформации и разрушения материала по сравнению с бетонами нового и переходного поколений (№5 и №4 соответственно). Это объясняется тем, что изменение структуры матрицы бетонов нового поколения, обусловленное введением реологически и реакционно активных наполнителей, связыванием портландита микрокремнеземом способствует диссипации энергии в объеме материала за счет многократно большей энергии деформирования и разрушения данных образцов по сравнению с обычным бетоном. Числовые значения максимальной контактной силы у бетона состава №4 составляет 3808 Н, что больше на 84 %, чем у цементного камня из теста нормальной густоты (2073 Н). При этом показатели продолжительности контакта и величина импульса ударника примерно в два раза выше. К еще большей эффективности привело введение микрокремнезема в высоконаполненные составы (состав №5). Максимальная контактная разрушающая сила в этом случае составила 4530 Н, т. е. более чем в два раза больше, чем у цементного камня на основе теста нормальной густоты [24].

Бетоны в мостовых сооружениях подвержены негативному воздействию биологических факторов. В этом случае, для изготовления бетонов перспективно применение биоцидных вяжущих, способствующих повышению химико-биологического сопротивления материалов [23]. Ниже представлены результаты исследования физико-механических свойств опытных партий биоцидных цементов (см. рис. 2.).



1 – (рядовой) 100 мас. ч. клинкера, 4 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 – 100 мас. ч. клинкера, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 4,5 мас. ч. Na_2SO_4 ; 3 – 100 мас. ч. клинкера, 8 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 мас. ч. NaF ; 4 – 100 мас. ч. клинкера, 2 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 мас. ч. NaF ; 5 – 100 мас. ч. клинкера, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1 мас. ч. ПГМГ-С
1 – (ordinary) 100 wt. including clinker, 4 wt. including $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 – 100 wt. including clinker, 6 wt. including $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 4.5 wt. including Na_2SO_4 ; 3 – 100 wt. including clinker, 8 wt. including $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 wt. including NaF ; 4 – 100 wt. including clinker, 2 wt. including $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 wt. including NaF ; 5 – 100 wt. including clinker, 6 wt. including $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1 wt. h. PGMG-S

Рисунок 2. Прочности биоцидных цементов при сжатии (а) и изгибе (б) в зависимости от длительности твердения и состава (разработано авторами)

Figure 2. Biocidal cement strengths under compression (a) and bending (b), depending on the hardening duration and composition (developed by the authors)

Из графиков следует, что к 28 суткам твердения более высокую прочность при сжатии (39 МПа) имеют материалы на биоцидных цементах следующих составов: 1 – 100 мас. ч. клинкера, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 4,5 мас. ч. Na_2SO_4 и 2 – 100 мас. ч. клинкера, 8 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 мас. ч. NaF. Биоцидные цементы составов: 1 – 100 мас. ч. клинкера, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1 мас. ч. ПГМГ-С и 2 – 100 мас. ч. клинкера, 2 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 мас. ч. NaF к 28 суткам твердения достигают прочность при сжатии равной 31 и 23 МПа соответственно. Рядовой цемент за эти же сроки твердения достигает прочность при сжатии равной 37 МПа. У цементного камня на биоцидном цементе состава: 100 мас. ч. клинкера, 2 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 3 мас. ч. NaF, прочность при сжатии несколько ниже по-видимому из-за наличия в его составе C-S-H геля отличного от C-S-H (I) [23].

Проведена оценка устойчивости композитов на основе биоцидных цементах при выдерживании в воде, в водных растворах неорганических и органических кислот, щелочей, а также в нефтепродуктах. В результате проведения испытаний, полученные данные позволяют рекомендовать биоцидные цементы для изготовления бетонов в различных эксплуатационных условиях, в том числе при строительстве и ремонте мостовых и гидротехнических сооружений [23].

