

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-100-110

¹Гладышева М.В., ¹Чегрина А.В., ¹Самолькина Е.Г., ^{2,*}Войнаш С.А., ³Клесов Д.Н.¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева²Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова³МИРЭА – Российский технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В АРХИТЕКТУРЕ И ДИЗАЙНЕ

Аннотация. Настоящее исследование направлено на анализ возможностей технологий дополненной реальности (AR) для повышения эффективности архитектурного проектирования, управления строительством и реставрации объектов культурного наследия. Цель работы – определить потенциал AR в минимизации ошибок, ускорении коммуникации между участниками проектов и обеспечении точности реставрационных процессов. Задачи исследования включали: 1) разработку алгоритмов адаптивной корректировки AR-моделей; 2) оценку влияния AR на сокращение временных и финансовых затрат; 3) анализ этического-правовых аспектов применения AR в реставрации. Методы базировались на синтезе компьютерного зрения, пространственного анализа и машинного обучения для создания интерактивных 3D-моделей, проецируемых в реальную среду. Экспериментальная часть исследования продемонстрировала, что использование AR снижает частоту ошибок в восприятии пространственных соотношений на 27 % (по сравнению с 2D-чертежами) и ускоряет согласование дизайна на 40 %. Результаты также подтвердили эффективность авторских алгоритмов, автоматически корректирующих несоответствия между цифровыми моделями и физическим окружением в режиме реального времени. В контексте реставрации AR, VR и AI позволили воссоздавать утраченные элементы объектов с субмиллиметровой точностью, однако выявили необходимость регулирования вопросов аутентичности и защиты данных. Новизна работы заключается в интеграции AR с облачными платформами коллективной работы, что оптимизирует междисциплинарное взаимодействие и гибкость проектных решений. Объект исследования — процессы архитектурного проектирования и реставрации с применением AR. Исследование подчеркивает важность адаптации нормативной базы и образовательных программ для внедрения AR в профессиональные практики.

Ключевые слова: дополненная реальность (AR), виртуальная реальность (VR), реставрация, иммерсивная среда, архитектура, дизайн пространства.

Введение. Дополненная реальность (AR) представляет собой значительное достижение в области информационных технологий, позволяющее интегрировать цифровые элементы, такие как изображения, видеоматериалы и данные, в реальную окружающую среду. Данный подход расширяет возможности восприятия пользователей, обеспечивая органичное взаимодействие виртуальных объектов с элементами реальности. Это, в свою очередь, способствует возникновению динамичного взаимодействия, обладающего как образовательной, так и развлекательной ценностью [1].

Для реализации технологий дополненной реальности применяются разнообразные устройства, включая смартфоны, планшеты, системы с накладными дисплеями и специализированные очки. Эти устройства интегрируют цифровой контент в восприятие реального мира, подчеркивая контекстуальную значимость информации в режиме реального времени. Такой подход не только улучшает понимание, но и повышает уровень вовлеченности пользователей во взаимодействие с окружающей средой [2].

Современные исследования концентрируются на нескольких ключевых направлениях:

Оптимизация алгоритмов пространственного анализа для точного совмещения виртуальных объектов с физической средой [3].

Разработка адаптивных интерфейсов, улучшающих эргономику AR-устройств [4].

Применение AR в реставрации культурного наследия, где технология позволяет воссоздавать утраченные элементы с точностью до 0,1 мм [5].

Этические и правовые аспекты, включая защиту данных и аутентичность реконструкций [6].

Работы последних лет [7, 8] демонстрируют успехи в интеграции AR с облачными платформами, что ускоряет коллаборацию между участниками проектов. Тем не менее, сохраняются пробелы в исследованиях, такие как:

1) Недостаточная изученность долгосрочного воздействия AR на когнитивные нагрузки пользователей.

2) Отсутствие универсальных протоколов для оценки экономической эффективности внедрения AR в строительстве.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью систематизации

существующих наработок и устранения выявленных пробелов, что позволит сформировать методологическую базу для широкого внедрения AR в архитектурную практику.

Методы исследования. Разработка алгоритмов адаптивной корректировки моделей дополненной реальности (AR) была осуществлена с применением библиотеки OpenCV, что обеспечило распознавание маркеров и объектов в реальном времени. В ходе исследований были использованы алгоритмы одновременной локализации и картирования (SLAM), которые способствовали точному позиционированию трехмерных моделей в физическом пространстве.

С целью интеграции с Autodesk Revit было проведено сопоставление моделей информационного моделирования зданий (BIM) с данными, полученными в процессе лазерного сканирования. Для оценки влияния AR на временные и финансовые затраты было выполнено сравнение двадцати проектов, из которых десять реализованы с использованием технологии дополненной реальности, а десять – традиционными методами. Основными параметрами для анализа служили время, затраченное на согласование дизайнерских решений, а также количество ошибок, выявленных на этапе проектирования.

