

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 626.823.91

doi: 10.31774/2658-7890-2021-3-1-55-65

Инновационные способы ремонта бетонных водопроводящих сооружений композиционными материалами

Олег Андреевич Баев¹, Юрий Михайлович Косиченко²

^{1,2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹Oleg-Baev1@yandex.ru

²kosichenko-11@mail.ru

Аннотация. Цель: рассматриваются современные научно-технические разработки для ремонта бетонных конструкций и облицованных водопроводящих сооружений, в т. ч. по которым получены патенты на изобретения. Некоторые из рассмотренных технических решений могут быть отнесены к инновационным разработкам. **Материалы и методы:** в качестве материалов исследований изучены известные способы ремонта бетонных конструкций водопроводящих сооружений и облицовок, отмечены их преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется техническим решениям, по которым получены патенты на изобретения. **Результаты:** ремонт повреждений бетонных облицовок водопроводящих сооружений в виде трещин и разрушений деформационных швов наиболее распространен, так как одновременно снижается водопроницаемость, увеличивается несущая способность. Ремонт методом поверхностной пропитки проводится для усиления защитного слоя железобетонных конструкций на глубину 15–35 мм. Ремонт локальных нарушений осуществляется при глубине разрушений менее 0,1 м ручным способом. Площадные разрушения при площади более 1 м² и глубине разрушения более 0,1 м рекомендуется ремонтировать механизированно. В изобретении № 1477877 предложен способ ремонта строительных конструкций и сооружений, который осуществляется методом напорной инъекции ремонтных композиций, они повышают качество ремонта за счет надежности заполнения дефектных зон. К инновационным способам ремонта облицовок относится заделка повреждений с помощью инъекции бентонитовым раствором при дистанционной передаче данных с датчиков влажности на персональный компьютер (патент № 2612431), а также способ герметизации стыков облицовок, включающий противотрационный жгут в виде полового цилиндра с наполнителем из бентонитовых глин (патент № 2598635). **Выводы:** ремонт повреждений бетонных водопроводящих облицовок наиболее распространен, так как одновременно снижается водопроницаемость бетонной конструкции, изменяется несущая способность.

Ключевые слова: ремонт бетонных облицовок, герметик, деформационные швы, локальные нарушения, площадные нарушения

WATER SUPPLY, SEWAGE, CONSTRUCTION SYSTEMS

Original article

Innovative ways of concrete water supply structures repair with composite materials



Oleg A. Baev¹, Yuriy M. Kosichenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹Oleg-Baev1@yandex.ru

²kosichenko-11@mail.ru

Abstract. Purpose: modern scientific and technical developments for repairing concrete structures and lined water supply structures, including those for which patents for inventions have been obtained are considered. Some of the considered technical solutions can be attributed to innovative developments. **Materials and Methods:** the known methods of repairing concrete structures of water-supply structures and linings were studied as research materials, their advantages and disadvantages were noted. Particular attention is paid to technical solutions for which patents for inventions have been obtained. **Results:** damage repair of concrete linings of water-supply structures in the form of cracks and destruction of expansion joints is most common, since at the same time water permeability decreases, and the bearing capacity increases. Repair by surface impregnation method is carried out to strengthen the protective layer of reinforced concrete structures to a depth of 15–35 mm. Repair of local disturbances is carried out manually at a depth of destruction less than 0.1 m. Areal disturbances with an area of more than 1 m² and a destruction depth of more than 0.1 m are recommended to be repaired mechanically. Invention no. 1477877 proposes a method for repairing construction structures and facilities, which is carried out by the method of pressure injection of repair compounds, they increase the quality of repair due to the reliability of defective zones filling. Innovative methods of facing repairing include sealing damage by injecting bentonite mortar during data remote transmission from humidity sensors to a personal computer (patent no. 2612431), as well as a method of sealing the joints of facings, including an anti-filtration bundle in the form of a hollow cylinder filled with bentonite clay (patent no. 2598635). **Conclusions:** repair of damage to concrete water-supply linings is the most common, since the water permeability of the concrete structure decreases at the same time as the bearing capacity changes.

Keywords: concrete linings repair, sealant, contraction joints, local disturbances, areal disturbances

Введение. В настоящее время протяженность водопроводящих сооружений в федеральной собственности составляет более 23 тыс. км, при этом в облицовке около 20 %, срок службы которых составляет от 40 до 70 лет.

