

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АРХИТЕКТУРА

Научная статья



УДК/UDC 719:711.4:004.9

DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-371-386

EDN: ZKBDKH

Информационное моделирование зданий как инструмент сохранения исторической застройки города**Кирилл Александрович Даниленко¹**Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия
artistbs@ya.ru

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ применения технологии информационного моделирования зданий (BIM – Building Information Modeling) в градостроительстве. Рассмотрены ключевые аспекты внедрения BIM-технологий при проектировании городской среды, включая работу с объектами культурного наследия (ОКН). Особое внимание уделено интеграции BIM с геоинформационными системами (ГИС), технологиями цифровых двойников и искусственного интеллекта (ИИ). На основе анализа отечественного и зарубежного опыта выявлены основные преимущества BIM-технологий, существующие ограничения и перспективные направления развития цифрового моделирования.

Ключевые слова: BIM, информационное моделирование, цифровой двойник, ГИС, искусственный интеллект, объект культурного наследия

Для цитирования: Даниленко К.А. Информационное моделирование зданий как инструмент сохранения исторической застройки города // Architecture and Modern Information Technologies. 2025. № 3(72). С. 371-386. URL:

https://marhi.ru/AMIT/2025/3kvart25/PDF/23_danilenko.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-371-386 EDN: ZKBDKH

INFORMATION TECHNOLOGIES AND ARCHITECTURE

Original article

Building information modeling as a tool for preserving the city's historical development**Kirill A. Danilenko¹**Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia
artistbs@ya.ru

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the use of building information modeling (BIM – Building Information Modeling) technology in modern urban planning. Key aspects of the implementation of BIM technologies in the design of the urban environment, including work with cultural heritage objects, are considered. Particular attention is paid to the integration of BIM with geographic information systems (GIS), digital twin technologies and artificial intelligence (AI). Based on the analysis of domestic and foreign experience, the main advantages of BIM approaches, existing limitations and promising areas of development are identified.

Keywords: BIM, information modeling, digital twin, GIS, Artificial Intelligence, cultural heritage object

¹ © Даниленко К.А., 2025

For citation: Danilenko K.A. Building information modeling as a tool for preserving the city's historical development. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2025, no. 3(72), pp. 371-386. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2025/3kvart25/PDF/23_danilenko.pdf
DOI: 10.24412/1998-4839-2025-3-371-386 EDN: ZKBDKH

Введение

Сохранение исторического наследия – одна из ключевых задач современного урбанистического развития. В условиях активной застройки и модернизации городов важно находить баланс между современным строительством и охраной культурного наследия. Уникальная архитектурная среда формирует культурную идентичность города, служит основой для туризма и развития локальных сообществ. Однако разрушительные процессы, связанные с физическим старением зданий, неблагоприятным воздействием окружающей среды и нерациональной хозяйственной деятельностью, требуют поиска новых, эффективных способов сохранения архитектурного наследия. На этом фоне цифровизация строительной отрасли приобретает особое значение, а технологии информационного моделирования зданий (BIM) выступают в качестве перспективного инструмента решения обозначенной задачи.

Проблемы сохранения исторической застройки в современных городах

Проблемы сохранения исторической застройки в современных городах обусловлены комплексом факторов, связанных как с физическим состоянием строительных объектов, так и с социально-экономическими и нормативными аспектами городской территории.

Во-первых, многие здания, представляющие историко-культурную ценность, находятся в неудовлетворительном техническом состоянии из-за длительного срока эксплуатации, недостаточного ухода и отсутствия системной реставрации. Их восстановление требует значительных финансовых вложений, квалифицированных специалистов и современных методов документации, таких как цифровая информационная модель.

Во-вторых, процесс интенсивного городского развития оказывает негативное влияние на историческую застройку. Возникает конфликт интеграции современной застройки в историческую среду. Отсутствие связи между прошлым и будущим может привести к утрате аутентичности мест и дисгармоничной застройке.

В-третьих, сохраняется проблема фрагментарности законодательной базы и отсутствия четких механизмов охраны исторической застройки. Нередко исторические объекты остаются вне правового поля или не получают должной охраны, особенно если не включены в официальные реестры объектов культурного наследия (ОКН).

Кроме того, ограниченность доступа к актуальной цифровой информации о таких объектах, устаревшие методы учета и инвентаризации, а также слабая вовлеченность общественности усложняют процесс сохранения исторической застройки. В этом контексте особенно важным становится применение технологий цифровых двойников, BIM-моделирования и геоинформационных систем, способных обеспечить точное документирование и моделирование исторической городской среды.

Технология информационного моделирования зданий (BIM)

Первые инструменты моделирования зданий, как и сама концепция BIM, появилась в конце 1970-х – начале 1980-х годов и включала в себя систему описания зданий Чарльза

Истмана². В 1980-х появился термин «строительная модель» у авторов: Саймона Раффла [1], а затем у Роберта Эйша в 1986 году³. В статье авторов Г.А. Ван Недервина и Ф.П. Толмана в 1992 году [2] впервые появился термин «информационная модель здания» (BIM). С 2000-х годов аббревиатура BIM стала широко использоваться в строительной отрасли.

Одним из приоритетных направлений совершенствования технологии информационного моделирования зданий в сфере градостроительства является её интеграция с геоинформационными системами (ГИС). Такой подход позволяет учитывать широкий спектр данных, включая топографические, геологические и климатические характеристики исследуемой территории, что значительно улучшает качество проектирования. Интеграция с ГИС открывает возможности для более глубокого анализа взаимосвязей застройки с окружающей средой. ГИС-системы применяют при моделировании транспортных потоков и пешеходной инфраструктуры, оценке воздействия новых зданий на инсоляцию, оптимизации размещения инженерных коммуникаций и при расчете ветровых нагрузок на здания.

