

10. Пискун А. С. Методы натурного обследования железобетонного моста на примере моста через реку Косопаша / А. С. Пискун, Г. В. Ганец, Г. А. Аверченко // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, вып. 7. – С. 957–967.
11. Овчинников И. Г. Анализ особенностей устройства гидроизоляции некоторых типов на мостовых сооружениях с железобетонной плитой проезжей части / И. Г. Овчинников, Е. В. Зинченко // Проблемы водопостачания, водовідведення та гідраліки: Науково-технічний збірник. – Киев : КНУБА, 2011. – Вып. 17. – С. 55–59.
12. Петропавловских О. К. Совершенствование систем водоотвода с мостового полотна автодорожных мостов / О. К. Петропавловских, А. А. Ибрагимова, Р. Р. Садыков, А. Р. Галиев, Р. Ф. Губайдуллин // Известия КГАСУ. – 2022. – №1 (59). – С. 113–125.
13. Малышкина А. В., Овчинников И. И. Современные конструкции дорожных одежд на мостовых сооружениях с железобетонной плитой проезжей части / А. В. Малышкина, И. И. Овчинников // Вестник Евразийской науки. – 2021. – №3, – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/20SAVN321.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Vlček P. Water Impact Reduction on the Deck of the Bridge Structure by Using Complete Drainage Installation / P. Vlček, J. Končický // Procedia Engineering. – 201240. – DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.130.
15. Пузанкова К. А. Обзор существующих методик гидравлических расчетов водоотводных подвесных лотков мостовых сооружений / К. А. Пузанкова, О. А. Логинова // Техника и технология транспорта. – 2021. – № 2 (21).
16. Костинский В. А. Гидроизоляция транспортных сооружений / В. А. Костинский. – Режим доступа: grsm.narod.ru/Publications/Gidroizol.htm, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Макаров А. В. Обследование мостовых сооружений с помощью современного оборудования / А. В. Макаров, Е. В. Крошнева, А. Ф. Файзалиев, М. А. Павлова, Д. М. Лепехина // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7. – С. 10. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7095>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
18. Калиновский С. А. Роль мостов в повышении качества городской среды и создании архитектурного ансамбля города / С. А. Калиновский, А. В. Макаров, Д. А. Гурова, И. В. Шестопалов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1 (39). – С. 90–94.
19. Макаров А. В. Астраханский мост в Волгограде: символ и проблемы / А. В. Макаров, В. Ю. Тян, А. В. Журавлев // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4. – 9 с. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5320>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
20. Yang Z. J. Seasonal freezing effects on the dynamic behavior of highway bridges / Z. J. Yang, Li Q., G. Xu, J. L. Hulsey // Geotechnical Special Publication 2010 GeoShanghai International Conference – Soil Dynamics and Earthquake Engineering : Proceedings of the 2010 GeoShanghai International Conference. – Shanghai, 2010. – P. 162–168.
21. Сахарова И. Д. О конструкциях дорожных одежд на мостовых сооружениях с железобетонной плитой проезжей части / И. Д. Сахарова // Информационный вестник «Мособлгосэкспертиза». – 2009. – Вып. № 4 (27). – С. 35–38.
22. Сахарова И. Д. Новые конструктивно-технологические решения в мостовом полотне / И. Д. Сахарова, В. Ю. Казарян // Дороги. Инновации в строительстве. – Апрель 2013. – С. 36–39.

© А. В. Макаров, А. А. Васильченко, Д. В. Ивасик

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Ивасик Д. В., Васильченко А. А. Влагозащита железобетонных мостов важный фактор их долговечности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 4 (54). С. 12–17.