Важным направлением при эксплуатации является необходимость снижения потерь воды на фильтрацию, которая достигает 20–30 % от водозабора. Значительные потери на фильтрацию обуславливаются низким техническим уровнем, а также разрушением бетонных покрытий из-за длительного срока эксплуатации и необходимостью ремонта.

В связи с этим возникает необходимость проведения периодического ремонта бетонных и железобетонных облицовок, вызванная старением бетона, образованием трещин, разрушением швов, шелушением поверхности

и другими причинами. Периодический ремонт облицовок разделяется на текущий и капитальный. Как правило, текущий ремонт должен проводиться чаще, через 1–5 лет, а капитальный реже, через 5–10 лет. При этом стоимость работ при текущем ремонте не должна превышать 20 % от первоначальной (балансовой) стоимости сооружения, а капитальный ремонт обычно составляет от 20 до 50 % общей стоимости объекта.

Материалы и методы. В качестве материалов исследований изучены способы ремонта бетонных конструкций сооружений и облицовок, отмечены их преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется техническим решениям, обладающим научно-технической новизной (по патентам на изобретения РФ).

Результаты и обсуждение. Ремонт повреждений на бетонных облицовках в виде трещин и разрушений деформационных швов наиболее распространен, поскольку одновременно снижается водопроницаемость покрытия, увеличивается его несущая способность и устойчивость заделки герметиком разрушенных трещин и швов [1].

Резкое снижение деформативности герметиков происходит при температурах воздуха от минус 17 до минус 20 °С; разделка паза и адгезионный контакт «герметик – бетон» соблюдается при равенстве адгезионных и когезионных напряжений. За базовый профиль принимается схема прямоугольная (с противoadгезионным слоем), что обеспечивает большую надежность герметика за счет лучшей адгезии его к бетону [1]. Ремонт методом поверхностной пропитки проводится для усиления защитного слоя железобетонных конструкций на глубину 15–35 мм.

Ремонт полимерцементными составами, усиленными фиброй, предусматривает применение соответствующих технологий, которые включают: укладку в основании бетона с добавлением в раствор фибры, зачистку оголений арматуры до требуемой степени чистоты, нанесение ремонтного состава на разрушенную поверхность ручным или механизированным способом.

В работе Г. В. Охупкина и др. [2] рассматривается проведение восстановительных работ по ремонту локальных и площадных нарушений. На практике укладка бетонных смесей и механизированное нанесение композитных материалов используется при ремонте площадных разрушений бетона более 1 м². Для ремонта локальных разрушений применяется ручное нанесение ремонтных материалов. При глубине разрушений менее 0,1 м выбирается ручное или механизированное нанесение, а при значении более 0,1 м – только механизированное.

Процесс укладки бетонной смеси, как правило, включает следующие технологические операции: удаление «слабого» бетона в области дефекта; очистка подготовленной поверхности, ее обеспыливание; монтаж или демонтаж опалубки; укладка бетонной смеси [2].

В другой работе [3] рассматриваются рациональные способы ремонта бетонных конструкций. Основными способами ремонта объемных повреждений бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (ГТС) являются: укладка бетонных смесей, изготовленных на бетонном заводе или на строительной площадке; ручное нанесение ремонтных материалов; механизированное нанесение ремонтных материалов.

Как известно, вода оказывает на ГТС механическое, физическое, химическое и биологическое воздействие. Все эти виды воздействия приводят к преждевременному разрушению сооружений и их отдельных конструкций. Значительное продление срока службы ГТС может быть достигнуто при использовании гидрофобизаторов, защитных и пропиточных составов [4]. Появление в последние годы большого количества быстротвердеющих материалов (полимерных композитов, жидкой резины и др.) позволяет провести ремонт небольших повреждений за несколько часов.

Проблема герметичности деформационных швов актуальна как для действующих, так и для введенных в эксплуатацию ГТС. Так как деформационные швы являются наиболее уязвимыми элементами ГТС, в них

заделываются противофильтрационные уплотнения и материалы для герметичного ремонта поврежденных швов [5].