Для зданий и сооружений, изделия и конструкции которых находятся при постоянном воздействии воды и наличии биологически активных сред предпочтительно применение при изготовлении бетонов следующих составов биоцидных цементах: 1 – 100 мас. ч. клинкера, 4,5 мас. ч. Na_2SO_4 , 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 – 100 мас. ч. клинкера, 1 мас. ч. ПГМГ-С, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При эксплуатации изделий и конструкций в условиях сульфатной коррозии, водных растворов содержащих нитраты и нефтепродукты, при одновременном негативном воздействии продуктов метаболизма микроорганизмов рекомендуется при изготовлении бетонов применять следующие составы биоцидных цементах: 1 – 100 мас. ч. клинкера, 4,5 мас. ч. Na_2SO_4 , 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 – 100 мас. ч. клинкера, 3 мас. ч. NaF, 8 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 3 – 100 мас. ч. клинкера, 1 мас. ч. ПГМГ-С, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Выявлена устойчивость бетонов на основе биоцидных цементах в морской воде и в условиях климата черноморского морского побережья (г. Геленджик). Были получены следующие результаты: после трех месяцев испытаний под навесом у моря на поверхности образцов бетонов на биоцидных цементах спор мицелиальных грибов не обнаружено, на поверхности же образцов бетона, полученного на рядовом цементе, идентифицированы семь видов мицелиальных грибов: 4 вида рода

Alternaria, 1 вид рода *Penicillium*, 1 вид рода *Aspergillus* и доминирующий вид рода *Chaetomium* (*Chaetomium dolichotrichum*). В этой связи для изготовления строительных материалов и конструкций, подвергаемых воздействию морской воды и переменной влажности морского побережья могут быть рекомендованы следующие составы биоцидных цементов: 1 – 100 мас. ч. клинкера, 4,5 мас. ч. Na_2SO_4 , 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 – 100 мас. ч. клинкера, 3 мас. ч. NaF , 8 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 3 – 100 мас. ч. клинкера, 1 мас. ч. ПГМГ-С, 6 мас. ч. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [23].

3. Технология проведения ремонтных работ

3 Repair work technology

Для устранения дефектов в строительных конструкциях мостовых сооружениях могут быть эффективно использованы разработанные составы полимерных и цементных композитов. При значительных разрушениях для устранения дефектов с целью экономия полимербетонов следует использовать мелкозернистые бетоны нового поколения. В зависимости от эксплуатационных требований отремонтированные таким образом участки также могут быть дополнительно защищены полимерными покрытиями. При малых объемах работ эффективно применение лакокрасочных, мастичных и полимербетонных покрытий.

Все исходные компоненты, используемые для изготовления цементных и полимерных композиционных материалов, должны иметь технические паспорта и удовлетворять основным требованиям соответствующих ГОСТ и ТУ.

Лакокрасочные материалы наносят, как правило, механизированным способом краскораспылителем. Для достижения необходимой вязкости в состав лакокрасочных материалов вводят летучие жидкости – растворители (ацетон, толуол и др.) и разбавители – жидкости, которые не растворяют пленкообразующие (бутиловый и этиловый спирт и др.). Для выравнивания дефектов загрунтованной поверхности используют шпатлевки – составы, содержащие повышенное количество наполнителя.

Изготовление материалов и конструкций из эпоксидных составов производится по отдельной технологии и включает следующие операции: сушка наполнителей и заполнителя; приготовление эпоксидного связующего в скоростном смесителе (совмещение отдозированной эпоксидной смолы, отвердителя и модифицирующей добавки); приготовление полимербетона путем совмещения бинарного тонкодисперсного и волокнистого наполнителя, заполнителя и вяжущего; последующее перемешивание.

Укладку полимерных композиций необходимо проводить на выровненных и подготовленных поверхностях. Утолщенные покрытия эффективно укладывать по каркасной технологии, особенно на горизонтальных поверхностях [8].

В этом случае для каркаса могут использоваться связующие, отличные по природе от связующих пропиточных матриц. Такая технология позволяет эффективно управлять структурой и свойствами композиционных материалов. Применение каркасной технологии позволяет снизить стоимость и трудозатраты при изготовлении бетонов, уменьшить усадку и повысить трещиностойкость покрытий и строительных изделий.

Грунтовочный слой наносится кистями или распылителями. В качестве грунтовки следует применять жидкую полимерную композицию. Для лучшей адгезии к основанию каркасная смесь укладывается на не полностью затвердевшую грунтовку.

Смесь укладывается на участках, ограниченных маячными рейками, через одну полосу, разравнивается правилом и уплотняется виброрейкой. Допускается и уплотнение площадочным вибратором, асфальтобетонным катком. Через 8–10 часов маячные рейки необходимо снять. Смазку с боковых поверхностей удаляют механическим способом с последующей обработкой растворителем. На промежуточные полосы смесь укладывается на следующие сутки. Маячными рейками при этом не пользуются.

