



УДК 626:666.97.033.3

С. Д. СЛЕПОВ, аспирант кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-92; +7 (920) 019-31-50; эл. почта: sevchansky@mail.ru

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, ремонтно-восстановительные работы, ремонт бетона, бетонная смесь, восстановление бетона, самовосстанавливающийся бетон.

Проведен обзор основных видов повреждений бетонных конструкций гидротехнических сооружений (ГТС). Изучены особенности ремонтно-восстановительных работ на ГТС и сформулированы выводы о возможности применения самовосстанавливающегося бетона в гидротехническом строительстве.

Гидротехническое строительство крайне требовательно к используемым материалам, что оправдано высокой ответственностью возводимых сооружений. Бетон является основным строительным материалом для большинства гидротехнических сооружений (ГТС) и конструктивных элементов, определяя их высокую надежность и долговечность.

Специфика работы ГТС подразумевает постоянный контакт с водой. Вода оказывает на бетон физическое, химическое, механическое и биологическое воздействия. *Физическое* воздействие обусловлено циклами попеременного замораживания и оттаивания, происходит также истирание поверхности сооружения водой (процесс кавитации), наносами или льдом. При *химическом* воздействии происходит выщелачивание бетона под воздействием агрессивных веществ, *механическое* воздействие связано со статическим давлением воды и льда. *Биологическое* воздействие связано с деятельностью микроорганизмов, обитающих в водной среде.

Совокупное влияние вышеперечисленных факторов, в сочетании с физическим износом, способствует накоплению прогрессирующих разрушений, оказывая негативное влияние на состояние бетона. Разрушается объемная структура бетона, образуются трещины с проявлением фильтрации и признаками коррозии бетона (выщелачивание, высолы), происходит шелушение поверхности, разрушение строительных и деформационных швов, образование раковин, выбоин, сколов, эрозионных впадин.

Для поддержания работоспособности бетонных и железобетонных конструкций ГТС проводятся ремонтно-восстановительные работы. Основная цель проведения ремонтов ГТС – продление срока надежной работы. Это позволит гидротехническим сооружениям безотказно выполнять свои функции в течение срока эксплуатации.

Для конкретного ГТС выбор оптимального технического решения по ремонту – сложная задача, для которой необходимо поэтапное решение (рис. 1).

Несмотря на наличие большого количества разработанных технических решений по ремонту ГТС от производителей строительных материалов (*Mapei*, *BASF*, *Bergauf*, Геоцем и др.) [1-3], вопрос осложняется отсутствием нормативно-технической документации (НТД), способной урегулировать процесс ремонтно-восстановительных работ на ГТС.

Согласно исследованиям О. Е. Бибиной и Г. В. Охупкина [4] в настоящее время отсутствует НТД, регламентирующая ремонтно-восстановительные работы на ГТС. В исследованиях проведен анализ и систематизированы данные, описывающие подходы к выбору технических решений по ремонту разрушений бетона ГТС. В общих случаях для выбора технических решений по ремонту бетона используется следующая НТД: для Российской Федерации – [5-6], для Европейского союза – [7-9], для Республики Беларусь – [10-12]. Вопрос осложнен тем, что существующая НТД не регламентирует выбор технических решений для различных видов разрушений бетона и недостаточна для их обоснования.