Концепция цифрового двойника (Digital Twin) представляет собой модель, предназначенную для виртуального воспроизведения реального объекта, процесса или системы с целью мониторинга его состояния, анализа, прогнозирования и оптимизации в реальном времени. В рамках концепции создается динамическая цифровая реплика города, которая непрерывно обновляется на основе данных, получаемых с различных датчиков в городе, обеспечивая тем самым актуальную информацию о состоянии городской инфраструктуры. Впервые концепцию цифрового двойника описал в 2002 году Майкл Гривс, профессор Мичиганского университета в своей книге «Происхождение цифровых двойников»⁴.

Известны цифровые двойники городов Сингапура и Осло. Их модели помогают отслеживать городскую инфраструктуру и управлять ею. Для анализа инфраструктурной динамики изменений в Лондоне создается цифровой двойник города London Digital Twin⁵, который позволяет контролировать развитие города с учетом реальной ситуации.

В последние годы в BIM-проектирование активно внедряют технологии искусственного интеллекта (ИИ), что имеет как положительные, так и отрицательные последствия. К положительным можно отнести перспективу автоматизации проектирования и выявления ошибок, возможности генерации планировочных решений под заданные характеристики, позволяющие предусмотреть наиболее эффективные варианты проектных решений как в случае исторических зданий, так и при новом строительстве. Поиск архитектурных форм и улучшение визуализации уже на ранней стадии проектирования позволяет оценить атмосферу будущего объекта, протестировать различные фасадные решения, строительные материалы и цветовые палитры, тем самым улучшая визуальное восприятие [3]. К отрицательным последствиям можно отнести стремительное развитие ИИ, что влечет за собой сокращение кадровых сотрудников в строительной сфере.

² Eastman C., Fisher D., Lafue G., Lividini J., Stoker D., Yessios C. An Outline of the Building Description System. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University. 1974.

³ Aish R. Building modelling: the key to integrated construction CAD // CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings. 1986. Vol. 5. P. 7-9.

⁴ Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. URL: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication (дата обращения: 28.04.2025).

⁵ Лондонский исследовательский центр цифровых двойников (LDTRC), расположенный в Лондонском университете Миддлсекса, занимается разработкой передовых технологий для цифровой реализации физического мира. Разработки в этом центре направлены на цифровую трансформацию физической среды, будь то промышленность, инфраструктура, здравоохранение или транспорт, с использованием концепций и технологий, основанных на понятии «цифровой двойник».

BIM технологии нашли свое применение в сфере архитектурного и инженерного проектирования, строительства, но в работе с объектами исторической застройки их широкого использования пока нет. Ниже перечислены основные возможности BIM-технологий в этой области:

1. *Ведение документации по техническому состоянию объектов.* BIM-технологии позволяют создавать детальные цифровые копии здания с учетом архитектурных, конструктивных и инженерных особенностей.
2. *Аналитика и предотвращение дальнейших разрушений.* BIM-технологии позволяют выявлять слабые конструктивные узлы, отслеживать деформации и динамику поведения здания во времени и применять эффективные меры по его сохранению.
3. *Компьютерная «виртуальная» реставрация.* Возможность воссоздания утраченных элементов на основе архивных данных и фотограмметрии, что позволяет восстановить исторический облик застройки.
4. *Эффективная реставрация.* Цифровая модель позволяет обеспечить координацию между смежными специалистами, снижая вероятность ошибок при проведении работ.
5. *Динамичное управление объектами.* Сбор и хранение актуальных цифровых моделей помогает при дальнейшей эксплуатации зданий.
6. *Популяризация.* Открытый доступ (с ограниченными возможностями взаимодействия с цифровыми данными) к виртуальным моделям для специалистов, студентов архитектурно-строительных специальностей, представителей общественности и т.д. формирует представление об исторической ценности объектов культурного наследия и важности его сохранения.

На сегодняшний день главной проблемой учета объектов культурного наследия является разрозненность архивных материалов. Архивная информация, а также деятельность смежных специалистов, работающих по различным стандартам и методикам, ведет к фрагментации данных. Тщательная фиксация параметров существующих конструкций представляет собой важный элемент сохранения объектов культурного наследия. Для корректного внедрения технологии информационного моделирования зданий необходима детализированная информация о физических характеристиках исследуемого исторического сооружения. Основу моделирования должны составлять достоверные метрические данные, полученные в результате инструментального обследования, предпочтительно в формате трехмерной цифровой модели.

Метод сканирования представляет собой эффективный и высокоточный способ получения метрических данных в трехмерном формате с применением бесконтактных технологий. Данная методика широко применяется в процессе документирования исторических объектов и прилегающих территорий. К ним относится лазерное сканирование, фотограмметрия (она может быть как наземная, так и с использованием беспилотных летательных аппаратов), работа с лидарными системами (LIDAR – Light Detection and Ranging). Эти технологии позволяют создавать плотное облако точек, отражающее геометрию исторических объектов.

Применение BIM-технологий в сфере охраны объектов культурного наследия

С 2009 года зарубежные страны используют принцип комплексного моделирования ОКН «Heritage Building Information Modelling» (HBIM) [4]. Термин «информационное моделирование исторического здания (наследия)» (HBIM) был введен Дором и Мерфи в 2012 году [5]. Такой подход позволяет документировать, транслировать, а также производить виртуальную реконструкцию объектов культурного наследия.

