

Урбанистика и городские системы <https://ugsjournal.ru>

Urban Studies and Urban Systems

2025, Том 2, № 2 / 2025, Vol. 2, Iss. 2 <https://ugsjournal.ru/issue-2-2025.html>

URL статьи: <https://ugsjournal.ru/PDF/02SAUG225.pdf>

DOI: 10.15862/02SAUG225 (<https://doi.org/10.15862/02SAUG225>)

2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности

Ссылка для цитирования этой статьи:

Курочкина, В. А. Инновационные технологии в практике сохранения культурного наследия / В. А. Курочкина, С. Х. Алам Эль Дин // Урбанистика и городские системы. — 2025. — Т. 2. — № 2. — URL: <https://ugsjournal.ru/PDF/02SAUG225.pdf>. DOI: 10.15862/02SAUG225.

For citation:

Kurochkina V.A., Alam El Din S.H. Innovative technologies in the practice of cultural heritage preservation. *Urban Studies and Urban Systems*. 2025;2(2): 02SAUG225. Available at: <https://ugsjournal.ru/PDF/02SAUG225.pdf>. DOI: 10.15862/02SAUG225. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 727.5

Курочкина Валентина Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: kurochkina_va@pfur.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1327-6298>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=657072

Алам Эль Дин Сабрина Хассан

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: sabrina.alameldin@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0890-7385>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1258003

Инновационные технологии в практике сохранения культурного наследия

Аннотация. Современная практика сохранения наследия переживает технологическую революцию, ключевым направлением которой стало внедрение методов цифровой документации и мониторинга. Такие технологии, как трехмерное лазерное сканирование, фотограмметрия и информационное моделирование зданий (BIM), кардинально трансформируют процессы фиксации, исследования и долгосрочного наблюдения за объектами культурного наследия, создавая новый, неразрушающий и невероятно точный цифровой фундамент для всей реставрационной деятельности.

Ключевые слова: устойчивость; устойчивая архитектура; экологическое строительство; объекты культурного наследия; трехмерное лазерное сканирование; неинвазивный мониторинг; климат; антропогенная нагрузка

Введение

Актуальность сохранения объектов культурного и архитектурного наследия в условиях возрастающей антропогенной нагрузки и климатических изменений диктует необходимость внедрения передовых методов неинвазивного мониторинга [1; 2]. Традиционные методы архитектурных обмеров, несмотря на их историческую значимость, не способны обеспечить требуемую скорость и полноту данных при работе со сложными, деформированными структурами [3]. В этой связи на передний план выходят технологии цифрового дистанционного зондирования, среди которых ключевое место занимают наземное лазерное сканирование (НЛС) и цифровая фотограмметрия [4–6]. Трехмерное лазерное сканирование представляет собой метод высокоточного дистанционного измерения, основанный на фиксации миллионов точек поверхности с миллиметровой точностью. Формируемое в процессе «облако точек» позволяет документировать не только общую геометрию, но и фиксировать микродеформации, трещины и отклонения несущих конструкций, недоступные для визуального наблюдения. Важной технической характеристикой метода является его активный характер: независимость от внешнего освещения позволяет проводить высокоточные работы в труднодоступных местах — чердачных помещениях, подвалах и замкнутых археологических структурах.

Параллельно с этим, метод фотограмметрии, основанный на анализе перекрывающихся цифровых изображений, обеспечивает высочайшую степень визуальной достоверности. В отличие от лазерного сканирования, фотограмметрия позволяет с максимальной точностью транслировать колористические характеристики, фактуру материалов и детали декоративного убранства, что критически важно для реставрационного анализа и создания виртуальных экспозиций [7].

Научный и практический интерес представляет конвергенция данных методов. Комбинирование прецизионной геометрии лазерного сканирования с фотореалистичными текстурами фотограмметрии позволяет создавать комплексные «цифровые двойники» объектов. Такие модели служат не только метрическим эталоном, но и основой для междисциплинарных исследований, позволяя проводить мониторинг состояния памятника в динамике и выявлять деструктивные процессы на ранних стадиях.

В данной статье рассматриваются особенности интеграции этих технологий, а также анализируется точность совмещения массивов данных для целей долгосрочного мониторинга.

