



РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-СКАНИРОВАНИЯ КАК МЕТОД СОХРАНЕНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Сафронов Алексей Михайлович

Старший преподаватель кафедры археологии и специальных исторических дисциплин Белорусский государственный университет
г. Минск Республика Беларусь

Ковалёв Денис Андреевич

Студент исторического факультета Белорусский государственный университет
г. Минск Республика Беларусь

Аннотация

Статья посвящена анализу современных методов цифровой фиксации и реконструкции объектов культурного наследия с применением технологий лазерного сканирования и фотограмметрии. Рассматриваются технические аспекты создания высокоточных облаков точек преобразования их в полигональные модели и последующей цифровой реставрации утраченных фрагментов. Особое внимание уделяется практическому применению 3D-технологий в условиях разрушения памятников под воздействием антропогенных и природных факторов. Исследование базируется на данных 2024–2025 годов и демонстрирует возможности интеграции виртуальной реальности в музейную и реставрационную практику.

Ключевые слова: 3D-сканирование фотограмметрия цифровая реконструкция культурное наследие лазерное сканирование облако точек памятники архитектуры.

Введение

Сохранение архитектурного и археологического наследия в двадцать первом веке сталкивается с беспрецедентными вызовами. Военные конфликты стихийные бедствия и естественная эрозия материалов ведут к невосполнимым утратам уникальных памятников истории. В этих условиях технологии трехмерного сканирования становятся не просто вспомогательным инструментом а базовым стандартом современной археологии и реставрации.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью создания цифровых двойников объектов культурного наследия для их документации и возможного восстановления.

Использование 3D-сканирования позволяет зафиксировать текущее состояние памятника с точностью до миллиметра что невозможно при использовании традиционных методов обмера. Цифровая реконструкция открывает новые горизонты для научных исследований позволяя проводить виртуальные эксперименты без риска повреждения оригинального объекта.

Технологические основы лазерного сканирования и фотограмметрии

В современной мировой практике документации и комплексной реконструкции памятников архитектуры используются два фундаментальных метода получения цифровых данных высокой плотности. Первый метод представляет собой наземное лазерное сканирование которое базируется на передовой технологии лидар. Принцип работы данного прибора заключается в активном зондировании пространства путем испускания лазерных импульсов с последующей регистрацией времени их возвращения после отражения от физической поверхности объекта. На основе скорости света и времени задержки сигнала система вычисляет точные пространственные координаты миллионов точек в секунду формируя колоссальный массив данных известный в инженерной среде как облако точек.

Ключевым преимуществом лазерного сканирования является обеспечение высочайшей геометрической точности которая на дистанциях до нескольких сотен метров измеряется миллиметрами. Это критически важно при работе с масштабными архитектурными ансамблями крепостными стенами или кафедральными соборами где даже минимальная погрешность может привести к неверной интерпретации конструктивной стабильности объекта. Лазерные сканеры также способны фиксировать интенсивность отраженного сигнала что позволяет получать информацию о материале поверхности и ее влажности даже в условиях недостаточной освещенности.

Второй стратегический метод это цифровая фотограмметрия которая принципиально отличается от сканирования пассивным характером сбора данных. Она заключается в создании детализированной трехмерной модели на основе анализа серии перекрывающихся цифровых фотографий объекта сделанных с различных ракурсов и высот в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов. Математические алгоритмы сопоставляют идентичные пиксели на разных снимках вычисляя их положение в пространстве методом триангуляции. Главным преимуществом фотограмметрии выступает возможность получения фотореалистичных текстур сверхвысокого разрешения. В отличие от лазерного луча камера фиксирует цветовой спектр что позволяет документировать следы росписи пигментацию камня и мельчайшие нюансы патины.

К началу 2025 года мировым индустриальным стандартом стал метод гибридной реконструкции то есть интеграция результатов лазерного сканирования и фотограмметрии.

В этой связке геометрия и пространственная привязка берутся из данных лазерного сканера как наиболее стабильного каркаса а визуальная составляющая и микродетализация накладываются из фотограмметрических данных. Такое синергетическое сочетание позволяет создавать цифровые модели которые не только безупречны с точки зрения математической точности но и визуально абсолютно идентичны оригиналу что открывает путь к созданию иммерсивных музейных экспозиций и проведению виртуальной химико-технологической экспертизы фасадов.

