

Инновационные способы восстановления микроразрушений гидротехнических сооружений

Михаил Вячеславович Карпов¹, Лариса Анатольевна Журавлева¹, Андрей Анатольевич Жиздюк¹,
Ольга Валерьевна Наумова², Наталья Анатольевна Харламова³

¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
e-mail: uunaumov@mail.ru

Аннотация. При создании новых проектов и долговечных сооружений, которые удовлетворяли бы запросам заказчиков и техническим требованиям применяются инновационные строительные материалы. Описаны основные свойства, характеристики, объекты и методы применения гидротехнического бетона и самовосстанавливающегося бетона. Самовосстанавливающийся бетон – новая ступень в развитии строительных материалов. Современный инновационный бетонный раствор имеет в своем составе микробиологические добавки в виде спор бактерий и грибов, которые придают бетону свойства, которых нет у стандартных составов. Биологические добавки способны существовать в спящем состоянии долгое время до момента необходимости их работы, выживают в щелочной среде и при активации производить ремонтные работы без участия человека. Из анализа литературных источников мы пришли к выводу, что продолжительная эксплуатация различных гидротехнических сооружений испытывает воздействие воды и окружающей среды. Все эти факторы приводят к снижению прочности конструкции гидротехнических сооружений. Инновационный восстанавливающийся бетон имеет рекомендацию использоваться в труднодоступных (недоступных) для осмотра и ремонта человеком местах. К таким сооружениям можно отнести подводные и подземные конструкции, высотные сооружения, мосты и транспортные развязки дорог. Все это приводит к значительной экономии трудовых и финансовых затрат, так как нет необходимости достаточно часто производить диагностику и ремонт таких сооружений. Целью данной работы является исследование и предложения технологии производства новых инновационных материалов с применением биологических добавок в промышленных масштабах. В соответствии с поставленной целью существующие способы совершенствования технических характеристик цементных составов для получения более качественных материалов с лучшими физико-механическими свойствами для повышения долговечности гидротехнических сооружений, устраняющие дефекты и повреждения вызванные действием воды. Рассмотрены процессы структурообразования ремонта и восстановления таких биобетонов. На основе наших исследований показана возможная технология создания инновационных бетонов в промышленных масштабах, модифицированных микробиологической добавкой и самовосстанавливающихся конструкций. Это направление исследований очень перспективное, потенциальная прибыль от применения таких бетонов в гидротехнических сооружениях огромна.

Ключевые слова: строительные материалы; гидротехнические сооружения; самовосстанавливающийся бетон; биобетон.

Для цитирования: Карпов М. В., Журавлева Л. А., Жиздюк А. А., Наумова О. В., Харламова Н. А. Инновационные способы восстановления микроразрушений гидротехнических сооружений // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 77–81. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp77-81>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

The impact of water and the environment on hydraulic structures and methods of restoration by bacteria, which secrete calcium, overgrowing microcracks

Mikhail V. Karpov¹, Larisa A. Zhuravleva¹, Andrey A. Zhizdyuk¹, Olga V. Naumova², Natalya A. Kharlamova

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

³National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
e-mail: uunaumov@mail.ru.

Abstract. Innovative building materials are considered, allowing the use of new design solutions and the construction of durable structures that meet technical requirements and aesthetic requirements. The main properties, characteristics, objects and methods of application of hydraulic concrete and self-healing concrete are described. Self-healing concrete is a new stage in the development of building materials. The new self-healing concrete differs from classical recipes by adding fungi and bacterial spores to the composition, which can survive in alkaline conditions and give new properties to the building material. From the analysis of literary sources, we came to the conclusion that the long-term operation of various hydraulic structures is affected by water and the environment. All these factors lead to a decrease in the structural strength of hydraulic structures. A new self-healing material is needed in places where the production of minor repairs and regular inspection of the condition of structures is impossible: underground construction; underwater construction; high-rise buildings; bridge-type transport structures. Another advantage of new generation building materials is the possibility of budget savings, since there is no need for constant minor repairs of structures. The purpose of this work is the research and development of technology for the production of self-healing concrete modified with a micro-biological additive. In accordance with the goal, we analyzed the physical and mechanical properties of concrete and other cement composites, ways to improve them, studied damages and defects that reduce the durability of reinforced concrete structures, the process of structure formation, as well as ways to repair and restore them. Based on the analysis, a technology for creating industrial-scale concrete modified with a microbiological additive and self-healing structures is proposed. This area of research is very promising; the potential profit from the use of such concretes in hydraulic structures is huge.