Цифровая модель объекта культурного наследия играет ключевую роль в организации процессов его консервации, эксплуатации и обеспечения сохранности. Она основана на создании цифрового двойника ОКН в структурированные цифровые данные, интегрируемые в среду исторического информационного моделирования зданий. Полученная модель служит виртуальным двойником объекта, обеспечивая непрерывный мониторинг его состояния. Такая модель помогает выявлять деструктивные факторы

внешнего воздействия на объект, разрабатывать стратегии минимизации рисков разрушения, а также прогнозировать последствия антропогенных и природных воздействий на здание. Применение NBIM-моделей в качестве цифровых двойников способствует реализации превентивных мер по сохранению памятников культурного наследия.

Обычно объекты исторической архитектуры характеризуются наличием сложных геометрических форм и насыщенным декором, что обуславливает повышенную трудоемкость их цифрового моделирования. Их специфика непосредственно влияет на процесс сбора исходных данных: выбор технологических решений, затраты времени и объем финансирования.

Элементы сооружений, обладающих исторической ценностью, нередко характеризуются размытыми очертаниями, сформировавшимися под воздействием атмосферных явлений или структурных деформаций. Эта особенность существенно осложняет или полностью исключает возможность их точной параметризации в среде информационного моделирования зданий. Кроме того, архитектурные решения, характерные для народного зодчества и средневековых построек, часто включают природоподобные (биоморфные) формы. Их цифровая реконструкция с применением элементарных геометрических примитивов требует значительных временных затрат ввиду необходимости соблюдения высокой степени точности воспроизведения.

В рамках концепции уровней «зрелости» технологий информационного моделирования, разработанной – Бью и Ричардсом (Bew-Richards), выделяется четыре последовательных стадии развития BIM (от 0 до 3), характеризующих степень интеграции цифровых методов в процессы проектирования и управления объектами (рис. 1). Она описывает весь спектр практических методов, начиная от несогласованных бумажных чертежей до полностью интегрированных цифровых и совместных рабочих процессов [6].

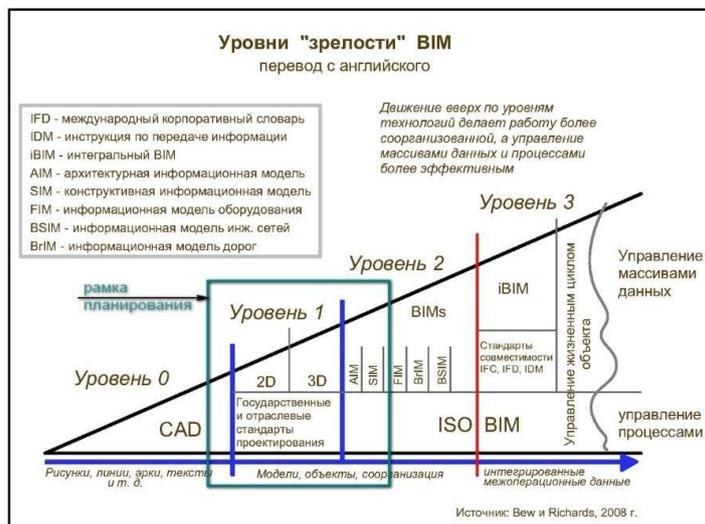


Рис. 1. Модель уровней «зрелости» BIM-технологий, разработанная Бью и Ричардсом в 2008 году

В научной среде наблюдаются дискуссии относительно чёткого определения отдельных стадий зрелости BIM-технологий, однако в профессиональной практике преобладает следующая классификация:

Уровень 0. BIM характеризуется фрагментарным сбором данных из разнородных источников с преобладанием двумерного CAD-моделирования. Информационное

обеспечение осуществляется преимущественно через разрозненные бумажные и электронные носители без единой системы управления.

Уровень 1. Содержит в себе информацию по смежным дисциплинам с использованием CAD-моделирования. Информация в электронном виде является общей средой данных (ОСД), управляемой с использованием британского стандарта [7].

Уровень 2. Он требует полного комплекта проектной, сметной и эксплуатационной документации в электронном формате, управляемого через среду общего проектирования.

Уровень 3. Это открытый BIM, представляющий собой полностью интегрированную платформу междисциплинарного взаимодействия в рамках единой модели [6]. Этот уровень обеспечивает создание согласованного информационного пространства, где централизованная модель исключает возможность возникновения противоречивых данных на всех этапах жизненного цикла сооружения.

Стандартизация подходов к моделированию, позволяет специалистам и заказчикам находить баланс между точностью воспроизведения исторического объекта и практической применимостью BIM. Система, предложенная АИС Великобритании в 2015 году⁶ [6], включает в себя 6 степеней детализации (LOD – Level of Detail) компонентов BIM-моделирования (рис. 2).

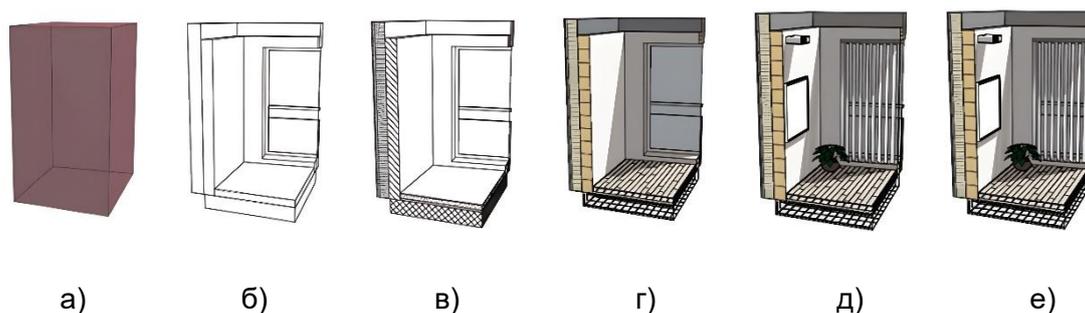


Рис. 2. Степень детализации компонентов BIM-моделирования (LOD): а) символический; б) концептуальный; в) обобщенный; г) детализированный; д) рабочий; е) объект