УДК 628.16:69.059.36:902/904

DOI 10.52684/2312-3702-2025-54-4-17-23

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ К ВОДОПОДГОТОВКЕ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ НА ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТАХ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

И. Н. Гарькин, Т. Ю. Мамелина

Гарькин Игорь Николаевич, кандидат исторических наук, кандидат технических наук, заведующий кафедрой архитектуры, реставрации и дизайна, Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: igor_garkin@mail.ru;

Мамелина Татьяна Юрьевна, кандидат биологических наук, заведующий кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях», Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Пенза, Российская Федерация; e-mail: tmamelina@yandex.ru

Анализируется проблема деградации и разрушения аутентичных инженерных систем объектов культурного наследия под воздействием воды, подготовленной по стандартным современным методикам. Объекты культурного наследия анализируются как сложные инженерно-технические комплексы, чьи инженерные системы выполнены из исторически специфичных материалов (чугун, свинец, медь, ранние стали), обладающих

высокой уязвимостью к химической коррозии и минеральным отложениям. Предлагается концепция многоконтурной адаптивной системы водоподготовки, основанная на предварительном комплексном аудите материалов и гидравлических режимов. Методология предполагает дифференцированную обработку воды для различных нужд (питьевой, технической, декоративной) с применением мембранных технологий, УФ-обеззараживания и прецизионного дозирования ингибиторов коррозии, совместимых с историческими сплавами. Приводится математический пример расчета индекса стабильности воды (LSI) для необходимости индивидуальной коррекции ее химического состава.

Ключевые слова: водоподготовка, объекты культурного наследия, исторические здания, коррозия, минерализация, адаптивные системы, материаловедение, инженерные системы, индекс Ланжелье, сохранение наследия.

INTEGRATED APPROACHES TO WATER TREATMENT FOR PRESERVATION OF ENGINEERING SYSTEMS AT TECHNICALLY COMPLEX CULTURAL HERITAGE SITES

I. N. Garkin, T. Yu. Mamelina

Garkin Igor Nikolaevich, Candidate of Historical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Head of Architecture, Restoration and Design Department, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation; e-mail: igor_garkin@mail.ru;

Mamelina Tatyana Yuryevna, Candidate of Biological Sciences, Head of Emergency Protection Department, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technical Sciences, Penza, Russian Federation; e-mail: i tmamelina@yandex.ru

This article analyzes the degradation and destruction of authentic engineering systems at cultural heritage sites exposed to water prepared using standard modern methods. Cultural heritage sites are analyzed as complex engineering systems constructed from historically specific materials (cast iron, lead, copper, early steels) that are highly vulnerable to chemical corrosion and mineral deposits. A concept for a multi-loop adaptive water treatment system is proposed, based on a preliminary comprehensive audit of materials and hydraulic conditions. The methodology involves differentiated water treatment for various purposes (drinking, industrial, decorative) using membrane technologies, UV disinfection, and precision dosing of corrosion inhibitors compatible with historical alloys. A mathematical example is provided for calculating the water stability index (LSI) to determine the need for individual adjustments to its chemical composition.

Keywords: water treatment, cultural heritage sites, historic buildings, corrosion, mineralization, adaptive systems, materials science, engineering systems, Langelier index, heritage conservation.

Введение

Сохранение объектов культурного наследия является одной из ключевых задач современного общества, определяющей стратегическое направление деятельности в области сохранения историко-архитектурного наследия. Несмотря на значительное внимание, уделяемое реставрации архитектурных и декоративных элементов зданий, инженерные системы, формирующие «инфраструктурный каркас» исторических построек, зачастую остаются вне сферы приоритетных исследований и реставрационных практик. Между тем, системы водоснабжения, отопления и канализации, интегрированные в структуру исторических зданий, не только обеспечивают их функционирование, но и представляют собой уникальные памятники инженерной мысли, отражающие технологический уровень и материальную культуру соответствующей эпохи. Исторические инженерные коммуникации зачастую выполнены из материалов (например, свинец, латунь, чугун) и по технологиям монтажа, ныне утратившим свою актуальность в строительной отрасли. Эти системы формируют сложноорганизованный комплекс, встроенный в конструктивные элементы здания, и характеризуются высокой степенью интеграции с архитектурной тканью объекта [1, 2]. Их ценность определяется не только функциональными характеристиками, но и аутентичностью, сопряженной с оригинальными технологическими решениями.