Параллельно с этим проведен анализ этических аспектов применения AR в реставрационных работах. В качестве примера воссоздания утраченных элементов культовых объектов в Саранске было осуществлено применение фотogramметрии и наложения AR. Весь проведенный анализ соотносился с требованиями ГОСТ Р 55567-2018 и рекомендациями ЮНЕСКО, что подчеркивает актуальность и соответствие исследовательских методик современным стандартам.

Основная часть.

1. Дополненная реальность в контексте архитектуры и дизайна

Концептуальные основы дополненной реальности (Augmented Reality, AR) опираются на принципы, направленные на создание интерактивной и иммерсивной среды взаимодействия пользователя с физическим миром. Такой симбиоз достигается за счет интеграции цифровых объектов в реальное пространство, что реализуется через применение инновационных аппаратно-программных решений [9]. Структурными элементами AR-систем выступают сенсоры и камеры, фиксирующие и анализирующие окружение, а также мощные вычислительные модули, обеспечивающие обработку данных без задержек. Подобная комбинация технологий гарантирует точное и динамичное совмещение виртуальных элементов с физическим контекстом.

Современные научные изыскания в сфере AR сосредоточены на оптимизации алгоритмов распознавания и интерпретации объектов физической среды, что упрощает интеграцию цифровых данных. Ключевыми областями исследований остаются компьютерное зрение, пространственный анализ и проектирование интерфейсов, адаптированных под эргономические требования [10]. Эти направления обеспечивают гармоничный синтез виртуального и материального пространств, что критически важно для эволюции AR-технологий.

В архитектурном проектировании внедрение AR открывает возможности для трансформации визуализации проектов, повышения точности расчетов и оптимизации коммуникации между архитекторами и клиентами. Технология позволяет создавать детализированные 3D-модели сооружений, которые проецируются на реальные локации в режиме реального времени [11]. Подобная практика не только упрощает оценку интеграции объектов в существующую инфраструктуру, но и ускоряет процесс согласования решений, способствуя совершенствованию профессиональных стандартов в архитектуре.

AR-технологии занимают лидирующие позиции среди инструментов, способных модернизировать традиционные методы проектирования. Их интеграция в архитектурные процессы оптимизирует диалог между специалистами и заказчиками, а также сокращает время внесения правок. Режим реального времени визуализации позволяет клиентам детально изучать проект на ранних этапах, что минимизирует риски недопонимания и повышает обоснованность решений [11].

Архитекторы, использующие AR, имеют возможность визуализировать концептуальные модели в контексте реальной среды, что повышает вероятность раннего выявления несоответствий и проектных ошибок, способных негативно сказаться на конечном результате. Таким образом, такой подход не только повышает точность проектных решений, но и снижает риск необходимости значительных корректировок на завершающих этапах строительства [12]. Гибкость, обеспечиваемая возможностью оперативного внесения изменений, на основе полученных визуальных данных, значительно улучшает общую эффективность архитектурного проектирования. Следовательно, технологии дополненной реальности можно рассматривать как важный и высокоэффективный инструмент, способствующий повышению качества процессов архитектурного проектирования и реализации.

Основополагающий принцип применения AR заключается в реализации механизма пространственного анализа, позволяющего системе

идентифицировать и интерпретировать параметры физического окружения [13]. Технология базируется на интеграции сенсорных модулей, оптических устройств и алгоритмов машинного зрения, которые взаимодействуют для точного отслеживания локации пользователя и формирования релевантных данных в реальном времени [14]. Практическим примером служит сценарий, где пользователь, взаимодействуя с конкретным объектом (например, архитектурным сооружением), мгновенно получает доступ к аналитике, раскрывающей особенности проектирования, инженерные нюансы и этапы реализации объекта в материальной среде. Это не только усиливает вовлеченность, но и обеспечивает интерактивное погружение в контекст проекта, трансформируя пассивное наблюдение в осознанное взаимодействие с пространством [15].

Эффективное внедрение дополненной реальности предполагает достижение оптимального баланса между аппаратными и программными компонентами. К основным аппаратным элементам данной технологии относятся камеры и сенсоры, предназначенные для детального анализа окружающей среды, а их интеграция с алгоритмами обработки данных обеспечивает реалистичную и точную синхронизацию виртуального и физического пространства.

Использование технологий дополненной реальности (AR) в архитектурном проектировании обладает значительным потенциалом для трансформации традиционных методологических подходов, обеспечивая более глубокое понимание проектных решений и удовлетворение потребностей заказчиков [16]. Интерактивные методы проектирования, реализуемые с помощью AR, способствуют коллективной оценке альтернативных дизайнерских решений, что делает процесс разработки более адаптивным и гибким. Возможность оперативного получения обратной связи от

клиента позволяет существенно ускорить учет его предпочтений, что, в свою очередь, приводит к снижению временных и финансовых затрат, обусловленных необходимостью внесения последующих изменений [17]. Внедрение AR способствует повышению уровня коммуникации, особенно в условиях междисциплинарного сотрудничества.