LOD 1 (Символический) – объемное видение объекта без размеров;

LOD 2 (Концептуальный) – геометрические примитивы с минимальной визуализацией. Минимум деталей, но объект узнаваем;

LOD 3 (Обобщенный) – общая модель, достаточно проработанная для идентификации классификационных признаков и физических свойств строительных элементов;

LOD 4 (Детализированный) – это точная копия элементов, включая их классификацию, геометрию, материалы внутренней и наружной отделки. Данный уровень детализации соответствует завершающей стадии проектирования, формируя цифровой прототип, пригодный для стоимостного анализа и логистики строительных процессов. Модели LOD 4 позволяют генерировать спецификации материалов, оптимизировать закупки и проводить точные сметные расчеты;

LOD 5 (Рабочий) – создание высокоточных цифровых моделей, содержащих полную информацию по конструктивным решениям, технологическим требованиям и геометрическим параметрам строительных элементов;

⁶ Инициатива AEC (UK) была сформирована в 2000 году для улучшения процесса производства, управления и обмена проектной информацией. Первоначально инициатива рассматривала соглашения о слоях CAD как основную проблему для пользователей проектных данных. По мере развития потребностей и технологий проектирования инициатива расширилась, чтобы охватить другие аспекты производства проектных данных и обмена информацией.

LOD 6 (Объект) – цифровой двойник реализованного строительного объекта, включающий все фактические конструктивные особенности проектных решений. Модель данного уровня должна точно отражать как запроектированные параметры, так и все выявленные в процессе строительства модификации архитектурных и инженерных элементов

Альтернативная методология классификации по уровням детализации (LOD), направленная на задачи консервации исторических объектов, представлена в «Метрических спецификациях обследования памятников архитектуры» (Andrews et al., 2015). Она включает в себя четыре степени детализации (рис. 3).

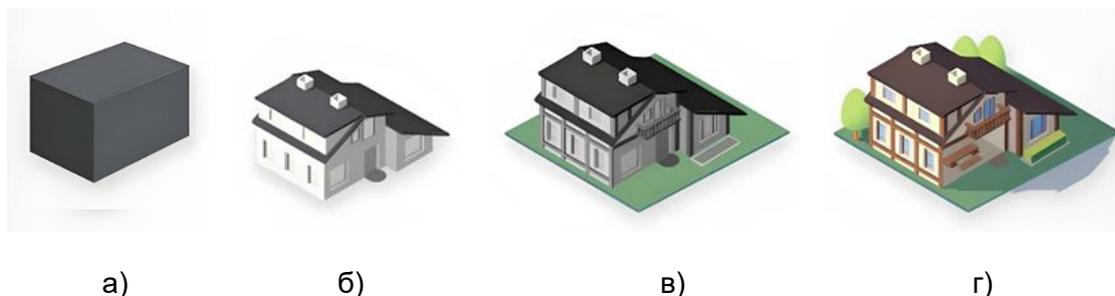


Рис. 3. Примеры степеней детализации цифровой модели: а) 1 степень; б) 2 степень; в) 3 степень; г) 4 степень

Степень детализации 1: обобщенная объемно-пространственная модель – абрис здания.

Степень детализации 2: цифровая модель, построенная из встроенных примитивов.

Степень детализации 3: цифровая модель с полным набором архитектурных элементов.

Степень детализации 4: детальная съемка сооружения, представленного в виде объекта со всеми архитектурными деталями, функциями и специально разработанными элементами для точного представления о строительных материалах (Andrews et al., 2015)⁷ [6].

Отечественный и зарубежный опыт работы с BIM-технологиями в сфере охраны объектов культурного наследия

Первыми в применении технологий цифрового моделирования в области охраны объектов культурного наследия в России выступает компания ГК «Геоскан», использующая технологии сканирования и создания детальных цифровых копий сооружений и их территорий. «Геоскан» запустил цифровую платформу «3D-наследие: сохраняя культуру»⁸, в которой надеется развить интерес к виртуальному туризму, сохранению, изучению и восстановлению ОКН. На сегодняшний день портал насчитывает 42 цифровых двойника с высокой степенью детализации. Одним из таких двойников является ансамбль Кижского погоста, объекта всемирного наследия ЮНЕСКО (рис. 4).

Подобную цифровую платформу в настоящее время реализует Лызина А.Г.⁹, рассматривая храмовые комплексы Пензенской области. Автором собраны в единую

⁷ Руководство, разработанное организацией Historic England, которое описывает требования к проведению таких обследований и их результатам. Документ ориентирован на документирование существующей структуры объектов культурного наследия с учётом точных метрических данных. URL: <https://aecuk.wordpress.com/documents/> (дата обращения: 28.07.2025).

⁸ Платформа «3D-наследие: сохраняя культуру». URL: <https://www.heritage3d.ru/models> (дата обращения: 28.07.2025).

⁹ Лызина А.Г. Архитектура храмов Пензенской области: опыт создания цифровой платформы с помощью ИИ-технологий // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: тезисы докладов IX Международного симпозиума. Пенза: Изд-во ПГУ, 2025. С. 292-295.

структуру разрозненные архивные материалы. А. Лызина анализирует основную информацию, а также архитектурные особенности каждого объекта. Она задействовала в своей работе ГИС и ИИ – Cursor AI, который создал интерфейс, сгенерировал код и протестировал цифровую платформу, представив интерактивную карту «Архитектура храмов Пензенской области»¹⁰ (рис. 5). В будущем автор планирует создать цифровые копии объектов через технологии цифрового сканирования и моделирования для фиксации их существующего состояния.