После отверждения каркаса производится заливка пустот каркаса полимерными связующими. Раствор наносится на поверхность каркаса способом налива или укладки с дальнейшим разравниванием правилом или валиком. Он должен обеспечить пропитку каркаса на всю глубину [25].

Выводы

Conclusions

1. Показано, что основными факторами, влияющими на долговечность конструктивных элементов гидротехнических сооружений, являются как динамические и подвижные нагрузки от воздействия автотранспорта, так и химические и биологические воздействия от примесей, содержащихся в воде, проходящей через сооружение, заселяющихся бактерий и других микроорганизмов. В ходе обследования гидротехнического сооружения выявлены дефекты и повреждения, представленные на фотофиксации (сообщение №1).

2. В зависимости от характера и тяжести повреждений, а также результатов инструментальных исследований, рекомендованы методы усиления крупных дефектов мелкозернистыми цементными композициями,

а также ремонтные мероприятия с применением различных защитных покрытий на основе полимерных композиционных материалов.

3. Для ремонта крупных дефектов при восстановлении железобетонных конструкций рекомендованы порошково-активированные бетоны, незначительных повреждений (оголение арматуры на незначительной глубине, трещины и расслоения бетона на глубину до 100 мм, морозные разрушения в зонах деформационных швов конструкций) рекомендованы лакокрасочные и мастичные полимерные составы на основе модифицированной эпоксидной смолы, а поражений глубиной более 15–20 мм и на больших площадях – каркасные полимербетоны.

4. Полимерные материалы на основе эпоксидных композиций и асбестосодержащих отходов производства, изготовленные по литьевой технологии, можно успешно применять для ремонта незначительных повреждений, возникающих в гидротехнических сооружениях под воздействием динамических нагрузок.

5. Установлено, что тонкодисперсные волокнистые наполнители, соответственно ТДОСП и ВОХП снижают плотность композитов – на 3,8 %, и 13,7 %, увеличивают декремент колебаний на 5,1 % и 19,7 %. Из полученных результатов также следует, что волокнистые наполнители существенным образом повышают ударную прочность полимерных композитов, причем в большей степени при применении волокнистых асбестоцементных отходов.

6. При исследовании технологических свойств полимерных композитов установлено, что добавление кремнийорганического лака КО-922 в эпоксидную смолу способствует повышению смачиваемости наполнителя на более чем 15–20 %. Наибольший эффект смачивания асбестосодержащих наполнителей эпоксидной смолой, модифицированной кремнийорганической добавкой КО-922 происходит при ее концентрации равной 0,1–3,0 %.

7. По итогам исследований определены рациональные составы эпоксидных композитов содержащие кремнийорганические и асбестосодержащие модификаторы на основе отходов производства и природных материалов. Данные мастичные составы эффективны для грунтования и финишных покрытий при ремонте дефектов гидротехнических сооружений мостового строительства.

8. Установлено, что введение в состав цементного теста суперпластификаторов приводит к снижению демпфирующих свойств цементного камня, а добавление реологически и реакционно-активных наполнителей совместно с суперпластификатором существенно увеличивает демпфирующие свойства порошково-активированных бетонов.

9. Выявлены высокие значения максимальной контактной силы, продолжительности контакта образца с ударником и величины его импульса у пластифицированных высоконаполненных составов нового поколения. У композита, содержащего в своем составе микрокварц, кварцевый наполнитель и мелкий заполнитель, а также суперпластификатор «Melflux 1641F» показатель максимальной контактной силы равен 3808 Н, что намного больше чем у цементного камня из теста нормальной плотности – 2073 Н. При этом у порошково-активированного бетона около двух раз выше показатели продолжительности контакта и величина импульса ударника. К еще более высоким результатам привело введение в высоконаполненные составы микрокремнезема. Максимальная контактная сила, при которой происходило разрушение образцов, составила 4530 Н. Это более чем в два раза выше, чем у цементного камня на основе теста нормальной плотности.