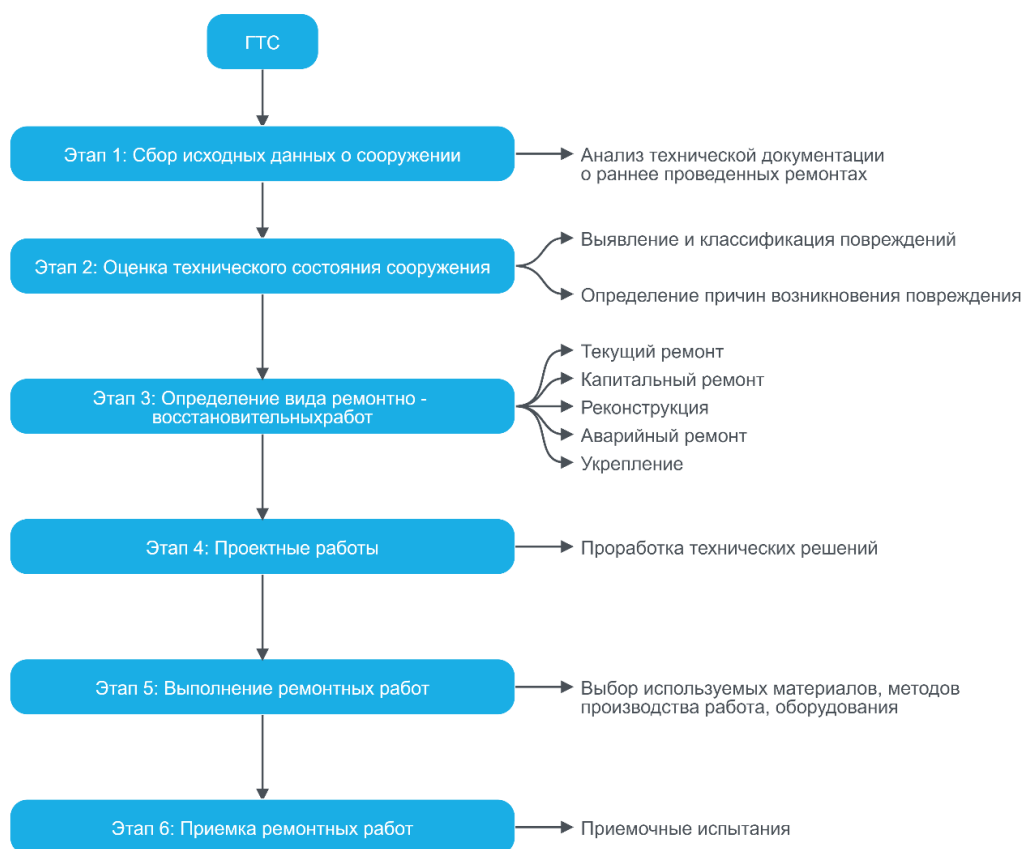


Рис. 1. Этапы ремонтно-восстановительных работ на ГТС

Дополнительной сложностью ремонта бетона ГТС является специфика работы самого сооружения и труднодоступность места повреждения, когда использование традиционных методов ремонта крайне затруднительно или вовсе невозможно.



В настоящей статье приведены сведения об основных видах повреждений бетона гидротехнических сооружений (табл.) и описаны существующие технологии ремонта этих повреждений.

Мониторинг состояния ГТС и их конструктивных элементов проводится с периодичностью один раз в 5 лет [13]. Комплексное обследование состояние бетона конструкций ГТС (рис. 2) включает обязательное сопоставление результатов, полученных разными методами, локальное зондирование, размещение систем мониторинга с целью отслеживания динамики процессов разрушения.

Таблица

Основные виды повреждений бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений и причины их возникновения [14, 15]

Бетонные конструкции гидротехнических сооружений (плотины, дамбы, подпорные стены и др.)	
тип разрушения	причина разрушения
коррозия бетона	- контакт с агрессивной водой; - фильтрация воды; - попеременной замораживания и оттаивание; - воздействие солнечной радиации.
разрушение бетона	- кавитация или гидроабразивный износ; - механическое воздействие.
раскрытие швов	- температурные воздействия; - другие воздействия (просадки основания, землетрясения и т.д.).
образование трещин (ориентированные вдоль и поперек оси сооружения)	- силовые нагрузки; - температурные воздействия.
Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений (плотины, шлюзы, здания ГЭС, водоводы и тоннели с железобетонной облицовкой, подпорные стены, отдельные устои и пирсы, плиты крепления откосов грунтовых сооружений и др.)	
тип разрушения	причина разрушения
деструкция бетона	- фильтрация воды; - попеременное замораживание и оттаивание; - кавитация.
отслоение защитного слоя бетона	- неправильно подобранный состав бетонной смеси; - недостаточное или избыточное вибрирование бетонной смеси; - попеременное замораживание и оттаивание; - карбонизация; - механическое воздействие.
коррозия арматуры	- взаимодействие воды и арматуры в следствии фильтрации воды через трещины сооружения.
механическое повреждение арматуры	- силовое воздействие.
нормальные и наклонные трещины в растянутой зоне элемента с раскрытием больше допустимой ширины, трещины вдоль сжатой зоны элемента, трещины в защитном слое бетона вдоль стержней арматуры	- силовые нагрузки; - температурные воздействия; - попеременное замораживание и оттаивание.