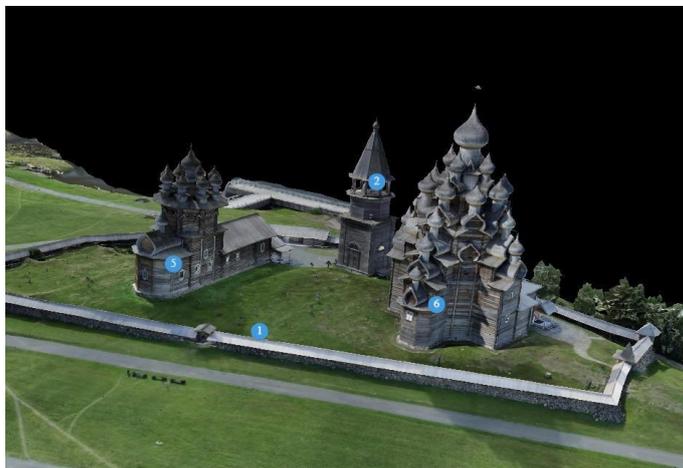


Рис. 4. Модель ансамбля Кижского погоста в России с цифровой платформы «3D-наследие: сохраняя культуру»

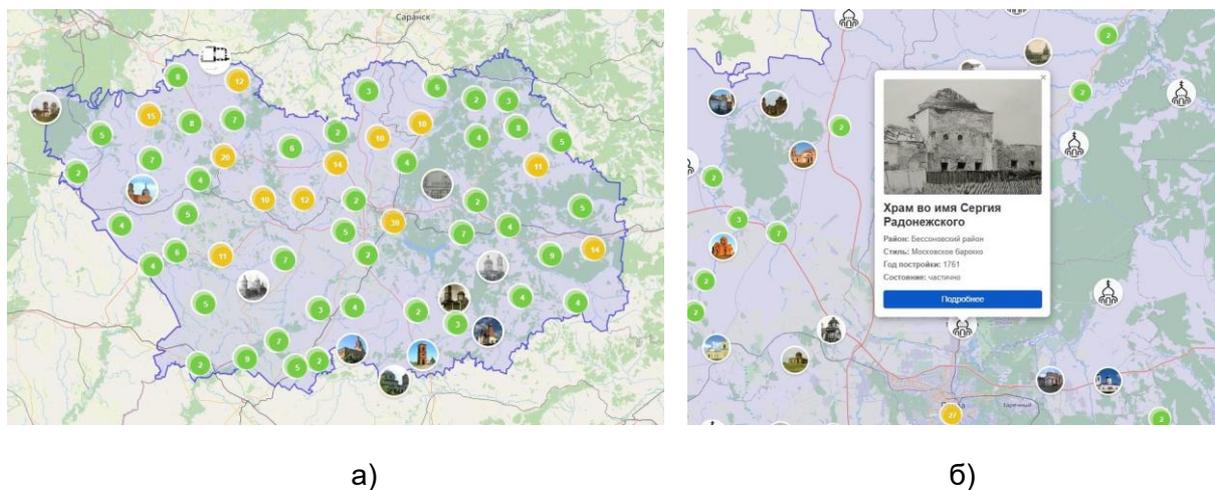


Рис. 5. Цифровая платформа «Архитектура храмов Пензенской области» (по А. Лызиной): а) интерактивная карта; в) фрагмент цифровой карты

В исследовании Д.И. Жеребятъева, А.А. Малышева и В.В. Моор [8] представлена завершённая методика трехмерной реконструкции, в рамках которой авторы последовательно воссоздают палеоландшафт античного города на территории современной Анапы¹¹. Применяя комплекс современных технологий, включая информационное моделирование зданий, методы аэрофотограмметрии, а также специализированное программное обеспечение для трехмерного моделирования и

¹⁰ Платформа «Архитектура храмов Пензенской области». URL: <https://raznochtenie.ru/map> (дата обращения: 28.07.2025).

¹¹ Видео 3D реконструкции античного города Горгиппия. URL: <https://rutube.ru/video/c868e2ef72eb30d302cbfcc0e2814a4a/> (дата обращения: 28.07.2025).

цифрового скульптинга, исследователи осуществляют научно обоснованную реконструкцию архитектурного облика города Горгиппии архаического периода. В работе детально воспроизведены жилые, хозяйственные, культовые, административные и оборонительные сооружения древнего города (рис. 6).



а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Видовые кадры города Горгиппия: а) ближний вид на городскую застройку; б) вид на центральную часть города; в) панорамный вид на городскую застройку; г) вид сверху на городскую застройку и порт

В учебной практике такой подход приобрел широкое распространение. Например, каждый студент, осваивая курс истории региональной архитектуры [9], может самостоятельно собирать и анализировать архивные материалы, создавая 3D-модель одного из архитектурных объектов, представляющих исторический интерес (рис. 7,8).

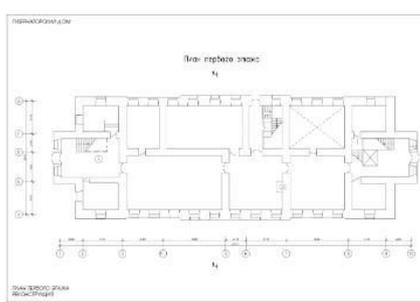
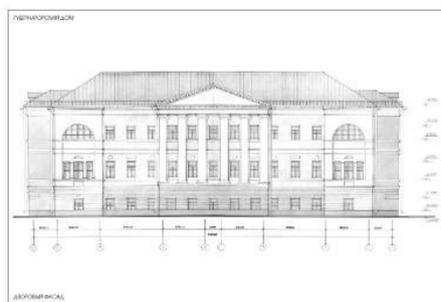


Рис. 7. Материалы из альбома чертежей памятников архитектуры, истории и культуры Пензенского региона. ОКН «Губернаторский дом», г. Пенза