10. Таким образом, в результате выполненной научно-исследовательской получены эффективные обладающие улучшенными физико-техническими свойствами полимерные и цементные композиты для ремонта мостовых сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко С.В.** Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 350 с.
2. **Соломатов В.И.** Армополимербетон в транспортном строительстве / В.И. Соломатов, В.И. Клюкин, Л. Ф. Кочнква [и др.]. – М.: Транспорт, 1979. – 232 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34863185> (дата обращения: 07.05.2021).
3. **Баженов Ю.М.** Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 368 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19626308> (дата обращения: 07.05.2021).
4. **Шестоперов С.В.** Долговечность бетона транспортных сооружений / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966. – 217 с.
5. **Латыпов В.М.** Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах / В.М. Латыпов, Т.В. Латыпова, Е.В. Луцык, П.А. Федоров. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2014. – 288 с.
6. **Алексеев С.Н.** Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль. – Под ред. Ф.М. Иванова. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
7. **Van Tittelboom К.** Use of bacteria to repair cracks in concrete / К. Van Tittelboom, N. De Belie, W. De Muynck, W. Verstraete. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.025> // Cement and Concrete Research. – 2010. – Т 40, №1. – С. 157–166. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884609002361> (дата обращения: 09.05.2021).

8. **Бобрышев А.Н.** Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В. Н. Козомазов. – СПб.: Наука – СПИКФ, 2012. – 474 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21988497> (дата обращения: 07.05.2021).
9. **Карпенко Н.И.** О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – №1. – С. 93–102. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23098302> (дата обращения: 09.05.2021).
10. **Леснов В.В.** Дисперсно-армированные композиты для дорожных покрытий и транспортных сооружений / В.В. Леснов, А.С. Борискин, В.Т. Ерофеев, А.А. Коняшин // Транспортное строительство. – 2007. – №5. – С. 24–27.
11. **Ерофеев В.Т.** Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов / В.Т. Ерофеев, Аль Дулайми Салман Давуд Салман, В.Ф. Смирнов. – DOI <https://doi.org/10.15862/07SATS418> // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – Т 5, №4. – URL: <https://t-s.today/07SATS418.html> (дата обращения: 09.05.2021).
12. **Барраган Б.** Интеллектуальный динамичный бетон / Б. Барраган, Х. Ронсеро, Р. Магаротто, С. Морро, Р. Хурана // Международное бетонное производство. – 2011. – №2. – С. 58–67. – URL: <https://www.cpi-worldwide.com/ru/journals/artikel/24055> (дата обращения: 09.05.2021).
13. **Ерофеев В.Т.** Эпоксидные полимербетоны, модифицируемые нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминокпроизводственными соединениями / В.Т. Ерофеев, Ю.А. Соколова, А.Д. Богатов. – М.: Издательство "Палеотип", 2012. – 244 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20243889> (дата обращения: 09.05.2021).
14. **Максимова И.Н.** Структура и конструкционная прочность цементных композитов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, В.Т. Ерофеев, Ю.П. Скачков. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 398 с.
15. **Дворкин Л.И.** Влияние добавок полифункционального модификатора на свойства цементно-зольного мелкозернистого бетона / Л.И. Дворкин. – DOI <https://doi.org/10.18720/MCE.93.10> // Инженерно-строительный журнал. – 2020. – Т 93, №1. – С. 121–133. – URL: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2020.93.10/> (дата обращения: 09.05.2021).
16. **Шаронова О.М.** Тонкодисперсная высококальциевая летучая зола как основа композитного цементирующего материала / О.М. Шаронова, В.В. Юмашев, Л.А. Соловьев, А.Г. Аншиц. – DOI <https://doi.org/10.18720/MCE.91.6> // Инженерно-строительный журнал. – 2019. – Т 91, №7. – С. 60–72. – URL: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2019.91.06/> (дата обращения: 08.05.2021).
17. **Чернышев Е.М.** Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) / Е.М. Чернышев, Д.Н. Коротких // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – №5. – С. 30–35.
18. **Каприелов С.С.** Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций / С.С. Каприелов, И.А. Чилин // Строительные материалы. – 2013. – №7. – С. 28–30. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19690896> (дата обращения: 08.05.2021).