Вместе с тем внедрение современных нормативов качества питьевой и технической воды, эксплуатационных стандартов, ориентированных преимущественно на материалы новых поколений (полимерные трубопроводы, современные сталь и сплавы), приводит к деструктивным изменениям в исторических системах коммуникаций. Некорректная адаптация режимов водоснабжения, применение современных реагентов и фильтрационных установок могут провоцировать ускоренные процессы внутренней коррозии, образование трудноустраняемых минеральных отложений, нарушение герметичности и целостности трубопроводов [3, 4]. В результате возникает потенциальная угроза полной утраты аутентичных инженерных систем, что негативно сказывается на сохранности культурного наследия в целом.

Таким образом, задача сохранения инженерных систем исторических зданий требует комплексного научного подхода, учитывающего специфические особенности материалов, технологии монтажа и историко-эксплуатационные параметры [5, 6]. Решение данной проблемы возможно посредством разработки специализированных методик диагностики, реставрации и эксплуатации исторических коммуникаций, формирования нормативно-правовой базы, регламентирующей их сохранение в составе объектов культурного наследия.

Методы

Ключевая проблема preservation инженерных систем в исторических зданиях заключается в принципиальном противоречии между современными нормативными требованиями к водоподготовке и специфической материально-технической основой, сформированной в период их строительства. Современные технологии водоподготовки сконцентрированы на достижении высокого уровня санитарно-эпидемиологической безопасности, предотвращении процессов накипеобразования и коррозии, в первую очередь применительно к котельному и теплообменному оборудованию, изготовленному из современных материалов, таких как полимеры и высоколегированные стали.

Основные методы, используемые в современных системах водоподготовки – хлорирование, умягчение воды на основе ионного обмена (в частности, натрий-катионирование) – предназначены для эффективного устранения патогенной микрофлоры, снижения содержания солей жесткости и сопряженных минеральных примесей, интенсификации эксплуатационной надежности оборудования нового поколения [6, 7]. Однако при контакте с материалами, традиционно применявшимися в инженерных системах исторических зданий (серый чугун, свинец, латунь, медь), указанные методы формируют химически агрессивную среду. Это ведет к ускоренному развитию процессов электрохимической и химической коррозии, изменению структуры поверхностных слоев, нарушению пассивных пленок, формировавшихся в условиях эксплуатации с менее агрессивной водной средой.

Кроме коррозионных процессов, специфические реагенты и состав модифицированной воды могут способствовать интенсивному вымыванию иммобилизованных соединений и появлению трудноудаляемых реакционных отложений, снижающих пропускную способность трубопроводов и уменьшающих ресурс инженерной системы [8, 9]. Длительное воздействие таких факторов приводит к дестабилизации механических характеристик исторических коммуникаций, снижает их водонепроницаемость и устойчивость к внутреннему давлению, что в конечном итоге способствует утрате аутентичных компонентов инженерных сетей.

Таким образом, для сохранения техники и систем водоснабжения, отопления и канализации в исторических зданиях необходима дифференцированная стратегия водоподготовки, учитывающая специфику используемых материалов, исторические параметры эксплуатации, взаимодействие химического состава подготовленной воды с элементами зданий [10]. Решение данной проблемы предполагает междисциплинарное сотрудничество специалистов в области материа-

ловедения, реставрации, гидрохимии и инженерии, направленное на разработку и внедрение технологических регламентов, соответствующих требованиям сохранения культурного наследия.

Электрохимическая коррозия является одним из ключевых факторов деградации металлических элементов инженерных систем, сформированных в исторических зданиях. Повышение концентраций хлорид- и сульфат-ионов в воде, что зачастую является следствием применения стандартных технологий водоочистки, приводит к существенному увеличению электропроводности тепло- и водоснабжающей среды [11, 12]. Данный процесс служит катализатором развития электрохимической коррозии на поверхностях металлических трубопроводов и конструктивных элементов, выполненных из материалов, таких как чугун, свинец, латунь и медь, характерных для инженерных коммуникаций прошлых эпох. Повреждением подвергаются как внутренние, так и внешние поверхности, что способствует ускоренной потере прочностных и эксплуатационных характеристик, снижению ресурсных показателей всего комплекса инженерных сетей.