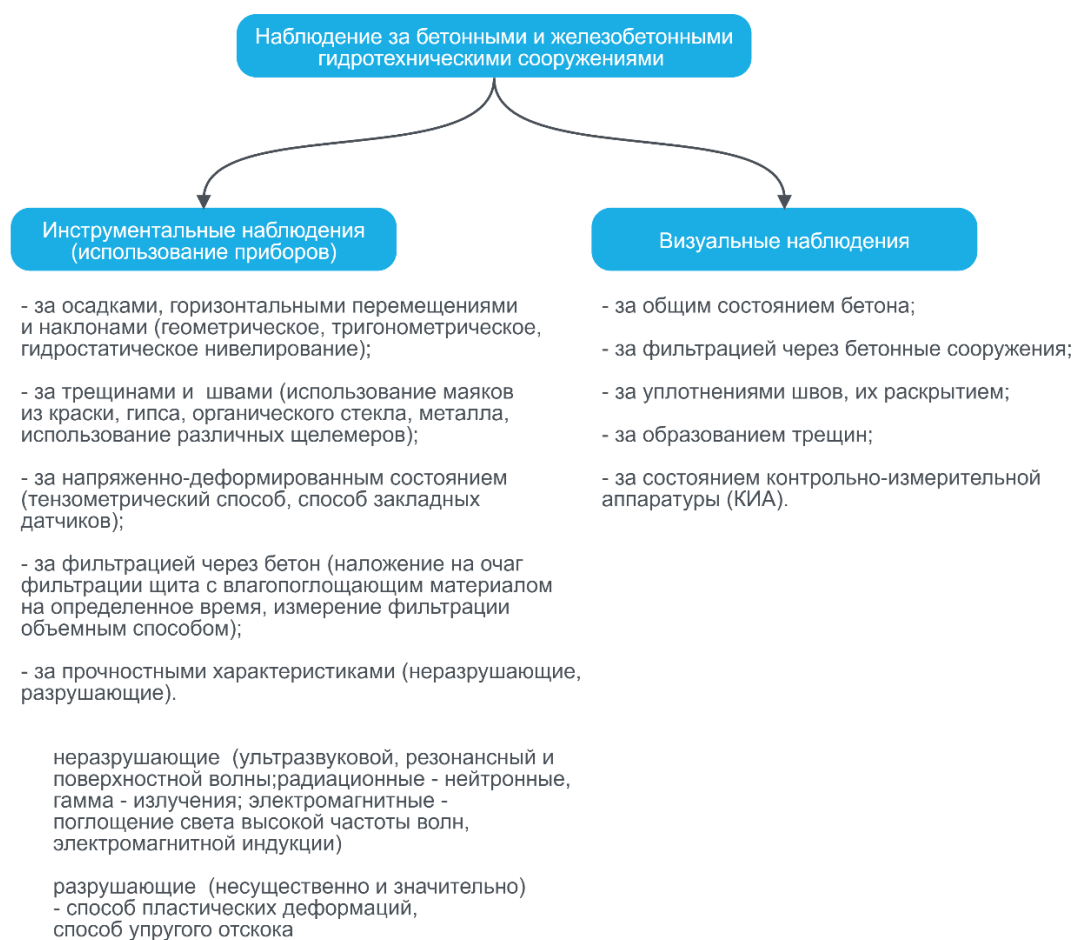


Рис. 2. Виды наблюдений за состоянием бетонных гидротехнических сооружений (ГТС) [16]

Особую роль при выборе технологии ремонта бетона ГТС играет место расположения повреждения. Повреждение может быть расположено в следующих зонах ГТС (рис. 3) [17]:

- для общих случаев (надводной, подводной или зоне переменного уровня (ЗПУ));

- для особых случаев (сложная геометрия конструкции, отсутствие возможности установки заградительных устройств, отсутствие возможности механизированного способа восстановления бетона).

Процесс восстановления бетона в подводной и ЗПУ, а также в особых условиях трудоемок и требует использования специальных устройств. Подводное бетонирование подразумевает укладку бетонной смеси без осуществления водоотливных работ («мокрое бетонирование»). Основными задачами подводного бетонирования являются: возможность свободного падения бетонной смеси через толщу воды и защита уже уложенного бетона от размывания.

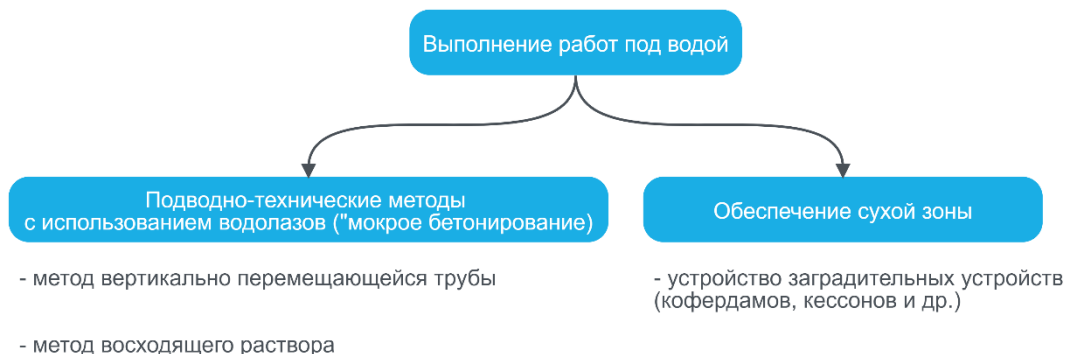


Рис. 3. Методы выполнения ремонтных работ под водой и в ЗПУ на ГТС

Метод вертикально перемещающейся трубы (ВПТ)

Этот метод наиболее эффективен при проведении работ на глубине от 1,5 до 50 м, когда основной задачей является получение прочной монолитной конструкции. Бетонирование конструкции осуществляется в котловане, огражденном от воздействия воды. Для ограждения используют специально изготовленную опалубку, представляющую собой пространственные блоки из металла, железобетона или дерева (рис. 4).