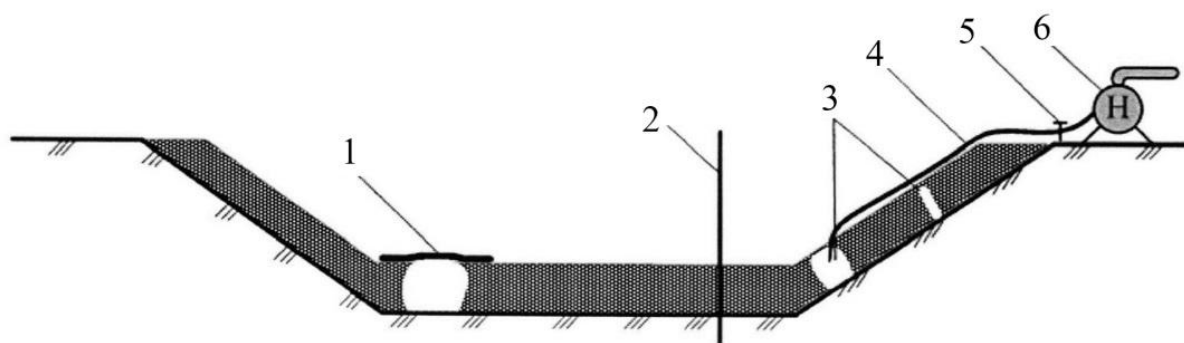
Другой способ ремонта железобетонных конструкций [6] включает заделку трещин мастикой на основе полиэфирной смолы, состоящей из нескольких компонентов. Недостатком является ограниченность использования при ремонте значительных повреждений, поскольку мастикой можно производить только заделку небольших трещин и щелей. Кроме того, данная мастика на основе полиэфирной смолы и других компонентов является недолговечной. После нескольких сезонов эксплуатации сооружения она будет подвержена трещинообразованию и становится водопроницаемой.

В изобретении В. Б. Резника, А. В. Шаршунова, Л. М. Бурцева [7] предложен способ ремонта строительных конструкций и сооружений методом напорной инъекции ремонтных композиций, которые повышают качество ремонта за счет надежности заполнения дефектных зон.

Зону дефекта очищают от загрязнения. Непосредственно в зоне дефекта образуют глубинные шурфы согласно предварительной разметке. В шурфы устанавливают перфорированные штуцера-инъекторы, подключают к ним установку для инъектирования и начинают нагнетать тампонажный раствор в зону дефекта, ступенчато повышая давление инъектирования.

Известен также способ заделки повреждений противофильтрационного экрана [8], включающий укладку полимерного материала, отсыпку защитного слоя, контроль сплошности экрана путем определения места повреждения и заделку повреждений с помощью инъекции бентонитового раствора, подаваемого под давлением, а на крупных повреждениях дополнительно устраиваются заплаты из полимерного материала. Контроль сплошности облицовки производится дистанционно с последующей передачей данных на персональный компьютер. На рисунке 1 представлена схема заделки повреждений противофильтрационного экрана, а на

рисунке 2 – схема дистанционной передачи данных с датчиков влажности, установленных под облицовкой, на персональный компьютер [8].



1 – заплата; 2 – полимерная перемычка; 3 – повреждения в экране;
4 – шланг полиэтиленовый; 5 – регулирующее устройство; 6 – насос

Рисунок 1 – Заделка повреждений противофильтрационного экрана



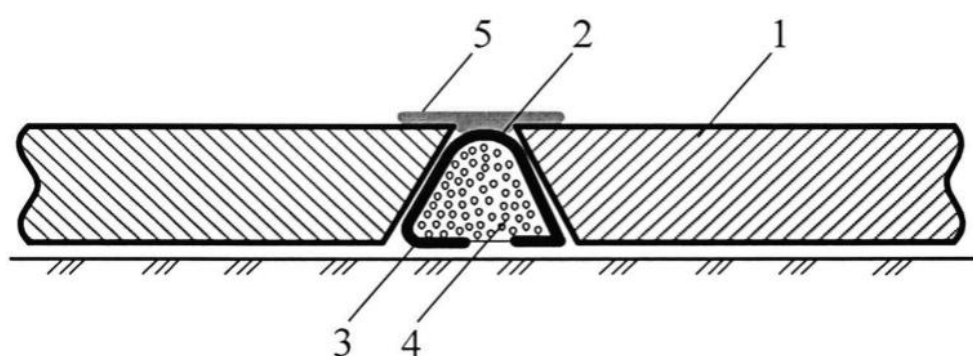
1 – датчик влажности; 2 – портативный регистратор данных;
3 – персональный компьютер

Рисунок 2 – Схема дистанционной передачи данных с датчиков влажности на персональный компьютер

Преимущество разработанного способа заключается в том, что контроль целостности экрана производится автоматически и дистанционно, вся необходимая информация об утечках поступает на персональный компьютер, а заделка повреждений (швов, щелей и др.) производится точно инъекцией бентонитового раствора или с помощью заплат.