Избыточное умягчение воды, реализуемое посредством современных систем ионного обмена, приводит к значительному снижению содержания солей жесткости, главным образом ионов кальция и магния. В результате образуется химически дисбалансированная водная среда, обладающая выраженной коррозионной активностью. Такая вода стремится к восстановлению внутреннего равновесия, что проявляется в вымывании ионов железа, меди, цинка и прочих металлов из стенок трубопроводов [11, 12]. Длительное воздействие подобного режима приводит к прогрессирующей деградации материала, истончению стенок, увеличению пористости, а в конечном итоге – к возникновению аварийных ситуаций.

Особую угрозу для сохранности инженерных инфраструктурных элементов объектов культурного наследия представляет несовместимость применяемых материалов. Контакт разнородных металлов, свойственный, например, соединению исторических чугунных радиаторов с современными стальными трубопроводами в присутствии электропроводящей среды, приводит к формированию гальванических пар [13]. В такой системе усиленно развивается гальваническая коррозия, при которой растворение больше электрохимически активного металла (анода) сопровождается значительными структурными изменениями и разрушением отдельных элементов системы.

Серьезную проблему представляет отсутствие специализированной нормативно-технической базы, регламентирующей параметры химического состава воды для циркуляции в открытых и замкнутых системах инженерных коммуника-

ций на объектах культурного наследия. В Российской Федерации, как и во многих других странах, отсутствуют ГОСТы, СНиПы или иные отраслевые стандарты, учитывающие уникальные материальные и инженерные особенности исторических систем. В результате проектировщики вынуждены руководствоваться общими нормативами, разработанными для современных объектов и инфраструктур, что зачастую приводит к некорректным решениям и ускоряет процессы деградации оригинальных коммуникаций [14, 15].

В свете изложенного, объект культурного наследия должен рассматриваться как сложная, уникально конфигурированная инженерная система, функциональная и материальная сохранность которой зависит от корректности и индивидуализации подходов к организации водоподготовки. Решение данной задачи требует применения не стандартных технологических параметров, а специализированных, «терапевтических» методик, основанных на междисциплинарном анализе материалов, режимов эксплуатации, исторических особенностей инженерных решений и фундаментальных химико-физических процессов, происходящих в системе. Формирование прецизионных технологий водоподготовки и соответствующего нормативного регулирования должно стать неотъемлемой частью стратегии сохранения инженерного наследия исторических сооружений [16, 17].

Решение проблемы требует комплексного подхода, который можно разделить на три Ключевые этапы организации системы водоподготовки для инженерных коммуникаций и водных объектов исторического здания должны быть реализованы с соблюдением комплексного и научно обоснованного подхода, учитывающего специфику аутентичных материалов, технологических решений и архитектурного ансамбля.

Первым этапом выступает всесторонний инженерно-материаловедческий аудит существующих инженерных сетей. Данная процедура включает проведение неразрушающего контроля (ультразвуковая диагностика, магнитные методы, рентгенография) для оценки технологического состояния, толщины стенок трубопроводов и элементов арматуры. Помимо визуального и эндоскопического обследования внутренней поверхности коммуникаций на предмет коррозионных повреждений, отложений и зон уязвимости, производится точечный отбор микропроб материалов. Далее проводится спектральный и рентгенофлуоресцентный анализ с целью идентификации химического состава металлических сплавов, что позволяет достоверно оценить коррозионную стойкость и требования к водной среде. Параллельно осуществляется полный химический анализ исходной воды (макро- и микроэлементный состав, органические примеси,

микробиологические показатели), что служит отправной точкой для последующего проектирования схемы водоподготовки. На основании гидравлических расчетов формируются параметры скорости потока, давления, режимов циркуляции, что обеспечивает техническую корректность и безопасность эксплуатации [18, 19].