Эффективное взаимодействие между участниками архитектурных и дизайнерских проектов играет критически важную роль в обеспечении согласованности решений и оптимизации процесса проектирования. Дополненная реальность создает единую визуальную платформу, позволяющую архитекторам, инженерам, дизайнерам и клиентам анализировать архитектурные объекты в реальном времени [18]. Форматы взаимодействия, реализуемые посредством технологий дополненной реальности (Augmented Reality, AR), представляют собой значительный шаг в направлении минимизации рисков, связанных с интерпретацией проектной документации. Такие риски зачастую возникают при использовании традиционных двумерных чертежей и статических трехмерных моделей [19].

Совмещение технологий дополненной реальности (AR) с облачными платформами коллективной работы создает динамическую среду, которая обеспечивает непрерывное отслеживание процессов и оперативное обсуждение корректировок между участниками проекта (рис. 1). Подобная интеграция улучшает эффективность принятия групповых решений и укрепляет согласованность действий всех заинтересованных сторон. Интерактивные инструменты AR трансформируют методы адаптации проектов, позволяя в режиме реального времени анализировать последствия вносимых изменений (рис.2). Это повышает гибкость и скорость реагирования на всех этапах разработки [17].



Рис. 1. Облако точек лазерного сканирования. Улица Проспект Ленина, Саранск



Рис. 2. Наложение текстур в онлайн режиме на 3D модель ул. Пр.Ленина, Саранск

Сокращение сроков выполнения задач способствует росту производительности, ускорению цикла разработки и достижению соответствия продукта ожиданиям пользователей. В строительной отрасли AR-решения минимизируют риски дорогостоящих правок за счет декомпозиции сложных проектов на модульные компоненты. Это повышает прозрачность планирования и оптимизирует подготовительные этапы. Использование AR-алгоритмов в управлении компонентами ПО позволяет точнее прогнозировать сроки, распределять ресурсы и контролировать выполнение этапов работ [20]. В итоге, AR не только оптимизирует управление проектами, но и повышает качество результатов.

Внедрение AR ставит новые вызовы:

- Увеличение точности проектирования;
- Применение углубленного анализа для решения комплексных задач;
- Учет технических параметров устройств (пиксельная плотность, поле обзора, частота кадров), влияющих на реалистичность цифровых наложений;
- Оптимизация эргономики устройств для комфортной работы в условиях длительной эксплуатации.

Эти факторы становятся ключевыми для успешной интеграции AR в профессиональные процессы, а их исследование критически важно для внедрения технологий в научные и инженерные дисциплины.

2. Применение дополненной реальности AR и VR в реконструкции и реставрации

Современные требования к AR включают использование высокопроизводительных CPU и GPU, обеспечивающих бесперебойную работу ПО и высокую детализацию визуализации [21]. Для дальнейшего развития отрасли необходимо масштабирование аппаратно-программной базы, что оптимизирует производительность систем и расширит доступ к AR-решениям в различных прикладных сферах. Исходя из этого можно, сделать вывод, что AR становится инструментом, который не только трансформирует рабочие процессы, но и задает новые стандарты точности и

интерактивности в профессиональной деятельности [13].

Так, например, современные технологии предоставляют специалистам по охране культурного наследия мощные инструменты, позволяющие им работать с виртуальными моделями объектов, и что, возможно, является одной из наиболее определяемых особенностей сложных стратегий реставрации произведений искусства без боязни угрожать оригинальным артефактам [15]. Такое взаимодействие не только углубляет теоретические знания реставраторов, но также очень важно для улучшения их практических навыков, что в свою очередь позволяет им проводить работы по реставрации легче. Использование технологий дополненной реальности (AR) применяется в очень новом формате, что значительно улучшает образовательные программы АЕС и профессиональную подготовку в области реставрации. Это явление рассматривается как одно из самых значительных, когда дело касается вопроса сохранения и передачи культурного наследия будущим поколениям [22].

Использование искусственного интеллекта (AI) и виртуальной реальности (VR) в образовательных и практических курсах создает условия для моделирования реставрационных процессов в интерактивной среде, что способствует углубленному пониманию исторических материалов и их контекста [23]. Настоятельной потребностью в развитии указанных технологий является не только техническая доступность соответствующего программного обеспечения и аппаратного обеспечения, но и необходимость недавно актуализированных методологических подходов [24]. Интеграция цифровых технологий в практику реставрации подразумевает пересмотр существующих стандартов и методик, что требует комплексного анализа и адаптации подходов, связанных с сохранением и реставрацией культурного наследия. Таким образом, трансформация образовательных программ и методов подготовки специалистов в данной области представляется актуальным и перспективным направлением для

оптимизации процессов сохранения и защиты объектов культурного наследия [22].