Для подачи бетонной смеси используются стальные трубы, соединенные звеньями и защищенные от проникновения воды. На верхнем конце трубы находится воронка, закрепленная на надстройке ограждения котлована, на нижнем конце трубы – металлический клапан.

В бетонируемое пространство по стальным трубам подают готовую бетонную смесь с помощью мощных бетононасосов и пневмонагнетателей, затем, после полного заполнения труб бетоном, открываются клапаны и смесь растекается. Укладка смеси способом ВПТ исключает воздействие воды на раствор.

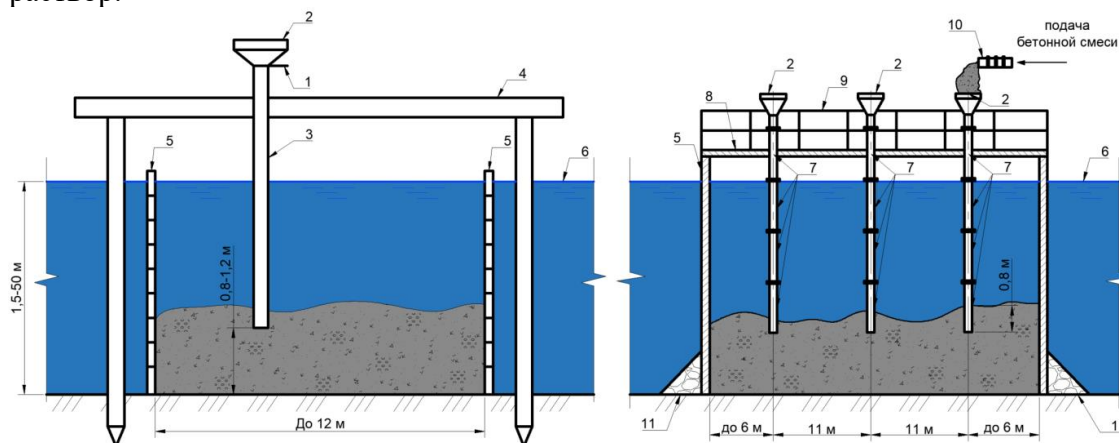


Рис. 4. Технологии подводного бетонирования методом вертикально перемещающейся трубы [19]: 1 – затвор воронки; 2 – воронка; 3 – бетонолитная труба; 4 – рабочая эстакада (настил); 5 – опалубка (шпунтовое ограждение) по контуру бетонируемой конструкции; 6 – уровень воды; 7 – звенья труб; 8 – дополнительное крепление опалубки; 9 – ограждение; 10 – бетоновод; 11 – каменно-щебеночная отсыпка

После открытия клапанов выходящая из труб смесь растекается по площади котлована. Бетонирование конструкции без подъема трубы продолжается, пока

бетон не поднимется над нижним концом трубы на 0,8–1,5 м. После поднятия трубы на высоту звена работы временно прекращают, верхнее звено демонтируют, следя за тем, чтобы вода не попала в трубу. После установки воронки в новую трубу бетонирование возобновляют [18-19].

Метод восходящего раствора

Этот метод (рис. 5) используется преимущественно при строительстве на слабых грунтах, требующих постепенной загрузки, и разделяется на два вида: безнапорный и напорный. При безнапорном способе в центре бетонируемого блока монтируется шахта, в которую опускаются трубы, после чего ограниченное опалубкой пространство заполняется каменной засыпкой, а затем в пустоты заливают цементную растворную смесь. В случае с напорным типом бетонирования растворная смесь подается по трубам в каменную засыпку. Растворная смесь поднимается вверх, постепенно вытесняя воду.

Размеры каменной наброски для бутобетонной кладки – 150–400 мм, для бетонной – 40–150 мм. Цементная растворная смесь изготавливается на мелких песках для возможности полного обволакивания каменного заполнителя.