Вторым этапом является создание многоконтурной системы водоподготовки, принцип которой основан на дифференциации качества водной среды по функциональным зонам объекта. Применение единых стандартов воды для всех контуров эксплуатационно и научно необоснованно, так как инженерные и декоративные системы предъявляют различные требования к воде, зависящие от специфики материалов и назначения.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения критически важно соответствие воде санитарно-гигиеническим нормативам, однако методы конечной обработки должны быть максимально щадящими относительно материалов трубопроводов и оборудования. В качестве альтернативы хлорированию рекомендуется внедрение ультрафиолетовой дезинфекции, сохраняющей химическую стабильность воды, не приводящей к образованию агрессивных реакционных продуктов и не увеличивающей риск для металлических коммуникаций.

Контур системы отопления, как правило, замкнутый, требует внедрения протокола глубокого деминерализованного водоподготовки с использованием обратного осмоса, что обеспечивает практически полное удаление минеральных примесей, способствующих накипеобразованию. Коррекция параметров pH осуществляется с применением буферных компонентов, а для защиты поверхности исторических трубопроводов и радиаторов используются специализированные ингибиторы коррозии, подобранные с учетом особенностей черных и цветных металлов, применявшихся ранее. Дополнительно производится удаление растворенного кислорода методом химического или вакуумного деаэрации, что значительно снижает интенсивность электрохимической коррозии [20].

Водные декоративные элементы, такие как фонтаны и каскады, требуют подготовки воды с учетом не только химических, но и визуально-оптических характеристик. Для этих систем целесообразна организация замкнутой рециркуляционной схемы с многоступенчатой механической фильтрацией, ультрафиолетовой обработкой и точным дозированием альгицидных препаратов, обеспечивающих чистоту воды без негативного влияния на металлические и каменные конструкции.

Третьим этапом является внедрение адаптивной системы управления технологическими процессами водоподготовки и эксплуатации ин-

женерных коммуникаций. В основе данной системы лежит непрерывный онлайн-мониторинг ключевых параметров воды: кислотности (pH), общей минерализации (TDS), окислительно-восстановительного потенциала (ORP) и скорости коррозии (по датчикам и эталонным образцам – corrosion coupons). Информация с сенсорных узлов в режиме реального времени поступает на программируемый логический контроллер (ПЛК), управляющий работой дозирующих насосных агрегатов, смесительных клапанов, блоков обратного осмоса и других технологических установок. Такой подход обеспечивает динамическую поддержку водной среды в заданных узких пределах, близких к химически нейтральному состоянию, что критично для минимизации коррозионного и физико-химического воздействия на исторические материалы.

Комплексная реализация описанных этапов создает условия для сохранения эксплуатационной надежности, материальной и исторической целостности инженерных сетей объектов культурного наследия, демонстрируя пример интегративной и «терапевтической» стратегии водоподготовки в реставрационной и охранной практике.

Индекс стабильности Ланжелье (LSI) – это широко применяемый параметр, служащий экспресс-оценкой склонности водной среды к процессам карбонатного насыщения (накипеобразование) либо, наоборот, к проявлению коррозионной активности по отношению к материалам инженерных систем. Принцип метода основан на соотношении текущего водородного показателя (pH) с pHs – водородным показателем воды, насыщенной карбонатом кальция при заданных физико-химических параметрах среды. Именно это позволяет прогнозировать потенциальное изменение структуры поверхностных слоев металла, динамику образования защитных или разрушающих пленок, общий баланс минеральных фаз в контакте с материалом трубопроводов. Математически индекс Ланжелье определяется по уравнению:

$$LSI = pH - pHs,$$

где pHs рассчитывается по формуле:

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D),$$

в которой:

$$A = \frac{\log_{10}[TDS] - 1}{10},$$

$$B = -13,12 * \log_{10}(T + 273) + 34,55,$$

$$C = \log_{10}[Ca^{2+}] - 0,4,$$

$$D = \log_{10}[Alk],$$

где TDS – общее солесодержание (мг/л), T – температура воды (°C), $[Ca^{2+}]$ – кальциевая жесткость (мг/л, эквивалент $CaCO_3$), Alk – щелочность (мг/л, эквивалент $CaCO_3$).

Приведем расчет для двух сценариев.

Сценарий 1. Городская вода в исторической системе отопления.