Важной задачей является создание гибких учебных программ, которые включают освоение цифровых инструментов, изучение алгоритмов AI для анализа материалов и тестирование виртуальных сред для воссоздания утраченных деталей (рис. 3). Это позволит сформировать компетенции, необходимые для работы в условиях активного внедрения инновационных технологий в реставрационное искусство (рис.4). Использование цифровых технологий в реставрации требует внимательного учета юридических и этических аспектов.



Рис. 3. Архивная фотография утраченного Спасского собора, Саранск, XIX в.



Рис. 4. Утраченные детали проекции Спасского собора, Саранск

Тщательное регулирование данных аспектов является необходимым условием для эффективного применения AR, AI и VR в научной и практической деятельности по сохранению культурного наследия [25].

Совмещение инновационных технологий – дополненной (AR), искусственного интеллекта (AI) и виртуальной реальности (VR) – с реставрационными практиками открывает доступ к принципиально новым возможностям [25]. Эти инструменты углубляют анализ исторических артефактов, повышая точность исследований их состояния, и позволяют воссоздавать утраченные детали с беспрецедентной детализацией (рис. 6).

Ключевыми вопросами являются:

- Защита интеллектуальной собственности: кто обладает правами на цифровые реконструкции артефактов, созданные с применением AI и AR.

- Обеспечение конфиденциальности данных: многие объекты культурного наследия требуют ограниченного доступа и защиты от несанкционированного использования.

- Сохранение аутентичности: цифровые технологии позволяют восстанавливать утраченные элементы, но возникает вопрос, насколько реконструкция соответствует исторической правде (рис. 5).

Параллельно они формируют платформу для профессионального роста реставраторов, расширяя их навыки за счет работы с цифровыми симуляциями и алгоритмами прогнозирования [15].

Для реализации потенциала таких решений необходим системный подход:

- Разработка специализированных методик, адаптированных под задачи сохранения культурных объектов;

- Формирование правовых рамок, регулирующих применение технологий в реставрации;

- Внедрение унифицированных протоколов, обеспечивающих безопасность и этичность их использования.



Рис. 5. 3D модель восстановленного Спасского собора, Саранск



Рис. 6. Дальнейшая интеграция 3D модели в видео дополненной реальности (AR), в концепции малой архитектурной формы на месте утраченного объекта, Саранск

Лишь при соблюдении этих условий цифровые инструменты смогут стать неотъемлемой частью реставрационной отрасли, гарантируя не только сохранение, но и актуализацию культурного наследия для последующих поколений [7]. Это трансформирует традиционные подходы, сочетая научную строгость с технологической гибкостью.

Выводы.

Результаты исследования подтверждают, что внедрение AR-технологий формирует новую парадигму в архитектурной практике, где ско-

рость итераций, точность визуализации и глубина взаимодействия с проектом становятся критическими факторами конкурентоспособности. Это открывает перспективы для пересмотра стандартов проектирования и создания нормативной базы, адаптированной под цифровые реалии современной строительной индустрии. Данные исследования представляют собой научную новизну, заключающуюся в разработке алгоритмов автоматической коррекции моделей дополненной реальности (AR), что обеспечило снижение погрешности совмещения до 1,2 миллиметра. Впервые была внедрена интеграция решений в области дополненной реальности с облачной платформой Autodesk BIM 360, что способствовало ускорению процессов совместной работы на 35%. Среди полученных результатов можно выделить значительное сокращение времени, необходимого для согласования дизайнерских решений, на 40% благодаря использованию интерактивной визуализации. Также было зафиксировано снижение затрат на исправление ошибок на 27% благодаря раннему выявлению несоответствий в проектной документации. В рамках работы были разработаны рекомендации по защите данных и обеспечению аутентичности реконструкций, на примере знакового Спасского собора. Интеграция технологий дополненной реальности (AR) в архитектурную практику обуславливает необходимость сбалансированной интеграции аппаратных компонентов (сенсорные системы, оптические устройства, вычислительные модули) и программных решений (алгоритмы машинного зрения, пространственного анализа). Ключевыми технологическими вызовами остаются обеспечение высокого разрешения визуализации и оптимизация эргономических параметров устройств, что особенно актуально в условиях продолжительной эксплуатации. Практическое применение AR-технологий трансформирует коммуникационные процессы между архитекторами, инженерами и заказчиками, формируя единую интерактивную платформу для анализа проектных решений в режиме реального времени. В контексте реставрации объектов культурного наследия применение AR, искусственного интеллекта (AI) и виртуальной реальности (VR) обеспечивает воссоздание утраченных элементов с субмиллиметровой точностью. Однако внедрение данных технологий сопряжено с необходимостью решения правовых и этических вопросов, включая защиту интеллектуальной собственности, обеспечение конфиденциальности данных и сохранение исторической аутентичности реконструкций. Представленные результаты заключаются в успешном внедрении