Материалы и методы

Трехмерное лазерное сканирование представляет собой метод высокоточного дистанционного измерения, в ходе которого лазерный луч с огромной скоростью фиксирует координаты миллионов точек на поверхности объекта, формируя так называемое «облако точек». Этот процесс позволяет в кратчайшие сроки создать детальную трехмерную копию даже самого сложного архитектурного или археологического памятника со всеми его деформациями, неровностями и повреждениями. Главное преимущество сканирования — его прецизионная точность, достигающая миллиметров, и независимость от освещения, что позволяет документировать труднодоступные места, такие как своды, купола или закопанные структуры. Полученное облако точек служит не только безупречным обмерным чертежом, но и базой для выявления малейших деформаций при повторных сканированиях, что делает его идеальным инструментом для мониторинга состояния — будь то постепенная просадка фундамента, развитие трещин или последствия вибрации.

Фотограмметрия, в свою очередь, предлагает более доступный, но не менее мощный подход к созданию 3D-моделей. Этот метод основан на обработке серии перекрывающихся цифровых фотографий объекта, сделанных с разных ракурсов. Специализированное

программное обеспечение анализирует эти изображения, восстанавливая геометрию и текстуру поверхности. Результатом является фотореалистичная 3D-модель, обладающая не только точной формой, но и визуальной достоверностью, включая цвет, фактуру и мельчайшие детали декора. Фотограмметрия особенно ценна для документирования наскальной живописи, мозаик, лепнины или археологических находок в полевых условиях, где важна именно визуальная информация. Комбинирование лазерного сканирования (для точной геометрии) и фотограмметрии (для безупречных текстур) позволяет создавать виртуальные двойники памятников, которые являются одновременно точным измерительным инструментом и богатым визуальным архивом [8].

Эволюционным продолжением этих методов является внедрение принципов информационного моделирования зданий (BIM) в сферу наследия, что часто обозначается как HBIM (Heritage BIM). Если облако точек или полигональная модель — это, по сути, цифровой слепок текущего состояния, то BIM-модель представляет собой интеллектуальную базу данных. В такую модель закладываются не только геометрия, но и семантические атрибуты: информация о материалах, исторических слоях, предыдущих реставрациях, физическом состоянии элементов, результатах лабораторных анализов и даже архивных документах, привязанных к конкретному архитектурному элементу. BIM-модель исторического здания превращается в динамический «живой организм», который позволяет не просто визуализировать объект, но и управлять им на протяжении всего жизненного цикла — от диагностики и проектирования реставрационных мероприятий до календарного планирования профилактического обслуживания. Она становится единой средой для связи всех специалистов: реставраторов, архитекторов, инженеров-конструкторов и историков [9].

Результаты исследования

Современная физическая реставрация объектов культурного наследия переживает период интенсивной трансформации, которая обусловлена не только появлением новых материалов, но и принципиально иным, междисциплинарным подходом к процессу сохранения материальной субстанции памятника. Сегодня эта деятельность все меньше напоминает ремесленное искусство прошлого и все больше сближается с высокотехнологичными областями нанохимии, биотехнологий и инженерного дела, где каждый шаг основывается на глубоком научном анализе и прогнозировании долгосрочных последствий.

Ключевым принципом стал переход от универсальных решений к индивидуализированным, «сшитым по мерке» конкретного памятника и даже его фрагмента. Этот подход начинается с тщательной диагностики с использованием уже упомянутых цифровых методов, а также комплекса лабораторных исследований: рентгенофлуоресцентного анализа, электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии. Только понимая точный химико-минералогический состав оригинального материала, характер и причины его деградации, реставратор может подобрать или разработать адекватный интервенционный материал.

В области консолидации, то есть укрепления разрушающейся основы (камня, штукатурки, фрески, дерева), революционные изменения связаны с применением наноматериалов. Например, для укрепления пористого известняка или песчаника теперь используются суспензии гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в наноформе. Эти частицы настолько малы, что способны глубоко проникать в капиллярную структуру камня, где затем, взаимодействуя с углекислым газом воздуха, рекристаллизуются в прочный карбонат кальция

— минерал, из которого часто состоит оригинальный камень. Этот процесс не просто склеивает трещины, а воссоздает утраченную минеральную связку, обеспечивая химическую и

физическую совместимость, что было недостижимо для традиционных синтетических смол, которые со временем стареют, желтеют и создают напряжение в материале [10].