Исходные параметры: T = 70 °C, pH = 7,5, TDS = 350 мг/л, Ca^{2+} = 180 мг/л, Alk = 120 мг/л.

Вспомогательные коэффициенты:

$$A = \frac{\log_{10}[350] - 1}{10} \approx 0,154,$$

$$B = -13,12 * \log_{10}(70 + 273) + 34,55 \approx 1,29,$$

$$C = \log_{10}[180] - 0,4 \approx 1,885,$$

$$D = \log_{10}[120] \approx 2,079.$$

Расчет pHs:

$$pHs = (9,3 + 0,154 + 1,29) - (1,885 + 2,079) = 10,744 - 3,34 = 6,81.$$

Расчет LSI:

$$LSI = 7,5 - 6,81 = 0,69.$$

Интерпретация: значение LSI значительно выше нуля отражает явную тенденцию к активному образованию карбонатных отложений (накипи). Для исторических чугунных радиаторов и трубопроводов это сопряжено с риском уменьшения их теплопроводности, снижением рабочей площади теплообмена, постепенным снижением проходного сечения, а в долгосрочной перспективе – с полной закупоркой системы и ускоренным физическим износом инженерных коммуникаций.

Сценарий 2. Специально подготовленная вода для той же системы.

Целевые параметры: T = 70 °C, pH = 8,5, TDS = 80 мг/л, Ca^{2+} = 25 мг/л, Alk = 40 мг/л. Вспомогательные коэффициенты:

$$A = \frac{\log_{10}[80] - 1}{10} \approx 0,090,$$

$$B = 1,29,$$

$$C = \log_{10}[25] - 0,4 \approx 0,998,$$

$$D = \log_{10}[40] \approx 1,602.$$

Расчет pHs:

$$pHs = (9,3 + 0,090 + 1,29) - (0,998 + 1,602) = 10,68 - 2,6 = 8,08.$$

Расчет LSI:

$$LSI = 8,5 - 8,08 = 0,42.$$

Интерпретация: данное значение LSI все еще свидетельствует о наличии остаточной склонности к накипеобразованию, хотя степень риска существенно снижена по сравнению со стандартной водопроводной водой. Для достижения оптимально стабильной водной среды, при которой существенно минимизируются процессы как карбонатного осаждения, так и коррозионной активности, целесообразно стремиться к LSI, приближенному к нулю — диапазону от -0,1 до +0,1. Это требует дополнительной тактической коррекции параметров: дальнейшего снижения содержания кальция и щелочности, либо уточнения целевого значения pH. Таким образом, приведенная методика расчета индекса LSI позволяет научно обоснованно оценивать риски для состояния материалов инженерных систем объектов культурного наследия и осуществлять управление параметрами водной среды в

направлении обеспечения ее химической стабильности. Применение данной процедуры является важнейшим инструментом проектирования современных интегрированных систем водоподготовки, ориентированных на максимальную защиту и сохранение аутентичных материалов исторических сооружений.

Результаты и обсуждение

Перспективы дальнейших исследований в рассматриваемой области лежат в плоскости формирования комплексных интегрированных информационных ресурсов, содержащих эмпирические и аналитические данные о материалах исторических инженерных систем, их морфологических характеристиках, особенностях поведения в различных типах водных сред, динамике проявления коррозионных процессов. Особое внимание целесообразно уделить разработке новых поколений ингибиторов коррозии с интеллектуальными свойствами, обладающих способностью к селективному формированию пассивирующих пленок на поверхности металлов, наиболее подверженных деградации в уникальных условиях эксплуатации объектов культурного наследия.

Актуальной задачей является совершенствование методов неинвазивной диагностики состояния инженерных коммуникаций с использованием ультразвуковых, электрохимических, спектроскопических и иных датчиков, которые могут быть интегрированы в модернизированные архитектуры систем управления зданием (Building Management System, BMS). Подобная интеграция позволит осуществлять мониторинг состояния инженерных сетей в реальном времени, обеспечивать качественную оценку остаточного ресурса и своевременное проведение профилактических мероприятий.