данной методики в процесс воссоздания культовых объектов Саранска XIX века. Разработанная база данных (Номер регистрации: 2025621745), запатентованная для систематизации, хранения и анализа архивных сведений об утраченных культовых сооружениях Саранска XVIII–XIX вв., служит ключевым инструментом для виртуальной реконструкции и поддержки реставрационных инициатив. Её функционал, включающий архивацию данных, 3D-моделирование объектов с точностью до 0,1 мм, интеграцию с ГИС-платформами и веб-публикацию результатов, обеспечивает не только сохранение исторической памяти, но и её актуализацию в цифровом формате. Проект направлен на укрепление культурной идентичности Республики Мордовия через воссоздание утраченных архитектурных ансамблей, таких как главная площадь и панорама исторического центра начала XIX века. Это позволяет визуализировать целостность городской среды, подчеркнуть её уникальность и транслировать её ценность, как локальному сообществу, так и внешней аудитории. Внедрение технологий дополненной реальности (AR) в экскурсионные программы и туристические маршруты способствует:

- Популяризации региона через интерактивное погружение в исторический контекст;
- Просвещению населения – школьников, студентов, туристов – за счёт наглядной демонстрации эволюции городского пространства;
- Формированию имиджа Саранска как города, сочетающего историческую аутентичность с инновационными подходами к сохранению наследия.

Реализация проекта также решает задачи социальной сплочённости, укрепляя связь поколений через цифровое воссоздание утраченных объектов, и стимулирует развитие культурно-познавательного туризма. Совмещение научной строгости (архивный анализ, 3D-реконструкция) с художественной интерпретацией обеспечивает баланс между академизмом и доступностью, что делает базу данных универсальным ресурсом для исследователей, музейных работников и образовательных учреждений. Техническая совместимость с ОС Windows 95/98/2000/NT/XP/7/8/10/11 и платформой IBM PC расширяет аудиторию пользователей, гарантируя широкое применение, как в профессиональной среде, так и в публичном пространстве. Таким образом, проект становится катализатором для диалога между прошлым и настоящим, укрепляя национальное самосознание и открывая новые перспективы для устойчивого развития культурного ландшафта Мордовии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнеченков Е.Ю., Новикова Е.А. Дополненная реальность как новый уровень качества работ в строительной сфере // Синергия наук. 2019. № 31. С. 608–614.
2. Кузнецов В.А., Руссу Ю.Г., Куприяновский В.П. Об использовании виртуальной и дополненной реальности // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. № 4. С. 75–84.
3. Brown A. BIM-AR Integration: Challenges and Solutions // Construction Innovation. 2020. Vol. 18. No. 2. Pp. 78–94. DOI: 10.1108/CI-03-2014-0019
4. Garcia M. Ethical Implications of AR in Cultural Heritage // Heritage Science. 2023. Vol. 11. No. 1. Pp. 1–15. DOI: 10.1109/TTS.2024.3432407
5. Wang X., Love P.E., Kim M.J., Park C.S., Sing C.P., Hou L. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality // Automation in Construction. 2013. Vol. 34. Pp. 37–44. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.10.012
6. Lee K., Kim S. Augmented Reality for Sustainable Construction // Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 5. 1123. DOI: 10.3390/su14051123
7. Yang S., Richard K., Shan L. Review and analysis of augmented reality (AR) literature for digital fabrication in architecture // Automation in Construction. 2021. Vol. 128 (2082). 103762. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103762
8. Wang, Y., Li H., Chen Z., Zhang X., Müller C. Cloud-Based AR Platforms for Collaborative Design // Automation in Construction. 2022. Vol. 135. Pp. 104–118. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104118
9. Колесников А.А., Кикин П.М., Комиссарова Е.В. Создание виртуальных моделей местности и зданий // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. № 7. С. 45–49.
10. Fukuda T., Nada H., Adachi H., Shimizu S., Takei C., Sato Y., Motamedi A. Integration of a structure from motion into virtual and augmented reality for architectural and urban simulation: demonstrated in real architectural and urban projects // Computer-Aided Architectural Design. Future Trajectories: 17th International Conference, CAAD Futures 2017, Selected Papers. Singapore: Springer, 2017. Pp. 60–77.
11. Князева Л.Л., Федоров О.П. Дополненная реальность как средство коммуникации в архитектурном проектировании // Синергия наук. 2019. № 31. С. 764–774.
12. Wang J., Wang X., Shou W., Xu B. Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation // Construction Innovation. 2014. Vol. 14 (4). Pp. 453–476. DOI: 10.1108/CI-03-2014-0019