Keywords: building materials; hydraulic structures; self-healing concrete; bioconcrete.

For citation: Karpov M. V., Zhuravleva L. A., Zhizdyuk A. A., Naumova O. V. The impact of water and the environment on hydraulic structures and methods of restoration by bacteria, which secrete calcium, overgrowing microcracks // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(12):77–81. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp77-81>.





Введение. В настоящее время потребность в больших количествах новых инновационных строительных материалов в мире и технические требования в увеличении срока эксплуатации зданий и сооружений приводит к необходимости увеличения качества строительного материала. Одним из направлений достижения таких целей является применение в составе инновационных материалов живых организмов [1, 3, 6, 12].

Инновационные материалы с возможностью самовосстановления – новый и перспективный уровень в материалах для строительства [11–16]. Для бетонов существуют требования по составу, структуре, и др., которые приводятся в ГОСТ 25192-2012, ГОСТ 7473-2010, ГОСТ Р 57345-2016, ГОСТ Р 57359-2016 [2–5, 7–9]. Такие инновационные бетоны отличаются от классических содержанием в своем составе спор бактерий и грибов, которые наделяют бетоны новыми свойствами, а, именно, возможностью самовосстановления [11–15]. Процесс разрушения заключается в следующем: сооружения из бетонов под воздействием внешних факторов покрывается порами и трещинами, в которые попадает влага, что приводит к коррозии металла в составе конструкций. Для того, чтобы восстановить целостность поверхности, требуются ремонтные работы. У инновационных материалов, в состав которых входят живые микроорганизмы, находящиеся на протяжении долгих лет в состоянии спячки, под воздействием влаги оживают и начинают вырабатывать известняк (карбонат кальция). В результате происходит заполнение пор и трещин этим веществом. Применение таких инновационных материалов, в состав которых входят живые микроорганизмы, имеют больший срок эксплуатации по сравнению с классическими бетонами [10].

Целью данной работы является исследование и разработка технологии производства инновационных материалов – бетонов, содержащих в своем составе микроорганизмы.

Методика исследований. Данное исследование посвящено изучению литературы и применению метода статистического моделирования процесса восстановления бетонов. На основании этих исследований предлагается разработать технологический процесс производства новых инновационных материалов на основе цементных композитов.

Результаты исследований. Эксплуатация мелиоративных и гидротехнических сооружений приводит к постепенному разрушению конструкций. Для восстановления их характеристик до приемлемых значений необходимо периодически проводить восстановительные работы, которые требуют значительных трудовых и денежных затрат. Использование для мелиоративных и гидротехнических сооружений новых, продляющих срок их эксплуатации, инновационных материалов приводящих к снижению эксплуатационных затрат является актуальной задачей.

В результате эксплуатации у гидротехнических сооружений после замерзания-оттаивания и воздействия воды со временем появляются трещины, в которые проникает влага. Влага воздействует на металл (арматуру) в теле конструкции, приводящая к коррозии металла. В результате этих процессов происходит расслаивание и растрескивание бетонов.

Предлагается использовать цеолит и пемзы в качестве материала-носителя или защитной среды для бактерий и лактата кальция в качестве питательного вещества [1, 3]. Бетоны с содержанием микроорганизмов для процесса восстановления должны иметь определенный состав бактерий.

Нами были рассмотрены следующие технологии бетонов с возможностью восстановления.

