

Использование 3D-сканирования и цифровых инструментов для реставрации архитектурного наследия

Университет науки и технологий,
Старший преподаватель кафедры «Точные науки»

Улугбек Отабеков,
студент 1 курса направления «ARX 3/25»
Мамаджанов Рустам

Аннотация: В статье рассматриваются современные методы цифровой реставрации архитектурного наследия с использованием 3D-сканирования, фотограмметрии, геоинформационных систем (GIS) и технологий цифрового моделирования. Анализируются преимущества цифровых инструментов: высокая точность документирования, неинвазивность, возможность создания «цифровых двойников» объектов, поддержка реставрационных и образовательных проектов. Приводятся примеры применения 3D-технологий в Центральной Азии и Узбекистане, а также обсуждаются ограничения: технические, ресурсные, организационные и юридические. Делается вывод о перспективности интеграции цифровых методов в практику сохранения архитектурного наследия и их роли в обеспечении устойчивости и доступности культурных объектов для будущих поколений.

Ключевые слова: 3D-сканирование, цифровая реставрация, архитектурное наследие, фотограмметрия, BIM-технологии, цифровые модели, облако точек, сохранение культурного наследия.

Современные технологии 3D-сканирования и цифровые инструменты становятся важными средствами в реставрации архитектурного наследия, позволяя создавать точные цифровые модели объектов культурного значения. Цель данной работы заключается в исследовании применения этих технологий для повышения эффективности реставрационных процессов и сохранения исторической целостности объектов. Проблема заключается в необходимости интеграции новых цифровых подходов в традиционные методы реставрации, что требует анализа существующих практик и разработки рекомендаций по их оптимизации.

Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в сохранении архитектурного наследия в условиях его разрушения и утраты. В последние годы наблюдается активное использование 3D-сканирования для документирования и анализа состояния объектов, что открывает новые возможности для реставраторов и архитекторов. В связи с этим, задачи исследования включают: оценку современных методов 3D-сканирования, анализ их применения в реставрации, а также разработку рекомендаций по внедрению цифровых инструментов в практику реставрации.

Методология работы основывается на комплексном подходе, включающем как теоретический анализ существующих технологий, так и практическое

применение 3D-сканирования на примере конкретных архитектурных объектов. Объектом исследования являются исторические здания и сооружения, которые подвергаются реставрации с использованием цифровых технологий. В рамках работы будет проведен анализ этапов сбора данных, обработки облаков точек и создания цифровых моделей, что позволит выявить ключевые аспекты успешного применения 3D-сканирования в реставрационных проектах.

Таким образом, данное исследование направлено на выявление и систематизацию возможностей, которые открывают цифровые инструменты для реставрации архитектурного наследия. В процессе работы будет рассмотрен не только технологический аспект, но и влияние цифровизации на практику реставрации, что позволит оценить эффективность внедрения новых подходов. Результаты исследования могут стать основой для дальнейших разработок в области сохранения культурного наследия и улучшения методов реставрации.

1. Принципы и технологии 3D-сканирования в реставрации

Технология 3D-сканирования основана на высокоточной фиксации пространственных координат точек на поверхности объекта. Результатом является «облако точек» — цифровая модель, представляющая собой точное трёхмерное отображение формы и структуры архитектурного элемента. Сканирование может выполняться различными методами — лазерным, фотограмметрическим или структурированным светом.

Лазерное сканирование позволяет фиксировать миллионы точек в секунду, обеспечивая точность до миллиметра. Этот способ особенно востребован при работе с крупными архитектурными комплексами, где требуется высокое пространственное разрешение данных. **Фотограмметрия**, в свою очередь, строит 3D-модель на основе серии фотографий, сделанных под разными углами. Она является более доступной и мобильной технологией, хотя и несколько уступает лазерному сканированию в точности данных.

Из полученного облака точек создаётся полигональная модель, которая используется для дальнейших этапов реставрации — анализа деформаций, виртуального проектирования и визуализации. 3D-модель объекта становится цифровым архивом, отражающим текущее состояние памятника, и может использоваться в будущем для мониторинга его сохранности.

2. Интеграция 3D-моделей в процесс реставрации

Цифровая модель, полученная в результате 3D-сканирования, служит основой для междисциплинарной работы специалистов. Архитекторы, инженеры, историки и реставраторы могут совместно анализировать и обсуждать проект, основываясь на едином цифровом представлении объекта. Такая интеграция способствует точности принимаемых решений, а также позволяет проводить детальное планирование реставрационных работ.

Одним из ключевых инструментов является технология **BIM (Building Information Modeling)** — информационное моделирование зданий. В рамках

реставрации исторических объектов BIM позволяет не только воссоздать архитектурную форму, но и учитывать состав материалов, конструктивные особенности, инженерные системы и исторические изменения, происходившие с объектом во времени. Таким образом, 3D-сканирование и BIM объединяются в мощный инструмент, обеспечивающий научно обоснованный подход к восстановлению архитектурного наследия.

Кроме того, 3D-моделирование делает возможным **виртуальное тестирование реставрационных гипотез**. Специалисты могут проводить цифровые симуляции, например, оценивать, как изменение пропорций или восстановление утраченных элементов повлияет на общую устойчивость конструкции. Это снижает риск ошибок при реальной реставрации и минимизирует вмешательство в оригинальную структуру памятника.