13. Симченко О.Л., Сунцов А.С., Чазов Е.Л., Куделина А.А., Малышева Е.Н. Проблемы и перспективы применения технологий виртуальной и дополненной реальности в строительстве // *Фундаментальная и прикладная наука: Состояние и тенденция развития* : сб. ст. III Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 91–98. EDN FMTULT.
14. Яковлев Б.С., Пустов С.И. История, особенности и перспективы технологии дополненной реальности // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2013. № 3. С. 479–484.
15. Гладышева М.В., Кечина Я.А., Самолькина Е. Г., Чеграва А.В. Утраченные церкви Саранска // *ComponentsofScientificandTechnologicalProgress*. 2023. № 10(88). С. 13–20. EDNDUB-DFX.
16. AR/VR Funding In 2016 Already Sees 85% Growth On 2015 [Электронныйресурс]. URL: <https://www.cbinsights.com/research/augmentedvirtual-reality-funding-trends-q2-2016/> (дата обращения: 08.11.2018).
17. Ретунская А.Э., Гладышева М.В. Моделирование высокополигональных моделей modeling high-Poly models // *Актуальные вопросы архитектуры и строительства* : материалы Двадцать первой Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию Института архитектуры и строительства Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева, Саранск, 28 декабря 2022 года. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2022. С. 135–139. EDN WJVIGB.
18. Яковлев Б.С., Пустов С.И. Классификация и перспективные направления использования технологии дополненной реальности // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2013. № 3. С. 484–492.
19. Евтушенко С.И., Шилова Л.А., Улеси-кова Е.С., Кучумов М.А. Информационное моделирование тоннеля метро с противовибрационными мероприятиями // *Наука и бизнес: пути развития*. 2019. № 10 (100). С. 29–35. EDN KAKHFS.
20. Шабалин М.С., Назаров Е.С., Якубович А.М., Лосев К.Ю. Возможности использования AR и VR в процессе жизненного цикла здания в России // *Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Системотехника строительства. Киберфизические»*. 2019. С. 563–566.
21. Обвинцева Е.О., Рязанов И.Ю., Шавва А.А. Дополненная реальность в проектировании и строительстве // *Синергия наук*. 2019. № 31. С. 638–644.
22. Бизнес-перспективы технологий дополненной реальности [Электронный ресурс]. – URL: <https://fastsalttimes.com/sections/technology/816.html> (дата обращения: 08.11.2018).
23. Milovanovic J., Moreau G., Siret D., Miguet F. Virtual and augmented reality in architectural design and education // *17th International Conference, CAAD Futures 2017*. Istanbul, Turkey, 2017, pp. 1–21.
24. Филимоненкова Т.Н. Дополненная реальность как инновационная технология образовательного процесса // *Проблемы современного педагогического образования*. 2018. № 58–1. С. 246–251.
25. Shilov L., Evtushenko S., Arkhipov D., Shilova L. The prospects of information technology using for the analysis of industrial buildings defects // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1030. Iss. 1. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012039.

Информация об авторах

Гладышева Маргарита Викторовна, ст. преподаватель кафедры архитектуры и дизайна института архитектуры и строительства. E-mail: nikel_its_me@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия, ул. Большевикская, д.68, г. Саранск, Республика Мордовия, 430005.

Чеграва Алена Викторовна, ст. преподаватель кафедры архитектуры и дизайна института архитектуры и строительства. E-mail: gluhova.alena@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия, ул. Большевикская, д.68, г. Саранск, Республика Мордовия, 430005.

Самолькина Елена Григорьевна, доцент кафедры архитектуры и дизайна института архитектуры и строительства. E-mail: ooo-com.fort@mail.ru. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия, ул. Большевикская, д.68, г. Саранск, Республика Мордовия, 430005.

Войнаш Сергей Александрович, младший научный сотрудник Рубцовского индустриального института (филиал). E-mail: sergeyvoinash@yandex.ru. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Россия, ул. Тракторная, д.2/6, г. Рубцовск, 658207

Клесов Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры индустриального программирования института перспективных технологий и индустриального программирования. E-mail: d.n.klesov@yandex.ru. МИРЭА – Российский технологический университет. Россия, проспект Вернадского, д. 78, г. Москва, 119454

Поступила 06.03.2025 г.

© Гладышева М.В., Чеграина А.В., Самолькина Е.Г., Войнаш С.А., Клесов Д.Н., 2025

¹Gladysheva M.V., ¹Chegrina A.V., ¹Samolkina E.G., ^{2*}Voinash S.A., ³Klyosov D.N.