1. Процесс восстановления, предложенный микробиологом Хэнком Джонкерсом из Технического университета Делфта (Голландия) [1, 3] на основе применения бактерии рода *Bacillus*. Эти бактерии используют в качестве питательного вещества лактат кальция. Бактерии вместе с питательной средой помещались в биоразлагаемые под действием воды капсулы, которые разлагались под действием влаги, которая поступала в трещины и поры конструкций из восстанавливающегося материала. Учёные из Делфтского технологического университета (Нидерланды) разработали самовосстанавливающийся бетон, трещины в котором зарастают благодаря специальным бактериям. Самовосстанавливающийся бетон – возможность, дарованная природой [13, 14].

2. Группа ученых из университетов Рутгерса и бингемтонского университета в штате Нью-Йорк, США. Они предложили использовать споры грибка *Trichoderma reesei* [1]. Под воздействием воздуха и воды, поступающего в поры и трещины конструкций, грибок заделывал образовавшиеся повреждения с помощью карбоната кальция [15, 17–18].

3. Ученые из Севастопольского государственного университета предложили использовать нанопорошки со спорами бактерий. Исследования показали увеличение степени усилия на сжатие на 94 % [16].

4. Ученые из университета Мичигана, США [10, 16] использовали природные свойства морских ракушек. Они под действием воды устраняли трещины с помощью карбоната кальция [17].

5. Ученые из университета Виктория из Британской Колумбии предложили использовать пластичный цементный композит, в состав которого входят полимеры [18].

6. Использование нитрификации – способа превращения азотосодержащих соединений в нитраты и нитриты. Такие бактерии называют нитрифицирующие. Они растут в минеральных средах почв и водоемов.

Все вышеперечисленные ученые применили открытия в микробиологии и биологии при получении инновационных строительных материалов, повышая экономическую выгоду от их применения. Такие материалы отсутствуют в строительных нормах и правилах (СНиП 82-02-95, СНиП 82-01-95) [2, 8], регламентирующих состав цементных смесей в производстве бетонных и железобетонных изделий.

Бетонные растворы обладают хорошей текучестью, это позволяет использовать его при создании и заполнении сложных конструкций и сооружений. В твердом состоянии после затвердевания бетон имеет высокие показатели твердости, что позволяет использовать его при строительстве крупных объектов зданий и сооружений. Но при этом на бетон негативно влияет влага, воздействие химикатов, перепады температур, коррозия металла и т.д. Инновационные материалы на основе восстановления с помощью микроорганизмов отличаются большей стойкостью к воздействию внешних факторов, приводящих к разрушению конструкций за счет возможности самовосстановления. Эти материалы можно использовать для строительства крупных сооружений (плотин, мостов, эстакад и т.д.)

и мелких (бордюров, железобетонных заборов, и т.д.). Преимуществом таких инновационных материалов (рис. 1) является возможность применения в местах, где регулярный осмотр и производство ремонтных работ затруднено, а в некоторых случаях даже невозможно: высотные здания; подводное строительство; транспортные сооружения мостов и т.д. Другим преимуществом данных бетонов является экономия трудовых и денежных средств, которые можно направить на строительство других новых объектов.

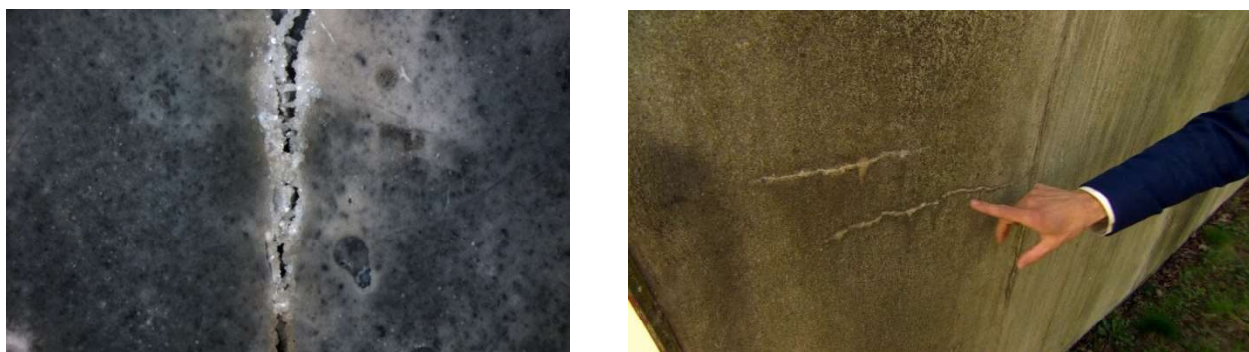


Рис. 1. Самовосстанавливающийся бетон

В соответствии с поставленной целью мы провели анализ и предложили технологический процесс создания материалов на цементной основе с добавлением микроорганизмов (рис. 2).