Для герметизации стыков облицовок каналов и водоемов предложен способ [9], включающий противофильтрационный жгут в виде полого цилиндра с наполнителем из бентонитовых глин. Герметизирующий элемент выполняют из перфорированной геомембраны с наполнителем из бентонитового жгута, обжатого жидкой резиной.

Способ герметизации швов водопроводящих ГТС [10] включает герметизирующий элемент и защитный слой, в качестве герметизирующего элемента используют противофильтрационный жгут, выполненный из перфорированной полимерной геомембраны толщиной 0,2 мм с наполнителем из бентонитовых глин. При этом для герметизации пространства между швом и бетонным покрытием используют жидкую композицию на основе полиэтилена, которая наносится на дефектный участок бетона вблизи и поверх противофильтрационного жгута (рисунок 3).



1 – бетонная облицовка; 2 – герметизирующий элемент; 3 – оболочка из геомембраны; 4 – наполнитель из бентонита; 5 – жидкая композиция

Рисунок 3 – Схема бетонной облицовки с деформационным швом

Для ремонта бетонных облицовок каналов разработан способ [11], который заключается в замене поврежденного участка покрытия противофильтрационным элементом в виде профилированной геомембраны, укладываемой на свежеложенный бетон жесткими ребрами вниз.

Применение данного способа позволит достаточно быстро и эффективно производить ремонт различных повреждений на бетонных облицовках оросительных каналов. Благодаря использованию полимерных геомембран будет значительно снижена шероховатость бетонной облицовки (особенно на поврежденных участках), что также позволит увеличить пропускную способность.

Применение профилированной геомембраны и геосетки для ремонта повреждений бетонных облицовок каналов позволит существенно про-

длить срок службы ГТС на 30–40 лет, снизить потери воды на фильтрацию, а также уменьшить объемы бетонных работ.

Для реконструкции деформационных швов сборных противофильтрационных бетонных и железобетонных облицовок ГТС может также применяться технологическое решение по патенту № 2307815 [12]. Герметичность обеспечивается увеличением площади соприкосновения прокладки и поверхности облицовок, а также сложной геометрией полученного паза, препятствующего естественной фильтрации воды [13]. Применение конструктивно-технологического решения (по патенту № 2307815 [12]) позволит повысить надежность стыковых соединений бетонных облицовок, сократить сроки ремонта деформационных швов ГТС, уменьшить потери воды на фильтрацию.

Выводы

1 В статье рассматриваются современные научно-технические разработки для ремонта бетонных конструкций облицовок водопроводящих сооружений (в т. ч. по патентам на изобретения РФ), некоторые из них могут быть отнесены к инновационным разработкам и применены на практике.

2 Устранение повреждений в виде трещин и разрушений различных бетонных водопроводящих сооружений и облицовок, а также их деформационных швов может проводиться ручным или механизированным способами в зависимости от величины разрушений.

3 Для ремонта крупных повреждений предложен метод напорной инъекции жидкими композиционными материалами, которые повышают качество ремонта за счет надежности заполнения дефектных зон.

4 К инновационным способам ремонта облицовок водопроводящих сооружений относится заделка повреждений с помощью инъекции бентонитовым раствором с дистанционной передачей данных о влажности под покрытием на персональный компьютер, герметизация стыков облицовок противофильтрационным жгутом в виде цилиндра с наполнителем из бен-

тонитовой глины, способ замены поврежденного участка покрытия методом укладки профилированной геомембраны на свежесуложенный бетон толщиной 0,05 м.