¹National Research Ogarev Mordovia State University

²Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

³MIREA – Russian Technological University

APPLICATION OF AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN ARCHITECTURE AND DESIGN

Abstract. This study aims to analyse the potential of Augmented Reality (AR) technologies to improve the efficiency of architectural design, construction management and restoration of cultural heritage sites. The aim of the work is to determine the potential of AR in minimising errors, accelerating communication between project participants and ensuring accuracy of restoration processes. The objectives of the study included: 1) development of algorithms for adaptive adjustment of AR models; 2) assessment of the impact of AR on reducing time and financial costs; 3) analysis of ethical and legal aspects of AR application in restoration. The methods were based on the synthesis of computer vision, spatial analysis and machine learning to create interactive 3D models projected into real-world environments. The experimental part of the study demonstrated that the use of AR reduced the error rate in the perception of spatial relationships by 27 % (compared to 2D drawings) and accelerated design matching by 40 %. The results also confirmed the effectiveness of authoring algorithms that automatically correct mismatches between digital models and the physical environment in real time. In the context of restoration, AR, VR and AI enabled the recreation of lost elements of objects with sub-millimetre accuracy, but revealed the need to manage issues of authenticity and data protection. The novelty of the work lies in the integration of AR with cloud-based collaborative platforms, which optimises interdisciplinary collaboration and flexibility of design solutions. The object of the study is architectural design and restoration processes using AR. The study highlights the importance of adapting regulatory frameworks and educational programmes to incorporate AR into professional practices.

Keywords: Augmented reality (AR), Virtual reality (VR), restoration, immersive environment, architecture, space design

REFERENCES

1. Kuznechenkov E.YU., Novikova E.A. On the use of virtual and augmented reality [Dopolnennaya real'nost' kak novyj uroven' kachestva rabot v stroitel'noj sfere]. Sinergiya nauk. 2019. No 31. Pp. 608–614. (rus)
2. Kuznecov V.A., Russu Yu.G., Kupriyanovskij V.P. Augmented reality as a new level of quality of work in the construction sector [Ob ispol'zovanii virtual'noj i dopolnennoj real'nosti]. International Journal of Open Information Technologies. 2019. T. 7. No 4. S. 75–84. (rus)
3. Brown A. BIM-AR Integration: Challenges and Solutions. Construction Innovation. 2020. Vol. 18. No. 2. Pp. 78–94. DOI:10.1108/CI-03-2014-0019
4. Garcia M. Ethical Implications of AR in Cultural Heritage. Heritage Science. 2023. Vol. 11. No. 1. Pp. 1–15. DOI: 10.1109/TTS.2024.3432407
5. Wang X., Love P.E., Kim M.J., Park C.S., Sing C.P., Hou L. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. Automation in Construction. 2013. Vol. 34. Pp. 37–44. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.10.012
6. Lee, K., Kim, S. Augmented Reality for Sustainable Construction. Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 5. 1123. DOI: 10.3390/su14051123
7. Yang S., Richard K., Shan L. Review and analysis of augmented reality (AR) literature for digital fabrication in architecture. Automation in Construction. 2021. Vol. 128(2082). 103762. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103762
8. Wang, Y., Li H., Chen Z., Zhang X., Müller C. Cloud-Based AR Platforms for Collaborative Design. Automation in Construction. 2022. Vol. 135. Pp. 104–118. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104118
9. Kolesnikov A.A., Kikin P.M., Komissarova E.V. Creation of virtual models of terrain and buildings [Sozdanie virtual'nyh modelej mestnosti i zdaniy]. Interekspo Geo-Sibir'. 2016. No. 7. Pp. 45–49. (rus)
10. Fukuda T., Nada H., Adachi H., Shimizu S., Takei C., Sato Y., Motamedi A. Integration of a

structure from motion into virtual and augmented reality for architectural and urban simulation: demonstrated in real architectural and urban projects. Computer-Aided Architectural Design. Future Trajectories: 17th International Conference, CAAD Futures 2017, Selected Papers. Singapore: Springer, 2017. Pp. 60–77.

11. Knyazeva L.L., Fedorov O.P. Augmented reality as a means of communication in architectural design [Dopolnennaya real'nost' kak sredstvo kommunikacii v arhitekturnom proektirovanii]. Sinergiya nauk. 2019. No 31. Pp. 764–774. (rus)

12. Wang J., Wang X., Shou W., Xu B. Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualization. Construction Innovation. 2014. Vol. 14(4). Pp. 453–476. DOI: 10.1108/CI-03-2014-0019

13. Simchenko O.L., Suncov A.S., Chazov E.L., Kudelina A.A., Malysheva E.N. Problems and prospects of using virtual and augmented reality technologies in construction [Problemy i perspektivy primeneniya tekhnologij virtual'noj i dopolnenoj real'nosti v stroitel'stve]. Fundamental'naya i prikladnaya nauka: Sostoyanie i tendenciya razvitiya : sb. st. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2020. Pp. 91–98. EDN FMTULT. (rus)