19. **Калашников В.И.** Терминология науки о бетоне нового поколения / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2011. – №3. – С. 103–106. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16212160> (дата обращения: 08.05.2021).
20. **Калашников В.И.** Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, О.В. Тараканов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – №4. – С. 30–37. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26323031> (дата обращения: 08.05.2021).
21. **Калашников В.И.** Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. часть 1. изменение составов и прочности бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2016. – №1–2. – С. 96–103. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25675526> (дата обращения: 08.05.2021).
22. **Травуш В.И.** Живучесть конструктивных систем сооружений при особых воздействиях / В.И. Травуш, Н.В. Федорова. – DOI <https://doi.org/10.18720/MCE.81.8> // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – Т 81, №5. – С. 73–80. – URL: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2018.81.8/> (дата обращения: 08.05.2021).
23. **Travush V.I.** Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments / V.I. Travush, N.I. Karpenko, V.T. Erofeev, A.I. Rodin, V.F. Smirnov, N.G. Rodina. – DOI <https://doi.org/10.1007/s10749-017-0842-8> // Power Technology and Engineering. – 2017. – Т 51, №4. – С. 377–384. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10749-017-0842-8> (дата обращения: 08.05.2021).

Сведения об авторах:

Ерофеев Владимир Трофимович – доктор технических наук, профессор, декан «Архитектурно-строительного» факультета, заведующий кафедрой «Строительных материалов и технологий», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: AL_Rodin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-8144>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=161483

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/A-7827-2017>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56662851300>

Бондарев Борис Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия, e-mail: Insp-48@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=804620

Круглов Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор, директор, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, Россия, Научно-исследовательский институт транспорта и транспортного строительства, e-mail: svetlananshved@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1519-3960>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=245574

Гаврилов Михаил Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Начертательная геометрия и графика», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия, e-mail: gavrilov79@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8891-8120>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=572398

Родин Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительных материалов и технологий», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: AL_Rodin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8080-9808>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=653174
Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/M-9822-2017>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191249816>

Ерофеева Ирина Владимировна – кандидат технических наук, инженер кафедры «Инженерной и компьютерной графики», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1506-8502>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761852
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191250834>

Бондарев Александр Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия, e-mail: linsp-48@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2902-7528>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=496770

Филатов Андрей Валерьевич – аспирант кафедры «Строительных материалов и технологий», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: wotal1@ya.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8842-8236>

Мартынов Андрей Александрович – аспирант кафедры «Строительных материалов и технологий», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия, e-mail: aamartyinov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0164-9835>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1056705

Востриков Илья Алексеевич – магистрант кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, Россия, e-mail: stalKAIII007@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3430-9773>

Статья получена: 15.05.2021. Принята к публикации: 14.06.2021. Опубликована онлайн: 28.06.2021.

REFERENCES

1. Bondarenko S.V., Sanzharovskiy R.S. [Strengthening reinforced concrete structures during the reconstruction of buildings]. Moscow: Stroyizdat; 1990. (In Russ.).
2. Solomatov V.I., Klyukin V.I., Kochnkva L.F., Maseyev L.M., Potapov Yu.B. [Armopolymer concrete in transport construction]. Moscow: Transport Publ.; 1979. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34863185> (accessed 7th May 2021). (In Russ.).
3. Bazhenov Yu.M. [Modified high quality concrete]. Moscow: ASV Publ. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19626308> (accessed 7th May 2021). (In Russ.).
4. Shestoporov S.V. [Durability of concrete transport structures]. Moscow: Transport Publ.; 1966. (In Russ.).
5. Latypov V.M., Latypova T.V., Lutsyk E.V., Fedorov P.A. [Durability of concrete and reinforced concrete in aggressive natural environments]. Ufa: RIO UGNTU; 2014. (In Russ.).
6. Alekseyev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissl' P. [Durability of reinforced concrete in aggressive environments]. Moscow: Stroyizdat; 1990. (In Russ.).
7. Van Tittelboom K., De Belie N., De Muynck W., Verstraete W. Use of bacteria to repair cracks in concrete. *Cement and Concrete Research*. 2010; 40(1): 157–166. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.025>.
8. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. [Physics and Synergetics of Dispersed-Disordered Condensed Composite Systems]. St. Petersburg: St.Petersburg publishing house Nauka; 2012. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21988497> (accessed 7th May 2021). (In Russ.).
9. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Yerofeev V.T. The Modern Methods for Ensuring of the Reinforced Concrete Structures Durability. *Academia. Architecture and construction*. 2015; (1): 93–102. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23098302> (accessed 9th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
10. Lesnov V.V., Boriskin A.S., Erofeev V.T., Konyashin A.A. [Dispersed-reinforced composites for road surfaces and transport structures]. *Transport construction*. 2007;(5): 24–27. (In Russ.).
11. Erofeev V.T., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman, Smirnov V.F. Bacteria for self-healing concretes. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2018; 5(4). (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/07SATS418>.
12. Barragan B., Ronsero X., Magarotto R., Morro S., Khurana R. [Intelligent dynamic concrete]. *Concrete Plant International*. 2011; (2): 58–67. Available at: <https://www.cpi-worldwide.com/ru/journals/artikel/24055> (accessed 9th May 2021). (In Russ.).
13. Erofeev V.T., Sokolova Yu.A., Bogatov A.D. [Epoxy polymer concretes modified with petroleum bitumen, coal and urea resins and amine compounds]. Moscow: Paleotype Publishing House; 2012. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20243889> (accessed 9th May 2021). (In Russ.).
14. Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Skachkov Yu.P. [Structure and structural strength of cement composites]. Moscow: ASV Publ.; 2017. (In Russ.).