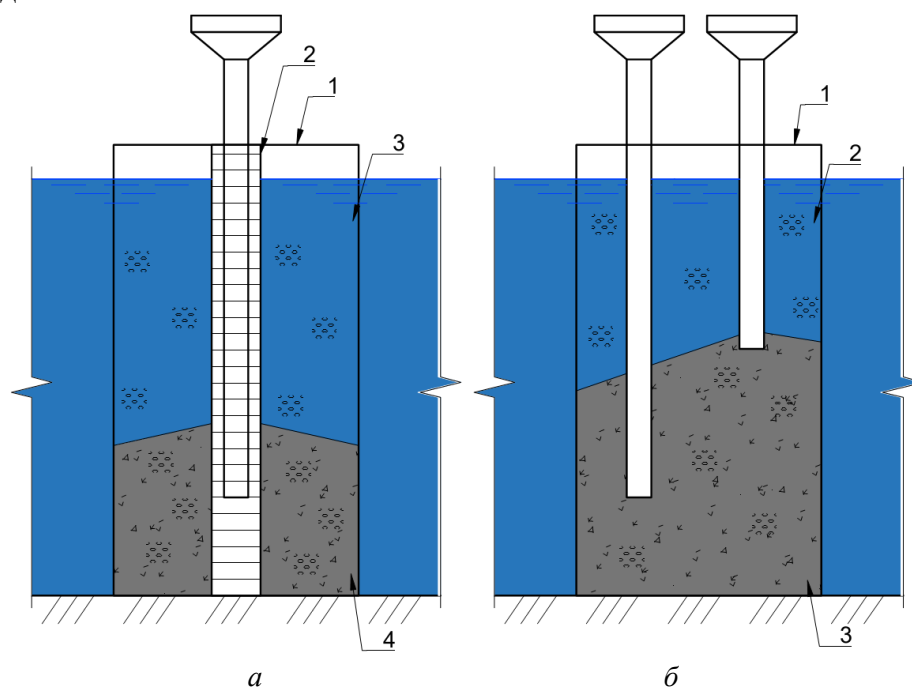


Рис. 5. Технологии подводного бетонирования методом восходящего раствора: (а) – безнапорный метод: 1 – опалубка; 2 – шахта; 3 – каменный заполнитель; 4 – раствор с каменным заполнителем; (б) – напорный метод: 1 – опалубка; 2 – каменный заполнитель; 3 – раствор с каменным заполнителем

Труба постоянно должна быть опущена в растворную смесь на глубину не менее 0,8 м. По мере увеличения уровня бетонирования верхние звенья трубы демонтируют. После частичного затвердевания излишки растворной смеси удаляются с поверхности. Данный метод является гравитационным, поскольку растекание цементной растворной смеси происходит под напором столба растворной смеси [18-19].

Методы «мокрого» бетонирования имеют недостатки, к которым относятся невысокая производительность работы водолазов, недолговечность ремонта в подводных условиях и отсутствие возможности пооперационного контроля.

Ремонт бетона гидротехнических сооружений с обеспечением сухой зоны считается наиболее рациональным. В этом случае используются заградительные устройства (коффердамы, надувные дамбы, кессоны, гермокамеры) (рис. 6). Обеспечение сухой зоны позволяет выполнить надежный и качественный ремонт, осуществить технический контроль, снизить негативное воздействие на окружающую среду.

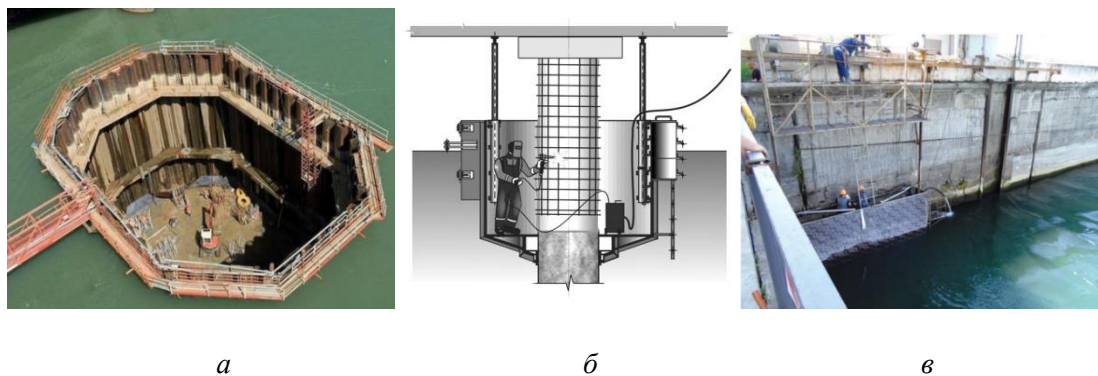


Рис. 6. Примеры заградительных приспособлений для обеспечения сухой зоны: *а* – гермокамера; *б* – кессон; *в* – коффердам

В зависимости от глубины и площади повреждения бетонной конструкции ГТС нанесение ремонтных материалов осуществляется ручным или механизированным способом (торкретирование).

Долговечность восстановленных элементов и длительность межремонтного периода напрямую зависят от качества используемых материалов, к которым предъявляются следующие требования [20-22]:

- прочность при сжатии и растяжении ремонтной смеси должна находиться в пределах не ниже, чем на один класс, и не выше, чем на два класса, чем прочность основной бетонной конструкции;
- распалубочная прочность ремонтного состава должна быть не менее 20 МПа;
- прочность сцепления ремонтной смеси с основанием (адгезия) должна быть не менее 2 МПа в возрасте 28 суток;
- усадочные деформации ремонтного состава от момента начала схватывания до 14 суток не должны превышать величины 0,1 мм/м (0,01%);
- морозостойкость и водонепроницаемость должны быть не менее чем на марку выше проектной марки основного бетона ремонтируемых конструкций.