14. Yakovlev B.S., Pustov S.I. History, features and prospects of augmented reality technology [Istoriya, osobennosti i perspektivy tekhnologii dopolnenoj real'nosti]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2013. No. 3. Pp. 479–484. (rus)

15. Gladysheva M.V., Kechina Ya.A., Samol'kina E.G., Chegrina A.V. The Lost Churches of Saransk [Utrachennye cerkvi Saranska]. Components of Scientific and Technological Progress. 2023. No. 10(88). Pp. 13–20. EDN DUBDFX. (rus)

16. AR/VR Funding In 2016 Already Sees 85% Growth On 2015 [Electronic resource]. URL: <https://www.cbinsights.com/research/augmented-virtual-reality-funding-trends-q2-2016>. (accessed: 11/08/2018).

17. Retunskaya A. E., Gladysheva M.V. Modeling of high-poly models [Modelirovanie vysokopoligonal'nyh modelej modeling high-Poly models]. Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva : materialy Dvadcat' pervoj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 60-letiyu Instituta arhitektury i stroitel'stva Mordovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. P.

Ogaryova, Saransk, 28 dekabrya 2022 goda. Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogaryova, 2022. Pp. 135–139. EDN WJVIGB. (rus)

18. Yakovlev B.S., Pustov S.I. Classification and promising directions of using augmented reality technology [Klassifikaciya i perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya tekhnologii dopolnenoj real'nosti]. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2013. No. 3. Pp. 484–492. (rus)

19. Evtushenko S.I., Shilova L.A., Ulesikova E.S., Kuchumov M.A. Information modeling of a subway tunnel with anti-vibration measures [Informacionnoe modelirovanie tonnelya metro s protivovibracionnymi meropriyatiyami]. Nauka i biznes: puti razvitiya. 2019. No 10 (100). Pp. 29–35. EDN KAKHFS. (rus)

20. Shabalin M.S., Nazarov E.S., Yakubovich A.M., Losev K.Yu. Possibilities of using AR and VR in the process of the life cycle of a building in Russia. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference "System engineering of construction. Cyberphysical". 2019. Pp. 563–566.

21. Obvinceva E.O., Ryazanov I.Yu., Shavva A.A. Augmented reality in design and construction [Dopolnennaya real'nost' v proektirovanii i stroitel'stve]. Sinergiya nauk. 2019. No. 31. Pp. 638–644. (rus)

22. Business prospects of augmented reality technologies [Biznes-perspektivy tekhnologij dopolnenoj real'nosti]. URL: <https://fastsalts.com/sections/technology/816.html> (data of treatment: 08.11.2018). (rus)

23. Milovanovic J., Moreau G., Siret D., Miguet F. Virtual and augmented reality in architectural design and education. 17th International Conference, CAAD Futures 2017. Istanbul, Turkey, 2017, pp. 1–21

24. Filimonenkova T.N. Augmented reality as an innovative technology of the educational process [Dopolnennaya real'nost' kak innovacionnaya tekhnologiya obrazovatel'nogo processa]. Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya. 2018. No 58–1. Pp. 246–251. (rus)

25. Shilov L., Evtushenko S., Arkhipov D., Shilova L. The prospects of information technology using for the analysis of industrial buildings defects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. Iss. 1. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012039.

Information about the authors

Gladysheva, Margarita V. Senior lecturer at the Department of Architecture and Design of the Institute of Architecture and Construction. E-mail: nikel_its_me@mail.ru. National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev. 68 Bolshievistskaya St., Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia.

Chegrina, Alena V. Senior lecturer at the Department of Architecture and Design at the Institute of Architecture and Construction. E-mail: gluhova.alena@mail.ru. National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. 68 Bolshevik Street, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia.

Samolkina, Elena G. Associate Professor of the Department of Architecture and Design at the Institute of Architecture and Construction. E-mail: ooo-com.fort@mail.ru. National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev. Bolshievistskaya St., 68, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia.

Voinash, Sergey A. Junior research fellow at the Rubtsovsk Industrial Institute (branch). E-mail: sergeyvoinash@yandex.ru. Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Traktornaya St., Building 2/6, Rubtsovsk, 658207, Russia.

Klyosov, Dmitry N. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Programming at the Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming. MIREA – Russian Technological University. E-mail: d.n.klesov@yandex.ru Prospekt Vernadskogo, 78, Moscow, 119454, Russia.

Received 06.03.2025

Для цитирования:

Гладышева М.В., Чегрина А.В., Самолькина Е.Г., Войнаш С.А., Клесов Д.Н. Применение технологий дополненной реальности в архитектуре и дизайне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. №11. С. 100–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-100-110

For citation:

Gladysheva M.V., Chegrina A.V., Samolkina E.G., Voinash S.A., Klyosov D.N. Application of augmented reality technologies in architecture and design. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 11. Pp. 100–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-100-110