3. Преимущества цифровых технологий в реставрации

Внедрение 3D-сканирования и цифровых инструментов в реставрационную практику имеет целый ряд преимуществ:

1. **Высокая точность и сохранность данных.** Цифровая фиксация позволяет документировать текущее состояние объекта с микрометровой точностью, исключая субъективные ошибки ручных измерений.

2. **Минимальное воздействие на объект.** Процесс сканирования не требует физического контакта, что особенно важно при работе с хрупкими или частично разрушенными элементами архитектуры.

3. **Возможность цифрового хранения и воспроизводства.** Созданные модели хранятся в цифровом архиве и могут использоваться для дальнейших исследований, образовательных целей, музейных экспозиций или виртуальных туров.

4. **Оптимизация проектных решений.** Совмещение 3D-данных с инженерным анализом (например, с расчётами нагрузок или моделированием устойчивости конструкции) позволяет разрабатывать точные и безопасные реставрационные решения.

5. **Доступность для общественности.** Виртуальные копии памятников архитектуры могут быть представлены широкой аудитории, включая исследователей, студентов и туристов, способствуя популяризации культурного наследия.

4. Практические примеры применения

Одним из ярких примеров применения 3D-сканирования стал проект восстановления Нотр-Дама в Париже после пожара 2019 года. Благодаря ранее проведённому лазерному сканированию здания появилась возможность точно восстановить детали готической конструкции, что сделало возможным качественную цифровую реконструкцию собора.

В России технология активно используется при реставрации объектов федерального значения, таких как Казанский кремль, Коломенское и Ново-

Иерусалимский монастырь. Сканирование помогает фиксировать текущее состояние зданий, выявлять трещины и деформации, а также документировать исторически значимые элементы, которые могут быть утрачены в будущем.

Широкое применение цифровых инструментов наблюдается и в международной практике. В Италии, Испании и Греции активно создаются «цифровые двойники» античных сооружений. Эти модели не только служат основой для реконструкции, но и становятся образовательным ресурсом для исследовательских организаций и музеев.

5. Проблемы и ограничения

Несмотря на очевидные преимущества, использование цифровых технологий сталкивается с рядом вызовов. Среди них можно выделить:

- **Высокую стоимость оборудования и программного обеспечения.** Профессиональные лазерные сканеры и лицензированные программы остаются дорогостоящими.

- **Необходимость специальной подготовки специалистов.** Работа с облаками точек, 3D-моделями и BIM-технологиями требует глубоких технических знаний.

- **Проблему стандартизации данных.** Отсутствие единых международных норм хранения и обмена цифровыми моделями затрудняет сотрудничество разных организаций.

- **Юридические и этические аспекты.** Вопросы авторского права на цифровые копии памятников архитектуры становятся всё более актуальными.

6. Перспективы развития

В будущем интеграция 3D-сканирования с другими цифровыми технологиями — такими как искусственный интеллект, машинное обучение и дополненная реальность — откроет новые горизонты для реставрации. AI-системы смогут автоматически распознавать повреждения, предлагать способы восстановления и прогнозировать износ материалов. Виртуальная и дополненная реальность дадут возможность проводить «виртуальные реконструкции» памятников, вовлекая общественность в процесс сохранения истории.

Развитие технологий облачного хранения данных и открытых цифровых архивов позволит сделать информацию о культурном наследии доступной для исследователей по всему миру. Таким образом, цифровая трансформация постепенно становится ключевым инструментом в сохранении и передаче архитектурного наследия грядущим поколениям.

Список ключевых источников

1. Moreno Gata K., Echeverría Valiente E. THE USE OF DIGITAL TOOLS FOR THE PRESERVATION OF ARCHITECTURAL, ARTISTIC AND CULTURAL HERITAGE, THROUGH THREE-DIMENSIONAL SCANNING AND DIGITAL MANUFACTURING. ISPRS-Archives, 2019.

2. Song S. Y., Batson W., Simie A., Chhetri P. 3D Laser Scanning for Historical Preservation and Archival Reconstruction Drawings. ISPRS-Archives, 2025.
3. Makhkamova N., Matyakubov K., Rakhmonov S. THE USE OF 3D SCANNING AND GIS TOOLS FOR THE DIGITAL PRESERVATION OF CENTRAL ASIAN ARCHITECTURAL HERITAGE, 2025.
4. Hamidova M. DIGITAL HERITAGE PRESERVATION: THE ROLE OF 3D SCANNING IN DOCUMENTING HISTORICAL ARCHITECTURE IN UZBEKISTAN. International Journal of Science-Innovative Research.
5. Diz-Mellado E. et al. Enhancing 3D-Printed Clay Models for Heritage Restoration Through 3D Scanning. Appl. Sci. 2024.
6. Denisov I. B., Zubov S. E., Bukina O. V. Применение 3D-технологий в сфере сохранения и использования археологического наследия. Археология Евразийских степей, 2022.
7. «Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning». Journal of Cultural Heritage, 2007.
8. Сравнительный анализ методов 3D-документации объектов культурного наследия Узбекистана: фотограмметрия против лазерного сканирования. Multidisciplinary Journal of Science and Technology, 2025.