Несмотря на значительное количество предложенных технических решений по ремонтно-восстановительным работам бетонных и железобетонных конструкций ГТС, наблюдается нехватка исследований в области нормативного урегулирования ремонтов. В настоящее время в мировом гидротехническом строительстве используется нормативная документация [5-12], не способная полноценно учесть специфику работы ГТС. Также осложняется и технологическая составляющая, для ремонта бетона труднодоступных зон ГТС (ЗПУ, подводная зона) необходимо использование заградительных устройств, что увеличивает трудоемкость процесса и требует серьезных финансовых затрат. Поэтому, актуальным становится поиск решений по ремонтно-восстановительным работам, которые будут осуществляться автономно.



За последние десять лет, в области строительных материалов произошел серьезный прорыв, разработан самовосстанавливающийся бетон. Технология самовосстановления этого материала позволяет повысить прочностные характеристики бетонных конструкций ГТС и добиться повышенной устойчивости к трещинообразованию [23-27].

Основное преимущество этого материала - автономная регенерация. Использование самовосстанавливающего бетона в гидротехническом строительстве способно увеличить долговечность бетонных конструкций ГТС и уменьшить необходимость в постоянном мелком ремонте бетона ГТС, сократив затраты на обслуживание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по применению материалов торговой марки MAPEI на гидротехнических сооружениях – 2017. – 147 с. – Текст : непосредственный.
2. Леонтьев А. М., Васильева А. В. Технологии BASF для ремонта судоходных гидротехнических сооружений Беломорско – Балтийского канала. – Текст : непосредственный // Гидротехническое строительство. – 2017. – № 7. – С. 11–15.
3. Альбом технических решений по гидроизоляции, ремонту и защите ж/б конструкций гидротехнических сооружений – 2019. – 29 с. – Текст : непосредственный.
4. Бибина, О. Е. Анализ нормативной документации по вопросам ремонта трещин в бетонных конструкциях ГТС / О. Е. Бибина, Г. В. Охапкин. – Текст : непосредственный // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2022. – Том 306. – С. 32–40.
5. ГОСТ 32016-2012. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Общие требования : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1973-ст : дата введения 2014-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 20 с. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 33762-2016. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 мая 2016 г. № 373-ст. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 80 с. – Текст : непосредственный.
7. СТО 17230282.27.010.001-2007. Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния : дата введения 2007-11-30. – Москва : ЕЭС России, 2007. – 180 с. – Текст : непосредственный.
8. BS EN 1504-7:2006. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity – Reinforcement corrosion protection. – 2006. – 29 Sep.
9. BS EN 1504-9:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity – General principles for use of products and systems. – 2009. – 31 Jul.
10. СТБ EN 1504-5-2019. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия. Часть 5. Инъекционирование бетона. – Белорусь : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2019. – 41 с. – Текст : непосредственный.
11. СТБ EN 1504-7-2019. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия. Часть 7. Защита арматуры от коррозии. – Белорусь : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2019. – 19 с. – Текст : непосредственный.



12. СТБ EN 1504-9-2019. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия. Часть 9. Общие правила по применению материалов и систем. – Беларусь : РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2019. – 29 с. – Текст : непосредственный.

13. Об утверждении Методических указаний по проверке гидротехнических сооружений на этапе их эксплуатации : приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.06.2016 №240. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201813/ (дата обращения 20.03.2024). – Текст : электронный.

14. Руководство по методике оценки ресурса работоспособности и безопасности бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1997. – 55 с. – Текст : непосредственный.

15. Методические указания по химическому контролю коррозионных процессов при фильтрации воды через бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения : РД 153-34.2-21.544.2002. – Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2003. – 95 с. – Текст : непосредственный.

16. Кавешников, Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 271 с. – ISBN: 5-10-000843-1. – Текст : непосредственный.

17. Охапкин, Г. В. Совершенствование методов выбора технических решений по восстановлению объемной структуры бетона конструкций ГТС / Г. В. Охапкин. – Текст : непосредственный // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2023. – Том 307. – С. 39–50.

18. Годес, Э. Г. Строительные подводно – технические работы : справочник / Э. Г. Годес. – Ленинград : Стройиздат, 1974. – 160 с. – Текст : непосредственный.

19. Производство гидротехнических работ : учебник для вузов. Часть 1. / В. И. Телешев, Н. И. Ватин, А. Н. Марчук, М. В. Комаринский. – Москва : АСВ, 2012. – 488 с. – ISBN 978-5-93093-894-4. – Текст : непосредственный.

20. ГОСТ Р 56378-2015. Материалы и системы для защиты бетонных конструкций : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 апреля 2015 г. № 214-ст : дата введения 2015-09-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119475>. – Текст : электронный.

21. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 мая 2011 г. N 71-ст : дата введения 2012-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085075?ysclid=mb91sjg6zk568201381>. – Текст : электронный.

22. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 апреля 2019 г. N 130-ст : дата введения 2020-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164028?ysclid=mb9238z2v575929329>. – Текст : электронный.