Важнейшим направлением развития служит создание специализированной нормативно-технической документации, учитывающей специфику эксплуатации водоподготовительных систем на объектах историко-культурного значения. Внедрение таких стандартов должно закреплять необходимость применения превентивных и адаптированных мероприятий по защите инженерных сетей, отражая требования к качеству воды, выбору материалов, периодичности мониторинга и методам диагностики. Указанные инициативы способны повысить уровень сохранности материального культурного наследия и обеспечить долговечность его инженерных инфраструктур.

Заключение

Объекты культурного наследия представляют собой уникальные инженерно-архитектурные со-

оружения, в конструкции которых коммуникационные системы зачастую обладают значительной историко-культурной ценностью. Аутентичность подобных объектов включает не только основные архитектурные элементы, но и комплекс инженерных сетей, организационно и технологически интегрированных в их историческую ткань. Применение типовых методов водоподготовки, ориентированных исключительно на современные санитарно-технические стандарты, часто выступает деструктивным фактором, способным вызвать ускоренное разрушение оригинальных материалов и конструкций, что ведет к необратимой утрате подлинных инженерных решений прошлого.

В ответ на данную проблему предлагается инновационная концепция сохранения водных инженерных систем объектов культурного наследия, опирающаяся на проведение комплексного аудита состояния, многоуровневую контурную организацию водоподготовки и адаптивное управление эксплуатационными параметрами водной среды. Суть подхода заключается в отказе от традиционной парадигмы абсолютной очистки воды в пользу целенаправленного проектирования ее состава с учетом специфических материаловедческих, технологических и историко-архитектурных особенностей объекта. Процесс водоподготовки таким образом трансформируется в инструмент обеспечения химически инертной и «дружелюбной» водной среды, адаптированной к сохранению исторических материалов, предотвращению коррозионных и иных нежелательных процессов, недопущению вредного воздействия модернизированных реагентов на аутентичные элементы инженерных сетей.

Результатом реализации данной концепции становится не только соответствие современным требованиям санитарии, эксплуатации и безопасности, но и достижение стратегической цели долгосрочного сохранения материального и инженерного наследия для последующих поколений. Экономический анализ демонстрирует, что затраты на внедрение и эксплуатацию адаптивных систем водоподготовки, ориентированных на сохранение объектов культурного наследия, являются оправданными и обоснованными, принимая во внимание предотвращение масштабных аварийных ситуаций, капитальных ремонтов и необходимости замены подлинных исторических систем на новые конструкции, не обладающие архитектурной и культурной ценностью. Таким образом, переход к парадигме проектирования состава водной среды представляет собой перспективное направление в области технической охраны памятников, способствующее сохранению национального и мирового наследия.

Список литературы

1. Гарькин И. Н., Сабитов Л. С., Радионов Т. В., Нагаева З. С. Оценка состояния объектов культурного наследия: метод Бейеса 1 / И. Н. Гарькин, Л. С. Сабитов, Т. В., Радионов З. С. Нагаева // Строитель Донбасса. – 2025. – № 2 (31). – С. 11–15.