Список источников

1. Резник В. Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. Киев: Будівельник, 1987. 176 с.
2. Охупкин Г. В., Давиденко В. М. Проектное обоснование рациональных технических решений по ремонту локальных и площадных разрушений бетона гидротехнических сооружений // Известия ВНИИГ им Б. Е. Веденеева. 2019. Т. 294. С. 111–121.
3. Охупкин Г. В. Выбор способов ремонта бетона в зоне переменного уровня // Известия ВНИИГ им Б. Е. Веденеева. 2018. Т. 288. С. 75–82.
4. Ледина М. В., Лупанов Д. Н. Требования к материалам для ремонта и защиты железобетонных конструкций гидротехнических сооружений // Гидротехника. 2010. № 3(20). С. 60–61.
5. Тихомиров А. А., Изотов С. В. Опыт проектирования и реализации технических решений по герметизации деформационных и строительных швов гидротехнических сооружений методом инъектирования // Гидротехническое строительство. 2020. № 2. С. 21–24.
6. Способ ремонта железобетонных конструкций: а. с. 1631054 СССР: С 04 В 26/18 / А. И. Меликсетян, Р. А. Алавердян, Р. З. Алексанян. № 4674794/33; заявл. 06.04.89; опубл. 28.02.91, Бюл. № 8. 4 с.: ил.
7. Способ ремонта строительных конструкций: а. с. 1477877 СССР: Е 04 F 21/12 / В. Б. Резник, А. В. Шаршунов, Л. М. Бурцев. № 4228269/29-33; заявл. 13.04.87; опубл. 07.05.89, Бюл. № 17. 2 с.: ил.
8. Способ заделки повреждений противодиффузионного экрана: пат. 2612431 Рос. Федерация: МПК Е 01 С 7/35 / Баев О. А.; заявитель и патентообладатель О. А. Баев. № 2015148104; заявл. 09.11.15; опубл. 09.03.17, Бюл. № 7. 10 с.
9. Способ герметизации стыков облицовок каналов и водоемов с бентонитовым жгутом: пат. 2598635 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 3/16 / Ищенко А. В., Косиченко Ю. М., Баев О. А., Склярченко Е. О.; заявитель и патентообладатель Дон. гос. аграр. ун-т. № 2014154338/13; заявл. 30.12.14; опубл. 27.09.17, Бюл. № 27. 6 с.
10. Способ герметизации швов водопроводящих гидротехнических сооружений: пат. 2644885 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 3/16 / Баев О. А.; заявитель и патентообладатель О. А. Баев. № 2017118309; заявл. 25.05.17; опубл. 14.02.18, Бюл. № 5. 7 с.
11. Способ реконструкции деформационных швов сборных противодиффузионных бетонных и железобетонных облицовок гидротехнических сооружений: пат. 2654084 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 3/16 / Семенов С. Я., Арьков Д. П., Марченко С. С., Скворцов В. Ф., Попов П. С.; заявитель и патентообладатель Федер. науч. центр агроэкологии, комплекс. мелиораций и защит. лесоразведения Рос. акад. наук. № 2016123743; заявл. 15.06.16; опубл. 16.05.18, Бюл. № 14. 8 с.
12. Способ восстановления или нанесения защитного слоя на бетонные и железобетонные поверхности: пат. 2307815 Рос. Федерация: МПК Е 02 В 3/16 / Сысоева Н. А., Сысоев А. К.; заявитель и патентообладатель Н. А. Сысоева, А. К. Сысоев. № 2006103317/03; заявл. 06.02.06; опубл. 10.10.07, Бюл. № 28. 7 с.
13. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Гарбуз А. Ю. Оценка водопроницаемости бетоноплочной облицовки с закоматированными швами при длительной эксплуатации каналов // Вестник МГСУ. 2016. № 7. С. 114–133.