15. Dvorkin L.I. The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2020; 93(1): 121–133. (In Eng., abstract In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.93.10>.
16. Sharonova, O.M., Yumashev, V.V., Solovyov, L.A., Anshits, A.G The fine high-calcium fly ash as the basis of composite cementing material. *Magazine of Civil Engineering*. 2019; 91(7): 60–72. (In Eng., abstract In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.91.6>.
17. Chernyshev E.M., Korotkikh D.N. [Modification of the structure of a cement stone with micro- and nanosized silica particles (questions of theory and applications)]. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2008; (5): 30–35. (In Russ.).
18. Kapriyelov S.S., Chilin I.A. [Ultra-high-strength self-compacting fiber-reinforced concrete for monolithic structures]. *Construction Materials*. 2013; (7): 28–30. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19690896> (accessed 8th May 2021). (In Russ.).
19. Kalashnikov V.I. [The Terminology of Next Generation Concrete Science]. *Construction Materials*. 2011; (3): 103–106. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16212160> (accessed 8th May 2021). (In Russ.).
20. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. [Suspension-filled concrete mixtures for powder-activated concrete of a new generation]. *Proceedings of higher educational institutions. Construction*. 2016; (4): 30–37. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26323031> (accessed 8th May 2021). (In Russ.).
21. Kalashnikov V.I. Evolution of Development of Concretes Compositions and Change in Concrete Strength. Concretes of Present and Future Part 1. Change in Compositions and Strength of Concretes. *Construction Materials*. 2016; (1–2): 96–103. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25675526> (accessed 8th May 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
22. Travush, V.I., Fedorova, N.V. Survivability of structural systems of buildings with special effects. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; (5): 73–80. (In Eng., abstract In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.81.8>.
23. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Rodin A.I., Smirnov V.F., Rodina N.G. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments. *Power Technology and Engineering*. 2017; 51(4): 377–384. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10749-017-0842-8>

Information about the authors:

Vladimir T. Erofeev – National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

e-mail: AL_Rodin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8407-8144>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=161483

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/A-7827-2017>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56662851300>

Boris A. Bondarev – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, e-mail: Insp-48@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9270>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=804620

Valerij M. Kruglov – Russian University of Transport (МИИТ), Moscow, Russia,

e-mail: svetlananshved@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1519-3960>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=245574

Mihail A. Gavrilov – Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

E-mail: gavrilov79@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8891-8120>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=572398

Aleksandr I. Rodin – National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

e-mail: AL_Rodin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8080-9808>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=653174

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/M-9822-2017>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191249816>

Irina V. Erofeeva – National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

e-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1506-8502>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=761852

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57191250834>

Alexandr B. Bondarev – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, e-mail: Insp-48@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2902-7528>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=496770

Andrej V. Filatov – National Research Mordovia State University, Saransk, Russia, e-mail: wotal1@ya.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8842-8236>

Andrej A. Martynov – National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,

e-mail: aamartynov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0164-9835>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1056705

Илья А. Vostrikov – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, e-mail: stalKAIИ007@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3430-9773>

Submitted: 15th May 2021. Revised: 14th June 2021. Published online: 28th June 2021.