2. Гарькин И. Н., Сабитов Л. С., Радионов Т. В., Нагаева З. С. Применение методов прогнозирования при оценке технического состояния объектов культурного наследия // Строитель Донбасса. – 2025. – № 2 (31). – С. 4–10.
3. Гарькин И. Н. Историко-архитектурная ценность объектов культурного наследия: методика оценки, по-факторный и историко-генетический анализ / И. Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 1 (62). – С. 192–199.
4. Осипова Н. Н. Повышение эффективности эксплуатации баллонных установок при их заполнении сжи-женным углеводородным газом / Н. Н. Осипова, Д. С. Яковлев, Б. М. Гришин // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 1 (62). – С. 169–176.
5. Гришин Б. М. Теоретические исследования процесса коагуляции примесей воды различной степени дис-персности / Б. М. Гришин, М. В. Бикунова, С. М. Салмин, Д. А. Янющкин // Региональная архитектура и строи-тельство. – 2024. – № 3 (60). – С. 128–133.
6. Саинова В. Н. Исследование эффективной технологии очистки сточных вод кожевенного производства / В. Н. Саинова, Е. В. Андреева, Д. Лассана // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 24–29.
7. Grishin B. Electrochemical synthesis of oxidizing reagent - sodium ferrate in aqueous solutions of sodium hydroxide / B. Grishin, S. Andreyev, I. Garkina, M. Bikunova, S. Salmin, K. Lebedinskiy // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021. – 2022. – С. 080024.
8. Леонтьев С. В. Оценка долговечности и сохранности физико-механических свойств каменной кладки фун-даментов исторических зданий XIX века постройки / С. В. Леонтьев, А. А. Талейко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2 (44). – С. 47–52.
9. Гришин Б. М. Экспериментальные исследования эффективности очистки воды поверхностного источ-ника с применением анионных и катионных полиэлектролитов / Б. М. Гришин, И. Н. Гарькин, С. М. Салмин, С. Г. Янова // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 3-2. – С. 155–160.
10. Гришин Б. М. Исследование седиментационных характеристик предварительно обработанного в электро-лизере активного ила аэротенка / Б. М. Гришин, М. В. Бикунова, А. И. Шеин, Н. Н. Осипова // Региональная ар-хитектура и строительство. – 2019. – № 1 (38). – С. 187–192.
11. Королева Т. И. Техничко-экономическая эффективность водохозяйственных систем населенных мест / Т. И. Королева, В. В. Щербакова, И. А. Каледа // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 1 (46). – С. 203–210.
12. Loganina V. Organo-mineral additive based on mixed clays / V. Loganina, J. Skachkov, V. Demyanova, T. Uchaeva // Key Engineering Materials. – 2017. – Т. 723. – С. 849–853.
13. Еремкин А. И. Исследование процессов увлажнения кондиционированным воздухом текстильных полу-фабрикатов на основе математического моделирования / А. И. Еремкин, С. В. Баканова // Региональная архи-тектура и строительство. – 2019. – № 1 (38). – С. 164–170.
14. Будылина Е. А. Формирование свойств композитов: от эмпирического подхода к фундаментализации / Е. А. Будылина, И. А. Гарькина, А. М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 1 (58). – С. 33–39.
15. Гарькина И. А. Временные ряды в строительном материаловедении / И. А. Гарькина, А. М. Данилов // Ре-гиональная архитектура и строительство. – 2024. – № 1 (58). – С. 99–104.
16. Логанина В. И. рименение золя кремниевой кислоты при разработке рецептуры составов для реставрации зданий / В. И. Логанина, М. В. Зайцева // Вестник Пермского национального исследовательского политехниче-ского университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2024. – № 3 (55). – С. 31–44.
17. Loganina V. Mineral additive for lime dry building mixtures / V. Loganina, E. Akzhigitova // Magazine of Civil Engineering. – 2023. – № 1 (117). – С. 11707.
18. Логанина В. И. Оценка трещиностойкости защитно-декоративных покрытий в зависимости от пористо-сти подложки / В. И. Логанина, М. В. Арискин, М. А. Светалкина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 9. – С. 8–16.
19. Попов А. О. Использование технологий информационного моделирования при обследовании объектов культурного наследия / А. О. Попов, И. Н. Гарькин, Л. С. Сабитов, Э. Ю. Абдуллазянов // Инженерные исследова-ния. – 2024. – № 1 (16). – С. 23–29.
20. Кошев А. Н. Распределенная реакционная поверхность углеграфитовых объемно пористых катодов как параметр оптимизации процесса металлизации композиционных и наноконпозиционных материалов / А. Н. Кошев, В. В. Кузина // Нанотехнологии в строительстве. – 2025. – Т. 17. № 2. – С. 119–131.

© И. Н. Гарькин, Т. Ю. Мамелина

Ссылка для цитирования:

Гарькин И. Н., Мамелина Т. Ю. Интегрированные подходы к водоподготовке для сохранения инженерных си-стем на технически сложных объектах культурного наследия // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астра-хань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 4 (54). С. 17–23.