References

1. Reznik V.B., 1987. *Novye materialy i konstruksii na osnove polimerov v vodokhozyaystvennom stroitel'stve* [New Materials and Structures Based on Polymers in Water Industry Construction]. Kiev, Budivelnik Publ., 176 p. (In Russian).
2. Okhapkin G.V., Davidenko V.M., 2019. *Proyektnoe obosnovanie ratsional'nykh tekhnicheskikh resheniy po remontu lokal'nykh i ploshchadnykh razrusheniy betona gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Design substantiation of rational technical solutions on repair of local and areal destruction of concrete in hydraulic structures]. *Izvestiya VNIIG im B. E. Vedeneeva* [Bull. VNIIG named after B.E. Vedeneev], vol. 294, pp. 111-121. (In Russian).
3. Okhapkin G.V., 2018. *Vybor sposobov remonta betona v zone peremennogo urovnya* [Selection of concrete repair methods in variable level area]. *Izvestiya VNIIG im B. E. Vedeneeva* [Bull. VNIIG named after B.E. Vedeneev], vol. 288, pp. 75-82. (In Russian).
4. Ledina M.V., Lupanov D.N., 2010. *Trebovaniya k materialam dlya remonta i zashchity zhelezobetonnykh konstruksiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Requirements for materials for repair and protection of reinforced concrete structures of hydraulic structures]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Structures], no. 3(20), pp. 60-61. (In Russian).
5. Tikhomirov A.A., Izotov S.V., 2020. *Opyt proektirovaniya i realizatsii tekhnicheskikh resheniy po germetizatsii deformatsionnykh i stroitel'nykh shvov gidrotekhnicheskikh sooruzheniy metodom in'ektirovaniya* [Experience in design and implementation of technical solutions for sealing deformation and construction joints of hydraulic structures by injection]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 2, pp. 21-24. (In Russian).
6. Meliksetyan A.I., Alaverdyan R.A., Aleksanyan R.Z., 1989. *Sposob remonta zhelezobetonnykh konstruksiy* [Method for Repairing Reinforced Concrete Structures]. Author's certificate of the USSR, no. 1631054. (In Russian).
7. Reznik V.B., Sharshunov A.V., Burtsev L.M., 1987. *Sposob remonta stroitel'nykh konstruksiy* [Method for Repairing Construction Structures]. Author's certificate of the USSR, no. 1477877. (In Russian).
8. Baev O.A., 2015. *Sposob zadelki povrezhdeniy protivofil'tratsionnogo ekrana* [Repair Method of Damage to the Anti-Filtration Screen]. Patent RF, no. 261243. (In Russian).
9. Ishchenko A.V., Kosichenko Yu.M., Baev O.A., Sklyarenko E.O., 2014. *Sposob germetizatsii stykov oblitsovok kanalov i vodoemov s bentonitovym zhgutom* [Method of Sealing Canals and Reservoirs Linings Joints with Bentonite Tow]. Patent RF, no. 2598635. (In Russian).
10. Baev O.A., 2017. *Sposob germetizatsii shvov vodoprovodyashchikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Method of Sealing the Seams of Water-Conducting Hydraulic Structures]. Patent RF, no. 2644885. (In Russian).
11. Semenenko S.Ya., Arkov D.P., Marchenko S.S., Skvortsov V.F., Popov P.S., 2016. *Sposob rekonstruksii deformatsionnykh shvov sbornykh protivofil'tratsionnykh betonnykh i zhelezobetonnykh oblitsovok gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Method of Reconstructing Expansion Joints of Prefabricated Impervious Concrete and Reinforced Concrete Linings of Hydraulic Structures]. Patent RF, no. 2654084. (In Russian).
12. Sysoeva N.A., Sysoev A.K., 2006. *Sposob vosstanovleniya ili naneseniya zashchitnogo sloya na betonnye i zhelezobetonnye poverkhnosti* [Method of Restoration or Application of Protective Layer on Concrete and Reinforced Concrete Surfaces]. Patent RF, no. 2307815. (In Russian).
13. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., Garbuz A.Yu., 2016. *Otsenka vodopronitsaemosti betonoplenochnoy oblitsovki s zakol'matirovannymi shvami pri dlitelnoy eksplustatsii kanalov* [Water permeability assessment of a concrete-foam lining with colmated seams in case of long-term operation of canals]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of MGSU], no. 7, pp. 114-133. (In Russian).

Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3, № 1. С. 55–65.
Ecology and water management. 2021. Vol. 3, no. 1. P. 55–65.

Информация об авторах

О. А. Баев – старший научный сотрудник, кандидат технических наук;

Ю. М. Косиченко – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

O. A. Baev – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences;

Yu. M. Kosichenko – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.12.2020; одобрена после рецензирования 11.02.2021; принята к публикации 03.03.2021.

The article was submitted 24.12.2020; approved after reviewing 11.02.2021; accepted for publication 03.03.2021.