Аналогичный прорыв произошел в области очистки, где на смену агрессивным химическим и абразивным методам приходят биотехнологии. Для удаления труднорастворимых наслоений разработаны специальные бактериальные штаммы или ферментные комплексы. Эти биологические агенты действуют точечно: бактерии «поедают» лишь целевой загрязнитель (соли, жиры, белковые загрязнения), не затрагивая подложку. Это щадящий и контролируемый процесс, минимизирующий риск повреждения оригинальной поверхности.

В сфере восполнения утрат и структурного укрепления широкое распространение получили композитные материалы и инъекционные методики. Для восстановления несущей способности деревянных конструкций используют не просто новые брусья, а инъекции эпоксидных смол, армированных углеродным или стекловолокном, что позволяет сохранить оригинальную древесину, придав ей необходимую прочность. В каменной кладке для скрепления трещин применяют инъекционные растворы на основе микрокальцита и легких синтетических смол, которые обеспечивают монолитность без значительного увеличения веса. Особое внимание уделяется обратимости и отличимости новых материалов: современные реставрационные растворы для камня или штукатурки часто делают на основе воздушной извести, но с добавлением легких инертных заполнителей и пигментов, позволяющих визуально отделить реставрационную вставку от оригинала (рис. 1).



Рисунок 1. Современные инъекционные и композитные методики в реставрации (разработана авторами)

Реконструкция и реставрация исторических зданий: проблемы и возможности

Развиваются методы профилактической консервации, где физическое вмешательство сводится к минимуму за счет управления средой. Речь идет о создании «умных» оболочек, систем пассивного климат-контроля, антисейсмических оснований с системами гашения вибраций, которые защищают памятник от внешних угроз.

Цифровая эпоха подарила человечеству принципиально новый, парадоксальный инструмент для работы с наследием — возможность его сохранения и даже воскрешения в виртуальной среде. Это направление, находящееся на стыке истории, археологии, компьютерных наук и искусства, кардинально меняет наше отношение к утрате, памяти и доступности культурного достояния. Оно распадается на два взаимосвязанных, но концептуально различных процесса: цифровое сохранение того, что еще существует, и виртуальную реконструкцию того, что уже исчезло или радикально изменилось.

Цифровое сохранение представляет собой превентивную и документальную практику. Его цель — создание высокоточных, всеобъемлющих цифровых двойников объектов, находящихся под угрозой, будь то из-за неизбежного физического старения, климатических угроз, потенциальных конфликтов или массового туризма.

Используя комплекс технологий (лазерное сканирование, фотограмметрию, панорамную съемку), специалисты фиксируют объект в его текущем состоянии с миллиметровой точностью и фотореалистичной детализацией. Этот цифровой слепок становится не просто архивной записью, а активным инструментом. Он служит основой для мониторинга малейших изменений, предоставляет бесконечную возможность для виртуального изучения без риска для оригинала и позволяет создать интерактивные архивы, доступные исследователям и публике по всему миру. Таким образом, даже если материальный оригинал со временем претерпит необратимые изменения или будет утрачен, его точнейшая цифровая копия останется свидетельством для будущих поколений, сохраняя не только геометрию и внешний вид, но и пространственное ощущение, игру света, фактуру материалов (рис. 2). Это акт «цифрового бессмертия», переводящий хрупкую материю в устойчивый код.

Виртуальная реконструкция — это акт научно обоснованного воображения и интерпретации, шаг в область гипотез. Её задача — вернуть к виртуальной жизни объекты, уже уничтоженные временем, стихией или человеком: разрушенные в войнах дворцы, соборы, снесенные исторические кварталы, памятники, от которых остались лишь фундаменты.