Технологическая схема получения биобетонов

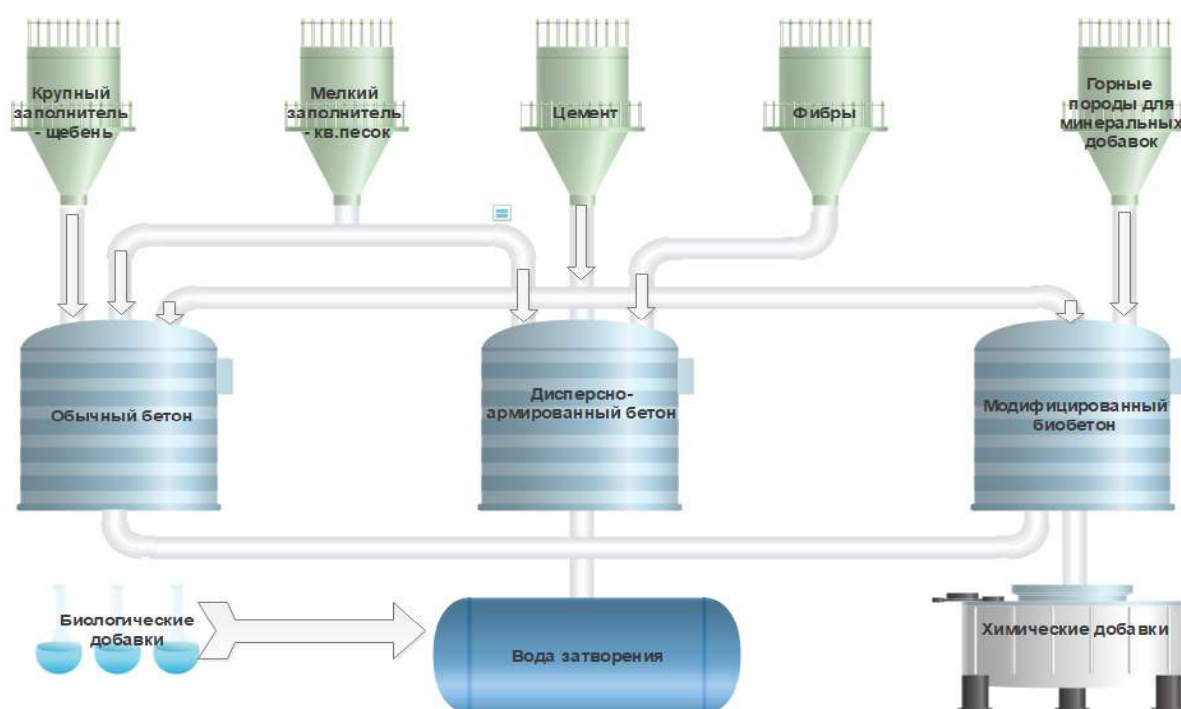


Рис. 2. Технологический процесс получения инновационных строительных материалов для гидротехнических сооружений

При строительстве гидротехнических конструкций и сооружений необходимо применять инновационные строительные материалы, которые позволяют возводить и эксплуатировать их несмотря на постоянный контакт с водой с соблюдением требований по прочности и устойчивости. Используя классификацию, для таких конструкций и сооружений используют самые качественные материалы, тяжелый вид бетона, который выдерживает действие воды и испарений. К таким конструкциям относятся фундаменты, перекрытия, опоры, подвальные помещения, при возведении автобанов, взлетно-посадочных полос и укрытий. В гидротехническом строительстве их используют для возведения дамбы, подводных и надводных конструкций, шлюзов, плотин, при укреплении береговой линии, то есть материалы, имеющие специальные водонепроницаемые свойства. Также эти материалы применяют для условий с низкими температурами, так как они обладают хорошей морозостойкостью [17].