23. Жукова, Г. Г. Исследование применения самовосстанавливающего бетона / Г. Г. Жукова, А. И. Сайфулина // Construction and Geotechnics. – 2020. – Том 11, № 4. – С. 58–68.

24. Кодзоев, М.-Б. Х. Самовосстанавливающийся бетон / М.-Б. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко. – Текст : электронный // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Том 4, № 4. – С. 287–290. – URL: <http://www.bulletennauki.com/kodzoev-isachenko-1>.

25. Self-Healing of Concrete Cracks by Ceramsite-Loaded Microorganisms / Jing Xu, Xianzhi Wang, Junqing Zuo, Xiaoyan Liu // Advances in Materials Science and Engineering. –



2018. — P. 1–8. — URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/f44c9355de836a95c41ece7cf0a9c80acd32bb88>.

26. Conde Da Silva, Joao Ricardo Marques. Use of cement based grouts in the rehabilitation of concrete dams: a review / Joao Ricardo Marques Conde Da Silva // SMAR 2019 – Fifth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures. — Potsdam, Germany, 2019. — URL: https://www.researchgate.net/publication/337008401_Use_of_cement_based_grouts_in_the_rehabilitation_of_concrete_dams_a_review.

27. Galvao, Jose. Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair Materials / Jose Carlos Alves Galvao, Kleber Franke Portella, Aline Christiane Morales Kormann // Abrasion Resistance of Materials. – 2012. – P. 19 – 35.

SLEPOV Sevastyan Dmitrievich, postgraduate student of the chair of hydraulic engineering and transport structures

**FEATURES OF REPAIR AND RESTORATION WORKS
HYDRAULIC STRUCTURES:
THE CURRENT STATE OF THE ISSUE AND PROSPECTS
FOR FURTHER RESEARCH (REVIEW)**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-92; +7 (920) 019-31-50; e-mail: sevchansky@mail.ru

Key words: hydraulic engineering, repair and restoration works, concrete repair, concrete mix, concrete restoration, self-healing concrete.

The review of the main types of damage to concrete structures of hydraulic structures (GTS) is carried out. The features of repair and restoration work at the GTS have been studied and conclusions have been formulated about the possibility of using self-healing concrete in hydraulic engineering construction

REFERENCES

1. Rukovodstvo po primeneniyu materialov togovoy marki MAPEI na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh [Guidelines for the Application of MAPEI Brand Materials in Hydraulic Structures]. 2017, 147 p.

2. Leontiev A. M., Vasileva A. V. Tekhnologii BASF dlya remonta sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Belomorsko-Baltiyskogo kanala [BASF Technologies for Repair of Navigable Hydraulic Structures of the White Sea-Baltic Canal]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Hydrotechnical Construction]. 2017, № 7, P. 11–15.

3. Albom tekhnicheskikh resheniy po gidroizolyatsii, remontu i zashchite zh/b konstruktsiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Album of Technical Solutions for Waterproofing, Repair and Protection of Reinforced Concrete Structures of Hydraulic Structures]. 2019, 29 p.

4. Bibina O. E., Okhapkin G. V. Analiz normativnoy dokumentatsii po voprosam remonta treshchin v betonnykh konstruktsiyakh GTS [Analysis of Regulatory Documentation on Repair of Cracks in Concrete Structures of Hydraulic Structures]. Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva [Proceedings of VNIIG]. 2022, Vol. 306, P. 32–40.

5. GOST 32016-2012. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruktsiy. Obshchie trebovaniya [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. General Requirements]. Moscow, Standartinform, 2013, 20 p.