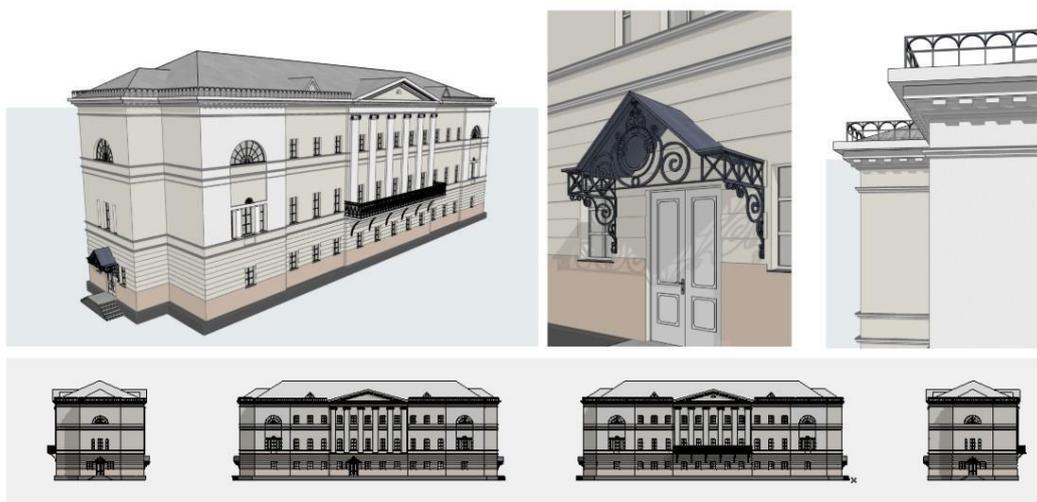


Рис. 8. Авторские материалы разработки 3D-модели ОКН «Губернаторский дом», г. Пенза

Эта методика позволяет глубже погрузиться в изучение истории архитектурного наследия, а также развить навыки работы с современными цифровыми технологиями моделирования. Цифровое моделирование исторических объектов является основой для формирования базы, к которой в будущем могут обратиться специалисты, как к материалам для реставрации. Такие цифровые модели становятся незаменимым инструментом для восстановления первоначального облика и сохранения объекта культурного наследия.

В ходе исследования динамики развития исторического облика города Пензы появилась острая необходимость в оценке пространства не только на плане города, но и в объеме, поэтому была построена базовая модель современной городской застройки (рис. 9). Автором предлагается следующая технология создания модели: 1. Вывод рельефа из общедоступной онлайн платформы трехмерных моделей Cadmapper¹². 2. В программе Archicad на основе чертежей – построение планировочного каркаса модели и объема застройки. 3. Ретроспективный анализ с помощью Kontikimaps (карта возраста домов Пензы)¹³. Это потребует изучения хронологических этапов развития города на четырех временных срезах: относительно его ландшафта, исторических событий, архитектурных доминант (сохранившихся или утраченных), «архитектурных холмов» в застройке¹⁴.

3D-модель современной городской застройки Пензы имеет потенциал стать динамичным цифровым двойником физического объекта. Модель может постоянно обновляться в реальном времени на основе данных, поступающих с датчиков: давления, влажности, температуры, загрязнения воздуха, сейсмической активности, геолокационных данных транспортных средств, уровня воды, потребления энергии, расположенных в городе.

В рассматриваемом аспекте технологии BIM выступают фундаментальным инструментом для создания моделей комплексных урбанистических систем, обеспечивая разработку детализированных цифровых двойников как отдельных архитектурных объектов, так и градостроительных комплексов. Модели обладают значительным аналитическим

¹² Cadmapper – онлайн-сервис, который преобразует географические данные из общедоступных источников. URL: <https://cadmapper.com/> (дата обращения: 23.07.2025).

¹³ Kontikimaps – интерактивная карта возраста домов Пензы. URL: <https://kontikimaps.ru/how-old/penza> (дата обращения: 23.07.2025).

¹⁴ Даниленко К.А., Лапшина Е.Г. Цифровая модель исторической застройки города: сохранение наследия в эпоху технологий // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: тезисы докладов IX Международного симпозиума. Пенза: Изд-во ПГУ, 2025. с.290-292.

потенциалом, позволяющим не только осуществлять трёхмерную визуализацию проектных решений, но и планировать их интеграцию в существующую городскую ткань. Цифровые двойники городских пространств предоставляют уникальную возможность для многофакторного анализа воздействия новых строительных проектов на инфраструктурные сети, экологический баланс и социокультурные процессы, что существенно повышает эффективность стратегического планирования и управления устойчивым развитием урбанизированных территорий.



Рис. 9. Авторские материалы разработки 3D-модели современной городской застройки г. Пензы

Опираясь на опыт разработки проектов городских моделей «облика города», было установлено, что основным доступным историческим материалом являются планы городов на определенном историческом этапе. При ретроспективном отдалении от исследуемой эпохи количество материалов, отражающих внешний вид застройки и городской структуры, резко сокращается. В то же время городской план, как правило, сохраняет свою детальность, а порой становится даже более подробным при ретроспективном анализе, позволяя реконструировать городской ландшафт с учетом изменений, происходивших на протяжении времени. Это обстоятельство подчеркивает важность картографических источников в изучении исторического облика города и его эволюции (рис. 10).