Огромные объемы применения строительных материалов для зданий и сооружений предъявляют требования по низкой стоимости при соблюдении качества для возведения зданий и сооружений, но они требуют для работы с ними использовать персонал, имеющий специальные знания и навыки, оборудование для заливки бетонов. Таким требованиям соответствуют инновационные материалы – инновационные цементные растворы и пластификаторы [13–16].

Для гидротехнических сооружений такие материалы должны обладать прочностью большей, чем у классических стандартных материалов, хорошей гидроизоляцией, малоподверженными перепадам температур и воздействию





высоких и низких температур, высокой водонепроницаемостью в любых условиях. У гидротехнических бетонов (тяжелых бетонов) главный недостаток – высокая стоимость.

Материалы для гидротехнических конструкций и сооружений, работающие в контакте с водой в различных агрегатных состояниях должны быть морозостойкими, водонепроницаемыми и обладать высокой прочностью. Все новые инновационные материалы должны удовлетворять эти требования.

Для таких видов бетонов при возведении гидротехнических сооружений они должны иметь прочность и долговечностью в соответствии с ГОСТом; удовлетворять требованиям по растяжению при изгибе и осевому растяжению. Тяжелый бетон бывает марок D2000 и B2500; мелкозернистый D1800 и D2300. По морозостойкости (F) должны быть 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800 и 1000. По проницаемости (W) быть коррозионностойкими и обладать повышенной плотностью марок 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20.

У гидротехнических сооружений (водопоев, водосливов, туннелей, плотин, и т.д.) происходит уменьшение толщины бетонов под воздействием ударных наносов и истираний под воздействием водных потоков рек. Износ способствует выщелачиванию и развитию коррозии, фильтрацию воды.

Строительство от жилых зданий и до гидротехнических сооружений с применением бетонов происходит при разных погодных условиях, но при этом необходимо чтобы качества бетона обеспечивало необходимую прочность конструкции. Для этого применяют различные добавки, которые позволяют регулировать состав бетона. Такими добавками являются пластификаторы.

Под пластификаторами понимают специальные вещества, добавляемые в бетонные и железобетонные растворы для повышения их текучести и пластичности, увеличения морозостойкости с сохранением или улучшением своих свойств получаемого по прочности бетона [16–18].

Добавки в смеси изменяют структуру, улучшая такие показатели как: увеличение подвижности раствора, снижение водонепроницаемости и паропроницаемости, улучшают морозостойкость, увеличивают быстроту сцепления, увеличивают срок подвижности смеси и адгезию бетонных смесей, снижают расход цемента и воды, повышают класс прочности.

Применение пластификаторов позволяют цементным растворам застывать равномерно, при их применении не появляется расслоений, холодных швов и происходит хорошее сцепление с арматурой в структуре бетонов. Другими словами применение пластификаторов позволяют получить смесь высокой прочности с длительным сроком эксплуатации [16].

Другим способом улучшения свойств бетонов для гидротехнических сооружений является добавление комплексных (композитных) добавок – модификаторов. Такими добавками являются минеральные тонкодисперсные добавки в бетоны для гидротехнических сооружений (особенно для массивных конструкций и сооружений), которые используют для регулирования свойств бетонов и экономии цемента.

Другой способ улучшений характеристик бетонов – применение инновационных материалов на основе биодобавок. Механизм действия инновационных материалов на цементной основе следующий: при попадании воды, бактерии начинают действовать, поглощая лактат кальция и выделяя карбонат кальция (кальцит), который заполняет трещины в бетоне. Такой бетон идеален для гидротехнических сооружений, так как к нему затруднен доступ для обслуживания. Такие современные биобетоны с сухими компонентами имеют большой диапазон применения, как самонивелирующий, самоуплотняющийся, дисперсно-армирующий, высокопрочный и т.д., то есть удовлетворяют любым требованиям по прочности. Микроорганизмы в таких составах находятся в спящем состоянии, пока не будет воздействия влаги. После воздействия влаги бактерии начинают выделять карбонат кальция, который и будет устранять трещины в сооружениях без участия человека.