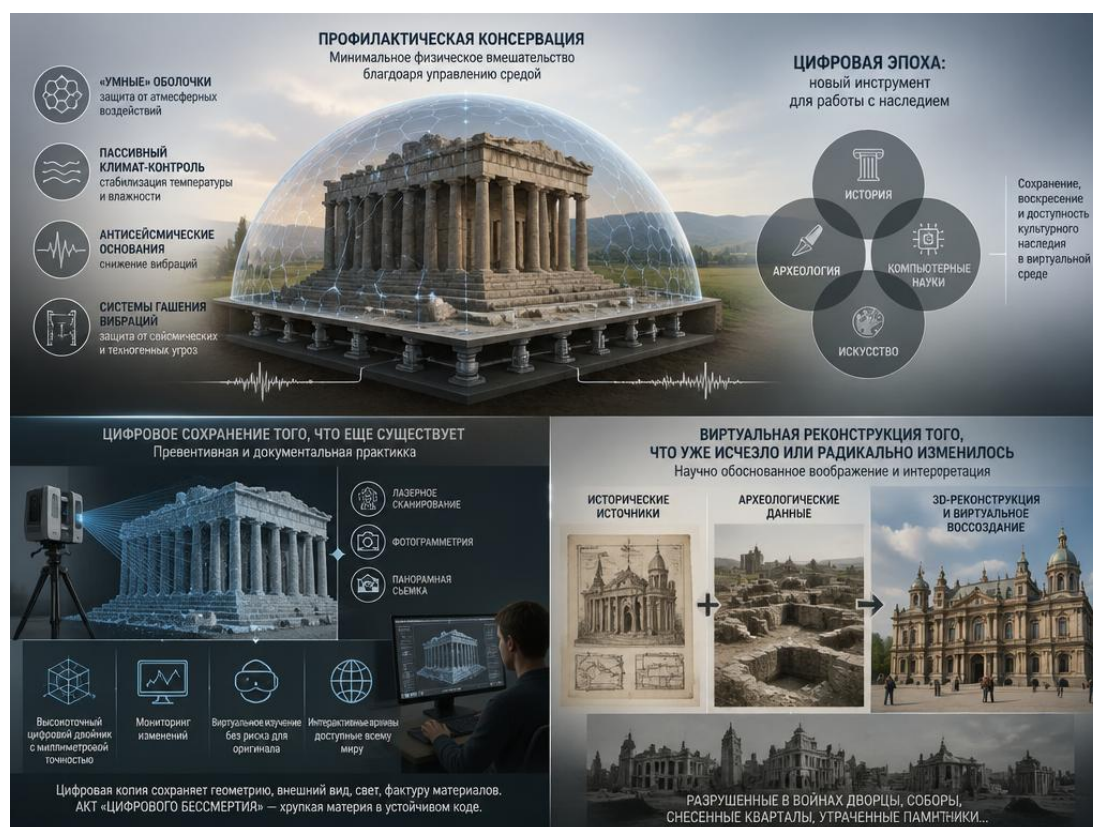


Рисунок 2. Современные способы реконструкции (разработана авторами)

Этот процесс строго отличается от фантазийной визуализации. Он базируется на критическом анализе всех доступных источников: исторических чертежей, гравюр, фотографий, описаний путешественников, данных археологических раскопок, аналогий с сохранившимися постройками. Каждый виртуально воссозданный элемент — от общего объема до деталей декора — должен иметь документальное или логическое обоснование. В идеале, виртуальная реконструкция является «прозрачной»: она визуально отделяет достоверно известные элементы от гипотетических, позволяя пользователю увидеть разные слои информации и альтернативные научные версии. Глубокое значение этого метода заключается не в создании безупречной картинки прошлого, а в моделировании гипотез, которое становится мощным инструментом научного исследования, позволяя проверять предположения о конструкции, пропорциях, освещенности и даже акустике утраченных пространств.

Выводы

Вместе цифровое сохранение и виртуальная реконструкция формируют новую экосистему памяти. Они становятся инструментом культурной репарации, давая возможность сообществам, пережившим травму утраты, заново обрести визуальную связь со своими символами идентичности. Ответы на многие вопросы находятся в постоянном диалоге между технологами, историками, философами и обществом. В конечном счете, цифровые двойники и виртуальные реконструкции — это не замена подлиннику, а его сложное, многослойное дополнение, новый способ хранения, осмысления и передачи культурной памяти в эпоху, когда материальная хрупкость нашего прошлого становится все более очевидной.