6. GOST 33762-2016. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Trebovaniya k inektsionno-uplotnyayushchim sostavam i uplotneniyam treshchin, polostey i rasshchelin [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Requirements for Injection Sealing Compounds and Crack, Cavity and Fissure Sealing]. Moscow, Standartinform, 2017, 80 p.
7. STO 17230282.27.010.001-2007. Zdaniya i sooruzheniya ob"ektov energetiki. Metodika otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya [Buildings and Structures of Energy Facilities. Methodology for Assessing Technical Condition]. Moscow, EES Rossii, 2007, 180 p.
8. BS EN 1504-7:2006. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Reinforcement corrosion protection. 2006, 29 Sep.
9. BS EN 1504-9:2008. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - General principles for use of products and systems. 2009, 31 Jul.
10. STB EN 1504-5-2019. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Opredeleniya, trebovaniya, kontrol kachestva i otsenka sootvetstviya. Chast 5. In"ektsirovanie betona [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Definitions, Requirements, Quality Control and Conformity Assessment. Part 5. Concrete Injection]. Belarus, RUP "STROITEKhNONORM", 2019, 41 p.
11. STB EN 1504-7-2019. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Opredeleniya, trebovaniya, kontrol kachestva i otsenka sootvetstviya. Chast 7. Zashchita armatury ot korrozii [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Definitions, Requirements, Quality Control and Conformity Assessment. Part 7. Reinforcement Corrosion Protection]. Belarus, RUP "STROITEKhNONORM", 2019, 19 p.
12. STB EN 1504-9-2019. Materialy i sistemy dlya zashchity i remonta betonnykh konstruksiy. Opredeleniya, trebovaniya, kontrol kachestva i otsenka sootvetstviya. Chast 9. Obshchie pravila po primeneniyu materialov i sistem [Materials and Systems for Protection and Repair of Concrete Structures. Definitions, Requirements, Quality Control and Conformity Assessment. Part 9. General Principles for the Use of Products and Systems]. Belarus, RUP "STROITEKhNONORM", 2019, 29 p.
13. Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po proverke gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na etape ikh ekspluatatsii [On Approval of Methodological Guidelines for Inspection of Hydraulic Structures at the Operation Stage]: Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision No. 240 dated 27.06.2016. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_201813/ (accessed: 20.03.2024).
14. Rukovodstvo po metodike otsenki resursa rabotosposobnosti i bezopasnosti betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Guidelines for Assessing the Service Life and Safety of Concrete and Reinforced Concrete Structures of Hydraulic Structures]. Saint Petersburg, VNIIG im. B. E. Vedeneeva, 1997, 55 p.
15. Metodicheskie ukazaniya po khimicheskomu kontrolyu korroziionnykh protsessov pri filtratsii vody cherez betonnye i zhelezobetonnye gidrotekhnicheskie sooruzheniya [Methodological Guidelines for Chemical Control of Corrosion Processes During Water Filtration Through Concrete and Reinforced Concrete Hydraulic Structures]: RD 153-34.2-21.544.2002. Saint Petersburg, VNIIG im. B. E. Vedeneeva, 2003, 95 p.
16. Kaveshnikov N. T. Ekspluatatsiya i remont gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Operation and Repair of Hydraulic Structures]. Moscow, Agropromizdat, 1989, 271 p. ISBN: 5-10-000843-1.
17. Okhapkin G. V. Sovershenstvovanie metodov vybora tekhnicheskikh resheniy po vosstanovleniyu obemnoy struktury betona konstruksiy GTS [Improvement of Methods for Selecting Technical Solutions for Restoring the Volumetric Structure of Concrete in Hydraulic Structures]. Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva [Proceedings of VNIIG]. 2023, Vol. 307, P. 39–50.



18. Godes E. G. Stroitelnye podvodno-tekhnicheskie raboty [Underwater Construction and Technical Works: A Reference Book]. Leningrad, Stroiizdat, 1974, 160 p.
19. Teleshev V. I., Vatin N. I., Marchuk A. N., Komarinsky M. V. Proizvodstvo gidrotekhnicheskikh rabot [Execution of Hydraulic Works]: uchebnik dlya vuzov. Chast 1. Moscow, ASV, 2012, 488 p. ISBN 978-5-93093-894-4.
20. GOST R 56378-2015. Materialy i sistemy dlya zashchity betonnykh konstruktсий [Materials and Systems for Protection of Concrete Structures]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119475>.
21. GOST 7473-2010. Smesi betonnye. Tekhnicheskie usloviya [Concrete Mixtures. Specifications]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/>.
22. GOST 18105-2018. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti [Concretes. Rules for Control and Assessment of Strength]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164028>.
23. Zhukova G. G., Saifulina A. I. Issledovanie primeneniya samovosstanavlivayushchego betona [Research on the Application of Self-Healing Concrete]. Construction and Geotechnics. 2020, Vol. 11, № 4, P. 58–68.
24. Kodzoev M.-B. Kh., Isachenko S. L. Samovosstanavlivayushchiysya beton [Self-Healing Concrete]. Byulleten nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. 2018, Vol. 4, № 4, P. 287-290. URL: <http://www.bulletennauki.com/kodzoev-isachenko-1>.
25. Self-Healing of Concrete Cracks by Ceramsite-Loaded Microorganisms / Jing Xu, Xianzhi Wang, Junqing Zuo, Xiaoyan Liu. Advances in Materials Science and Engineering. 2018, P. 1-8. URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/f44c9355de836a95c41ece7cf0a9c80acd32bb88>.
26. Conde Da Silva, Joao Ricardo Marques. Use of cement based grouts in the rehabilitation of concrete dams: a review. SMAR 2019 – Fifth Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures. Potsdam, Germany, 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/337008401_Use_of_cement_based_grouts_in_the_rehabilitation_of_concrete_dams_a_review.
27. Galvao Jose Carlos Alves; Portella Kleber Franke; Kormann Aline Christiane Morales. Abrasive Effects Observed in Concrete Hydraulic Surfaces of Dams and Application of Repair Materials. Abrasion Resistance of Materials. 2012, P. 19–35.

© С. Д. Слепов, 2025

Получено: 21.03.2025 г.