В данном исследовании привели анализ инновационных материалов для гидротехнических сооружений, которые являются перспективными и в ближайшем будущем займут свое место и приобретут популярность у строителей и проектировщиков. Плюсы данных материалов – соотношение цены и качества на высоком уровне при технологической сложности их производства, увеличенный срок службы по сравнению с привычными аналогами, низкая стоимость эксплуатационных затрат. При этом в стоимости эти инновационные материалы не так сильно отличаются от классических бетонов.

Заключение. Из анализа литературных источников мы пришли к выводу, что продолжительная эксплуатация различных гидротехнических сооружений испытывает воздействие воды и окружающей среды. Все эти факторы приводят к снижению прочности конструкции гидротехнических сооружений. К таким причинам относятся воздействия внешних факторов, неблагоприятные условия окружающей среды, отсутствием стабильности объема в бетоне, экстремальные нагрузки, а также несоблюдение технологии производства строительных работ, ошибки конструирования и т.д., происходит растрескивание бетона, ухудшается его качества и, соответственно, происходит сокращение сроков его эксплуатации. Происходит растрескивание бетона, в микротрещины попадает вода, приводящая к коррозии арматуры. Нами приводятся самовосстанавливающиеся материалы (бетоны), которые после незначительного изменения прочностных свойств регенерируются за счет микроорганизмов в своем составе, приводящих к осаждению кальцита. Питательные вещества и бактерии не оказывают отрицательного воздействия на прочностные характеристики бетонов. Поэтому мы пришли к выводу, что образованием минерального осадка бактериями, которое возможно использовать для устранения трещин в бетоне перспективно. Это направление и является направлением наших дальнейших исследований. Для этого необходимо подобрать вид бактерий, который будет жизнеспособным в течение длительного времени и проверить эффективность этих бактерий устранять трещины больших размеров за счет выделения минералов, предотвращая коррозию металла арматуры. Это направление исследований очень перспективное, потенциальная прибыль от применения таких бетонов в гидротехнических сооружениях огромна.

1. Ерофеев В.Т., Дергунов А.В., Аль Дулайми С.Д.С. Исследование биобетонных и их применение // Научные технологии и инновации. Сборник докладов международной научно-практической конференции, посвящ. 65-летию ВГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2019. С. 56–59.
2. СП 41.13330.2012 «СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений». М., 2012.
3. Интеллектуальные композиты и их использование для получения самовосстанавливающихся бетонов / В.Т. Ерофеев [и др.] // Транспортные сооружения. 2019. № 4. Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/12SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12SATS419.
4. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. М., 2010.
5. ГОСТ 47-95-53. Гидротехнический бетон. Общие требования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200096339>.
6. Бактерии для получения самовосстанавливающихся бетонов / В.Т. Ерофеев [и др.] // Транспортные сооружения. 2018. № 4. Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/07SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/07SATS418
7. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Без предварительно напряжения арматуры. М., 2003.
8. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. М., 2014.
9. ГОСТ 13015-2003. Изделия железобетонные и бетонные для строителя. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. М., 2003.
10. Туманов, А. Бетонные и железобетонные конструкции: учеб. пособие. Ростов н/Д., 2013. 141 с.
11. Кодзоев, М.-Б.Х., Исаченко С.Л. Самовосстанавливающийся бетон // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 4. С. 287–290.
12. Оценка перспектив применения самовосстанавливающихся материалов и технологий на их основе / Н.Н. Ситников [и др.] // Перспективные материалы. 2018. № 2. С. 5–16. DOI: 10.30791/1028-978X-2018-2-5-16.
13. Жукова Г.Г., Сайфулина А.И. Исследования применения самовосстанавливающегося бетона // Construction and Geotechnics. Пермь, 2020. Т. 11. № 4 (2020). С.58–68.
14. Ушакова В.Е., Пестрякова В.А. Инновационные виды бетонов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: сб. докладов Второй Нац. науч. конф. М., 2022. С.198-203.
15. Колчина, Т.О. Биобетон – новое поколение самовосстанавливающихся бетонов // Безопасный и комфортный город: Всерос. науч.-практ. конф. Орел, 2018. С. 102–105.
16. Ященко С. О., Адамия Д. Д. Перспективные материалы в строительстве // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. статей Междунар. науч.-практ. Конф., Волгоград, 03–04 декабря 2019 года. Волгоград, 2019. С. 30–313. – EDN ATEJJCZ.
17. Jing Xu, Xianzhi Wang, Junqing Zuo, Xiaoyan Liu. Self-Healing of Concrete Cracks by Ceramsite-Loaded Microorganisms // Advances in Materials Science and Engineering. P. 1–8.
18. Mechtcherine V. Application of superabsorbent polymers in concrete construction // RILEM State of the Art Reports 2. Springer. 2012.