а)



б)

Рис. 10. Визуализация городской среды: а) 3D-модель Москвы начала XIX в.; б) 3D-модель Санкт-Петербурга начала XVIII века

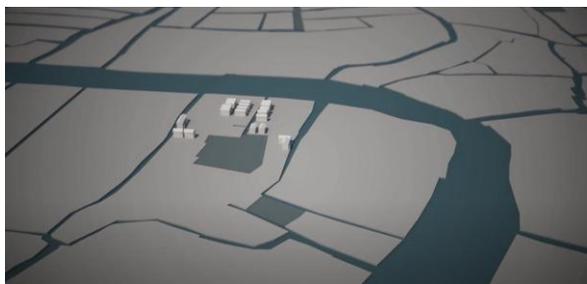
При изучении зарубежного опыта был рассмотрен проект Twin it, который призывает страны ЕС к 2030 году оцифровать все памятники архитектуры и объекты культурного наследия, находящиеся под угрозой исчезновения. Аргументируется это решение тем, что только 0,01% ОКН представлено в виде цифровых копий. Формируется цифровая карта, на которой показывается общеевропейское географическое распределение всех цифровых

объектов, полученных на данный момент. Один из объектов этой карты – церковь Сант-Климент в Тауле. С 2000 года она является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО (рис. 11).



Рис. 11. Цифровая модель. Церковь Сант-Климент в Тауле, Каталония

Проекты Time Machine являются весьма трудоемкими, в их разработке участвуют около двадцати городов и регионов. Проект дословно представляет машину времени и предлагает путешествия в прошлое, стремясь объединить богатую историю Европы с современными цифровыми технологиями, создав единую цифровую платформу, отображающую экономическую, социальную, культурную и географическую эволюцию Европы в разные периоды времени. Примером такой разработки выступает «Машина времени в Венеции», где детально показана динамика развития города, охватывающая более 1000 лет эволюции (рис. 12).



а)



б)



в)



г)

Рис. 12. Динамика развития городской среды Венеции: а) 950 год; б) 1250 год; в) 1500 год; г) 1850 год

В условиях возрастающих рисков природных и антропогенных катастроф, приводящих к утрате исторически значимых архитектурных объектов, созданные цифровые двойники приобретают ценность в сфере реставрации и воссоздания ОКН. Так, во Франции постепенно включают технологию информационного моделирования в сферу сохранения объектов культурного наследия. Наибольшую эффективность демонстрирует комплексный подход, сочетающий данные высокоточного лазерного сканирования с параметрическими BIM-моделями, что обеспечивает достоверную документальную основу для восстановительных работ.

Ярким примером практической значимости цифрового документирования архитектурного наследия стал пожар 2019 года в Соборе Парижской Богоматери, повлекший частичное разрушение шпилевой конструкции, кровельных структур и интерьерных элементов здания. Восстановительные работы существенно оптимизировались благодаря наличию превентивно разработанной BIM-модели сооружения, обеспечившей точную документационную базу для реставрационных мероприятий и конструкционного усиления объекта.

Выводы

В настоящее время современные BIM-технологии позволяют обеспечить более качественный подход к сохранению объектов культурного наследия, исключая разобщенность сведений о них и риск утраты ценных элементов исторической застройки.

BIM-технологии способны стать центральным инструментом управления жизненным циклом архитектурных памятников. BIM-модели содержат в себе геометрическую и негеометрическую информацию, описывающую свойства и характеристики элементов модели. Цифровое моделирование не только повышает точность документирования, но и объединяет информацию о состоянии объекта, выявленных дефектах, оригинальных строительных материалах и технологиях реставрации в единую цифровую платформу. Благодаря этому появляется возможность более качественного анализа текущего состояния исторической застройки и грамотного планирования необходимых мероприятий по ее сохранению.

BIM-технологии с геоинформационными системами (ГИС) позволяют учитывать топографические, геологические и климатические особенности городской среды, что значительно расширяет возможности цифрового моделирования городской инфраструктуры. Это способствует поиску оптимальных решений для включения новой застройки в историческую среду. Концепция цифрового двойника (Digital Twin), основанная на BIM-модели, позволяет создавать динамичные виртуальные копии не только зданий, но и целых городских районов.

Таким образом, BIM-технологии представляют собой принципиально новый подход к сохранению исторической застройки. Их внедрение повышает точность и эффективность на всех этапах работы с историко-культурным наследием, улучшая междисциплинарное взаимодействие специалистов, позволяя прогнозировать динамику изменения состояния объекта, чтобы минимизировать риск утраты объектов культурного наследия. Развитие BIM-технологий, интеграция ГИС, применение ИИ и цифровых двойников становятся неотъемлемой частью в области охраны, сохранения, реставрации и развития исторической городской среды.

Источники иллюстраций

Рис. 1. Изображение на основе материалов. URL:

https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19084 (дата обращения: 28.04.2025).

Рис. 2. а-е) изображение на основе материалов. URL: <https://inre.lt/3d-gis-bim-ir-vr-ingredientai-ismaniju-miestu-infrastrukturos-pyrage/> (дата обращения: 22.07.2025).

Рис. 3. а-г) изображение на основе материалов. URL: <https://geoplys.ru/uslugi/lazernoe-3d-skanirovanie/> (дата обращения: 22.07.2025).

Рис. 4. Изображение на основе материалов. URL: <https://www.geoscan.ru/ru/blog/nasledie-yunesko-v-cifre-sozdana-3d-model-kizhskogo-pogosta> (дата обращения: 01.07.2025).

Рис. 5. а-б) изображение на основе материалов. URL: <https://raznochtenie.ru> (дата обращения: 01.07.2025).

Рис. 6. а-г) изображение на основе материалов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorgippiya-v-epohu-arhaiki-metody-i-tehnologii-3d-rekonstruktsii-drevnego-goroda-kreposti/viewer> (дата обращения: 03.05.2025).

Рис. 7. Изображения из Альбома чертежей памятников архитектуры, истории и культуры Пензенского региона. ОКН Губернаторский дом, г. Пенза [9].

Рис. 8-9. Изображения на основе авторских материалов, созданные в программе Archicad.