Процесс обработки данных и создания полноценного цифрового двойника

После завершения полевого этапа и сбора первичных данных на объекте наступает наиболее трудоемкий этап камеральной обработки полученной информации. Миллиарды разрозненных точек из множества станций сканирования должны быть объединены в единую жесткую систему координат через процедуру регистрации и сшивки. Этот процесс требует колоссальных вычислительных мощностей специализированных графических станций и профессионального программного обеспечения способного оперировать терабайтами сырых данных. На этапе первичной фильтрации из модели удаляются так называемые шумы случайные объекты попавшие в кадр растительность или временные конструкции.

Следующим важнейшим технологическим этапом является триангуляция при которой облако точек преобразуется в полигональную сетку. В процессе этой операции программа соединяет соседние точки гранями формируя непрерывную поверхность объекта. Именно эта сетка становится фундаментом для всей дальнейшей работы реставратора архитектора или инженера. На полигональную модель накладываются карты нормалей и текстурные атласы что превращает сырой массив данных в высокодетализированный цифровой актив. Точность такой модели позволяет проводить виртуальные замеры площадей объемов и углов наклона с погрешностью не превышающей физические допуски реального строительства.

Чрезвычайно важным аналитическим этапом является сегментация и классификация модели. На данном уровне отдельные конструктивные элементы памятника такие как колонны базы капители карнизы или своды выделяются в самостоятельные цифровые объекты со своими метаданными. Сегментация позволяет проводить углубленный структурный анализ здания имитировать распределение нагрузок и выявлять деструктивные процессы скрытые от человеческого глаза. Речь идет о детекции микротрещин определении деформации фундамента через анализ отклонения стен от вертикальных осей и выявлении просадок перекрытий.

Таким образом в 2025 году итоговая трехмерная модель перестает быть просто визуальной картинкой или набором пикселей.

Она эволюционирует в полноценную инженерную базу данных об объекте которая содержит в себе всю информацию о его геометрии текущем физическом состоянии и исторической трансформации. Такие модели интегрируются в системы долгосрочного мониторинга позволяя сравнивать данные сканирования разных лет и с точностью до миллиметра фиксировать динамику разрушения памятника что является ключевым фактором для своевременного принятия решения о начале консервационных или реставрационных работ.

Методика цифровой реставрации и виртуального воссоздания

Цифровая реконструкция позволяет исследователям заглянуть в прошлое воссоздавая облик памятника на разные исторические периоды. Используя сохранившиеся фрагменты архивные чертежи и аналогии реставраторы могут достраивать утраченные части в виртуальном пространстве. Этот метод исключает субъективность классической реставрации так как все гипотетические построения могут быть многократно проверены и изменены.

В 2024–2025 годах активно развивается направление BIM-технологий в историческом контексте или HBIM. В отличие от обычной 3D-модели HBIM-модель содержит информацию о материалах датировке каждого элемента и истории его ремонтов. Это превращает цифровую копию в интерактивную энциклопедию памятника которая может использоваться для планирования реальных реставрационных работ и мониторинга состояния объекта в режиме реального времени.

Экономические и социальные аспекты внедрения 3D-технологий

Внедрение 3D-сканирования существенно оптимизирует бюджеты реставрационных проектов. Точные обмеры позволяют детально рассчитать количество необходимых материалов и трудозатрат еще до начала работ. Кроме того цифровые модели становятся основой для развития виртуального туризма. Люди из любой точки мира могут совершить прогулку по закрытым для посещения или разрушенным объектам используя шлемы виртуальной реальности.

Социальное значение технологий заключается в популяризации истории. Интерактивные модели в музеях привлекают молодую аудиторию делая изучение прошлого наглядным и захватывающим процессом. Более того создание цифровых архивов гарантирует что даже в случае полной физической утраты памятника знания о его форме и устройстве сохранятся для будущих поколений.

Заключение

Применение 3D-сканирования в реконструкции исторических памятников знаменует собой переход археологии на новый технологический уровень. Эти методы обеспечивают максимальную объективность фиксации данных и открывают уникальные возможности для научного анализа и визуализации.

В условиях быстро меняющегося мира цифровая консервация становится единственным надежным способом защиты мирового культурного достояния. Дальнейшее развитие технологий будет связано с автоматизацией обработки данных и использованием искусственного интеллекта для анализа структурных повреждений памятников.

Литература

1. Антонов И. С. Цифровая археология методы 3D-фиксации на памятниках Беларуси. Минск БГУ 2024.
2. Блохина О. С. Лазерное сканирование в архитектурной реставрации. Москва Наука 2025.
3. Сафронов А. М. Технологии фотограмметрии в сохранении культурного наследия. Вестник истории 2023 номер 12.
4. Николаев С. А. Виртуальная реальность и музейное дело учебное пособие. Москва МГУ 2024.