REFERENCES

1. Erofeev V.T., Dergunov A.V., Al Dulaimi S.D.S. Research of biobeton and their application. *High-tech technologies and innovations*. Belgorod, 2019: 56–59.
2. SP 41.13330.2012 “SNiP 2.06.08-87 Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures. Moscow, 2012.
3. Intelligent composites and their use for obtaining self-healing concrete / V.T. Erofeev et al. *Transport Facilities*. 2019; 4. URL: <https://t-s.today/PDF/12SATS419.pdf> (access is free). Cover from the screen. Yaz. rus., eng. DOI: 10.15862/12SATS419.
4. GOST 18105-2010 Concrete. Rules for strength control and evaluation. Moscow, 2010.
5. GOST 47-95-53. Hydraulic concrete. General requirements. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096339>.
6. Bacteria for the production of self-healing concrete / V.T. Erofeev et al. *Transport Facilities*. 2018; 4. URL: <https://t-s.today/PDF/07SATS418.pdf> (access is free). Cover from the screen. Yaz. rus., eng. DOI: 10.15862/07SATS418.
7. SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures. Without prestressing the armature. Moscow, 2003.
8. SNiP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Concrete. Materials. Technologies. Equipment. M., 2014.
9. GOST 13015-2003. Reinforced concrete and concrete products for the builder. General technical requirements. Rules of acceptance, marking, transportation and storage. Moscow, 2003.
10. Tumanov, A. Concrete and reinforced concrete structures. Study guide. Rostov on Don, 2013. 141 p.
11. Kodzoev M.-B.H., Isachenko S.L. Self-healing concrete. *Bulletin of Science and Practice*. 2018; 4; 4: 287-290.
12. Evaluation of prospects for the use of self-healing materials and technologies based on them / N.N. Sitnikov et al. *Perspective materials*. 2018; 2: 5-16. DOI: 10.30791/1028-978X-2018-2-5-16.
13. Zhukova G.G., Saifulina A.I. Studies of the use of self-healing concrete. *Construction and Geotechnics*. Perm, 2020; 11; 4 (2020): 58–68.
14. Ushakova V.E., Pestryakova V.A. Innovative types of concrete. *Actual problems of the construction industry and education*. Moscow, 2022: 198–203.
15. Kolchina T.O. Biobeton – a new generation of self-healing concrete. *Safe and comfortable city*. Orel, 2018: 102–105.
16. Yashchenko S. O., Adamiya D. D. Perspective materials in construction. *Actual problems and prospects of development of the construction*. Volgograd, 2019: 309-313. – EDN ATEJJCZ.
17. Jing Xu, Xianzhi Wang, Junqing Zuo, Xiaoyan Liu. Self-Healing of Concrete Cracks by Ceramsite-Loaded Microorganisms. *Advances in Materials Science and Engineering*. 1-8.
18. Mechtcherine V. Application of superabsorbent polymers in concrete construction. *RILEM State of the Art Reports 2*. Springer. 2012.

Статья поступила в редакцию 17.04.2022; одобрена после рецензирования 22.05.2022; принята к публикации 05.06.2022.
The article was submitted 17.04.2022; approved after reviewing 22.05.2022; accepted for publication 05.06.2022.