Рис. 10. а,б) изображение на основе материалов. URL: <https://cih.ru/wp/bld/2023/07/17/3d-goroda-istoricheskaya-rekonstrukci> (дата обращения: 05.05.2025).

Рис. 11. Изображение на основе материалов. URL: https://www.europeana.eu/en/item/181/share3d_1231 (дата обращения: 07.07.2025).

Рис. 12. а-г) кадры из видео. URL: <https://rutube.ru/video/794dd3c82521546eb23a91061cf68159/> (дата обращения: 28.07.2025).

Список источников

1. Ruffle S. Architectural design exposed: from computer-aided-drawing to computer-aided-design. *Environments and Planning B: Planning and Design*. 1986. Vol. 13(4). S. 385-389. URL: <https://doi.org/10.1068/b130385> (дата обращения: 29.07.2025).
2. Van Nederveen G.A., Tolman F.P. Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*. 1992. Vol. 1. № 3. S. 215-224. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092658059290014B> (дата обращения: 29.07.2025). DOI: 10.1016/0926-5805(92)90014-B
3. Акшов Э.А. Генеративные нейросети в архитектурной практике: инструменты и сценарии применения / Э.А. Акшов, А.К. Терехова // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2025. №2(71). С. 362-374. URL: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/22_akshov.pdf (дата обращения: 21.07.2025). DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2- 362-374 EDN: UWNKED
4. Murphy M., McGovern E., Pavia S. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*. 2009. Vol. 27(4). S. 311-327. URL: <https://www.bibsonomy.org/bibtex/051f55e77ba54b24e11e8e8857028313> (дата обращения: 21.07.2025). DOI: 10.1108/02630800910985108
5. Dore C., Murphy M. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: "Virtual Systems in the Information Society", 2-5 September. 2012. Milan, Italy. S. 369-376. URL: <https://arrow.tudublin.ie/beschrecon/72/> (дата обращения: 21.07.2025). DOI:10.21427/e7sy-rt81
6. Antonopoulou S., Brayan P. BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. 2017. 73 p. URL: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/> (дата обращения: 21.07.2025).
7. Баранник С.В. Обзор британских стандартов семейства PAS 1192 // *САПР и ГИС автомобильных дорог*. 2016. № 1(6). С. 24-27. URL: <https://www.cadgis.ru/2016/6/04> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.4 EDN: XAMXFL
8. Жеребятъев Д.И., Малышев А.А., Моор В.В. Горгиппия в эпоху архаики: методы и технологии 3D реконструкции древнего города-крепости // *Историческая*

информатика. 2018. № 3. С. 33-50. URL:

https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=27575 (дата обращения: 28.07.2025).

DOI: 10.7256/2585-7797.2018.3.27575

9. Лапшина Е.Г. Альбом чертежей памятников архитектуры, истории и культуры Пензенского региона. Пенза: ПГУАС, 2019. 280 с.

References

1. Ruffle S. Architectural design exposed: from computer-aided-drawing to computer-aided-design. *Environments and Planning B: Planning and Design*. 1986, vol. 13(4), pp. 385-389. Available at: <https://doi.org/10.1068/b130385>
2. Van Nederveen G.A., Tolman F.P. Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, 1992, vol. 1, no. 3, pp. 215-224. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092658059290014B> DOI: 10.1016/0926-5805(92)90014-B
3. Akshov E.A., Terekhova A.K. *Generativnyye neyroseti v arkhitekturnoy praktike: instrumenty i stsennarii primeneniya* [Generative neural networks in architectural practice: tools and application scenarios]. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2025, no. 2(71), pp. 362-374. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/22_akshov.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-362-374 EDN: UWNKED
4. Murphy M., MCGovern E., Pavía S. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 2009, vol. 27(4), pp. 311-327. Available at: <https://www.bibsonomy.org/bibtex/051f55e77ba54b24e11e8e8857028313> DOI: 10.1108/02630800910985108
5. Dore C., Murphy M. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: "Virtual Systems in the Information Society", 2-5 September, 2012, Milan, Italy, pp. 369-376. Available at: <https://arrow.tudublin.ie/beschrecon/72/> DOI:10.21427/e7sy-rt81
6. Antonopoulou S., Brayan P. BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model, 2017, 73 p. Available at: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/>
10. Barannik S.V. *Obzor britanskikh standartov PAS 1192* [The review of British standards family PAS 1192]. *IndorSoft*, 2016, no. 1(6), pp. 24-27. Available at: <https://www.cadgis.ru/2016/6/04> DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.4 EDN: XAMXFL
7. Zherebyat'yev D.I., Malyshev A.A., Moor V.V. *Gorgippiya v epokhu arkhaiski: metody i tekhnologii 3D rekonstruktsii drevnego goroda-kreposti* [Gorgippia in the Archaic Era: 3D Methods and Technologies of the Ancient Fortress Town]. *Historical informatics*, 2018, no. 3, pp. 33-50. Available at: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=27575 DOI: 10.7256/2585-7797.2018.3.27575
8. Lapshina E.G. *Al'bom chertezhey pamyatnikov arkhitektury, istorii i kul'tury Penzenskogo regiona* [Album of drawings. Penza Region Monuments of Architecture, History and Culture]. Penza, 2019, 280 p.

ОБ АВТОРЕ**Даниленко Кирилл Александрович**

Аспирант кафедры «Основы архитектурного проектирования», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия

artistbs@ya.ru

ABOUT THE AUTHOR**Danilenko Kirill A.**

Postgraduate Student of the Department of «Fundamentals of Architectural Design», Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

artistbs@ya.ru

Статья поступила в редакцию 05.05.2025; одобрена после рецензирования 22.09.2025; принята к публикации 25.09.2025.