Подводя итог, можно сказать, что инновационные технологии не просто модернизируют инструментарий реставратора — они формируют новую экосистему сохранения наследия, основанную на данных, междисциплинарности и превентивном подходе. Будущее физической

сохранности материального наследия все больше зависит от развития его виртуального, информационного «двойника». Успех будет определяться способностью профессионального сообщества не только осваивать новые инструменты, но и критически осмысливать их место в этической и ценностной системе сохранения культурного наследия, балансируя между безграничными возможностями цифрового моделирования и непреходящей ценностью подлинной материальной субстанции исторического памятника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Haboucha R. The Future of Heritage as Climates Change: Loss, Adaptation, and Creativity / R. Haboucha // edited by David C. Harvey and Jim Perry. — New York: Routledge, 2015. — DOI: 10.17863/CAM.33776.
2. Бобров Ю.Г. Теория реставрации памятников искусства: закономерности и противоречия / Ю.Г. Бобров. — М.: Эдсмит, 2012. — URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002479983/.
3. Засуха В.И. Применение технологии информационного моделирования в реставрации / В.И. Засуха, Т.А. Журавлева // Цифровые технологии в сфере объектов культурного наследия: Сборник тезисов по итогам конференции в рамках 3 Всероссийского съезда реставраторов, Санкт-Петербург, 22 ноября 2022 года. — Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Информационное агентство Папирус", 2023. — С. 30. — EDN: LSQVOQ.
4. Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection / edited by M. Ioannides et al. — Springer, 2014. — URL: https://www.academia.edu/165194638/Digital_Heritage_Progress_in_Cultural_Heritage_Documentation_Preservation_and_Protection.
5. Кулаков А.Р. BIM-технологии в строительном комплексе: отечественный и зарубежный опыт / А.Р. Кулаков // Дни студенческой науки: Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института экономики, управления и коммуникаций в сфере строительства и недвижимости НИУ МГСУ, Москва, 28 февраля – 04 марта 2022 года. — Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022. — С. 623-626. — EDN: DQHLAO.
6. Солнцев И.В. Применение концепции наиболее эффективного использования в оценке памятников архитектуры / И.В. Солнцев, А.А. Петров // Экономические стратегии. — 2013. — Т. 15, № 4(112). — С. 70-77. — EDN: SCDJYD.
7. Дианова-Клокова И.В. Виртуальные научные исследования. Архитектурные инновации / И.В. Дианова-Клокова — DOI: 10.22337/2077-9038-2023-1-83-91. // Academia. Архитектура и строительство. — 2024. — № 1. — С. 83-91 — EDN: OFFMMG.
8. Демина Е.В. Приспособление объектов культурного наследия под современное использование / Е.В. Демина // The World of Science Without Borders — 2022. — С. 453-456. — EDN: UVEFXX.
9. Хакимов Д.Р. Особенности сохранения и приспособления объектов культурного наследия к современным условиям / Д.Р. Хакимов, А. Ф. Требухин // Вестник Евразийской науки. — 2019. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/78SAVN119.pdf>.

10. Лапыгин А.А. Современные технологии захвата реальности для сохранения объектов культурного наследия. Лазерное сканирование, фотограмметрия, трехмерное цифровое информационное моделирование / А.А. Лапыгин // Цифровые технологии в сфере объектов культурного наследия: Сборник тезисов по итогам конференции в рамках 3 Всероссийского съезда реставраторов, Санкт-Петербург, 22 ноября 2022 года. — Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Информационное агентство Папирус", 2023 — С. 36

Kurochkina Valentina Alexandrovna

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

E-mail: kurochkina_va@pfur.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1327-6298>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=657072

Alam El Din Sabrina Hassan

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia

E-mail: sabrina.alameldin@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0890-7385>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1258003

Innovative technologies in the practice of cultural heritage preservation

Abstract. The modern practice of heritage preservation is undergoing a technological revolution, the key focus of which has become the introduction of digital documentation and monitoring methods. Technologies such as three-dimensional laser scanning, photogrammetry, and building information modeling (BIM) are radically transforming the processes of fixation, research, and long-term observation of cultural heritage sites, creating a new, non-destructive, and incredibly accurate digital foundation for all restoration activities.

Keywords: sustainability; sustainable architecture; ecological construction; cultural heritage sites; three-dimensional laser scanning; non-invasive monitoring; climate; anthropogenic load