

Эволюция технологий архитектурного проектирования

И.В. Кравченко, О.Т. Иевлева

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье представлен всесторонний обзор эволюции технологий архитектурного проектирования, охватывающий исторические этапы от древности до современности. Рассмотрены ключевые методы измерения, черчения и визуализации, применявшиеся в разные эпохи: от примитивных инструментов древних цивилизаций до высокоточных цифровых технологий современной практики. Особое внимание уделено переходу от эмпирических подходов к систематизированным методам, развитию начертательной геометрии, появлению механизированных средств проектирования в эпоху индустриализации и внедрению информационных систем, таких как САД и ВІМ. Анализируется влияние технологических преобразований на точность, эстетичность и функциональность архитектурных решений, подчёркивается значимость интеграции цифровых инструментов для оптимизации проектных процессов и повышения качества городской среды. Сделан вывод о том, что дальнейшее развитие технологий, включая параметрическое проектирование, генеративный дизайн, роботизацию и применение искусственного интеллекта, будет определять будущее архитектурной практики, способствуя созданию устойчивых и инновационных проектов.

Ключевые слова: архитектура, проектирование, технология, измерение, черчение, визуализация, макет, цифровизация, cad, bim, параметризация, генеративный дизайн, роботизация, искусственный интеллект.

Введение

Архитектурное проектирование является одним из ключевых элементов развития общества и цивилизации, формируя среду, в которой живут, работают и взаимодействуют люди. От древних сооружений, символизирующих культурные и религиозные ценности, до современных мегаполисов, отражающих технологический прогресс, архитектура остается важным инструментом воплощения человеческих идей и потребностей.

Эволюция технологий архитектурного проектирования играет фундаментальную роль в развитии архитектуры как искусства и науки. Каждое технологическое новшество — от первых измерительных инструментов древности до современных методов компьютерного моделирования и искусственного интеллекта — меняло не только процесс проектирования, но и подходы к строительству, экономике и экологии. Сегодня, в условиях стремительного научно-технического прогресса, анализ

этой эволюции позволяет лучше понять, как современные технологии формируют архитектурные практики, и какие перспективы открываются перед обществом.

Понимание взаимосвязи между развитием технологий проектирования и архитектурными достижениями позволяет осознать важность адаптации к новым условиям, что особенно актуально в эпоху глобальных изменений, включая урбанизацию, демографический рост и экологические вызовы. Таким образом, исследование этой темы имеет не только историческое, но и практическое значение для современной архитектурной теории и практики [1].

1. Технологии архитектурного проектирования в Древнем мире и Средние века (3500 года до н. э. - конец XV в.)

В Древнем мире архитектурное проектирование основывалось на практическом опыте и эмпирических знаниях, передаваемых из поколения в поколение. Инструменты проектирования были простыми, но эффективными: отвесы, шнуры, примитивные линейки и угломеры позволяли строить точные геометрические формы, такие как пирамиды, храмы и амфитеатры. Архитекторы Древнего Египта, Греции и Рима опирались на математические принципы, такие, как золотое сечение и пропорции, создавая здания, гармонирующие с природой и религиозными представлениями. Материалы, такие как камень и глина, формировали архитектурный стиль, а навыки обработки определяли долговечность сооружений.

В Средние века архитектурное проектирование приобрело религиозный характер, что отразилось в строительстве соборов, монастырей и замков. Основными инструментами оставались линейки, циркули и отвесы, но их использование усложнилось за счет необходимости работы с криволинейными формами, характерными для готического стиля. В это время на первый план вышли мастера-строители, использовавшие

рукописные трактаты, которые становились важным источником знаний. Проектирование носило более коллективный характер, объединяя ремесленников, художников и инженеров, что способствовало развитию специализированных техник, таких как создание витражей, сложных каменных узоров и масштабных конструкций из дерева [2].

Технологии для измерений

– Мерные палки и шнуры:

С помощью мерных палок делали относительно точные замеры расстояний, создавали пропорции и симметричные конструкции. Часто они служили для разметки земляных участков, проверки ровности стен и других расчетов (Рис. 1).



Рис. 1. - Измерительный локоть казначея фараона Тутанхамона.
1336–1327 до н.э. [3]

Мерные шнуры применяли для разметки прямых линий и определения прямых углов с помощью принципа «Египетского треугольника» (3:4:5) на больших строительных площадках (Рис. 2). Архитекторы протягивали шнуры с завязанными на равном расстоянии узлами между отметками, создавая точные основы для зданий, дорог и ирригационных систем. Этот простой, но универсальный инструмент позволял достигать высокой точности в проектировании.



Рис. 2. – Использование мерного шнура [4].

– **Примитивные мерные системы** основывались на использовании антропометрических единиц, таких как длина ступни, локтя или шага, а также природных объектов, например зерен или семян. Эти единицы измерения были привязаны к человеческому телу или повседневным предметам, что упрощало их применение. Для обеспечения стандартизации создавались эталоны, например, "царский локоть" в Египте. Такие системы использовались для разметки земель, строительства зданий и создания объектов искусства, обеспечивая практическую точность и культурное единство.

– **Песочные мерные устройства** представляли собой ёмкости с песком или аналогичными материалами для создания временных отметок или разграничений, которые помогали делить пространство на пропорциональные части. Их использовали для уточнения пропорций, ориентации здания по сторонам света и подготовки площадки для укладки материалов.

– **Отвесы**, представляющие собой груз на конце тонкой нити, позволяли судить о правильном вертикальном положении конструкций и **уровни**, изготовленные из горизонтальной планки или равностороннего треугольника с прикрепленным отвесом, применялись для проверки горизонтальных поверхностей (Рис. 3).



Рис. 3. – Отвес и уровень. Луксорский музей [5].

– **Калькуляции на основе пропорций.** Архитекторы использовали пропорциональные измерения, например, "золотое сечение", пропорции человека и т.д. для проектирования гармоничных форм [6].

Технологии для черчения и визуализации

– **Стилосы и резцы.** Стилосами с твердыми наконечниками (костяными или металлическими) чертили предварительные чертежи и планы на восковых и глиняных табличках. Резцы использовали для более точной работы по твердым поверхностям (камню, дереву и металлу). С помощью этих инструментов архитекторы могли точно передавать размеры и формы, необходимые для строительства.

– **Простейшие циркули.** В Древней Греции и Риме использовали примитивные циркули для создания кругов и дуг. В Средние века их применяли для построения сводов и арок.

– **Песчаные доски.** Плоские поверхности, посыпанные песком, на которых чертили временные схемы.

– **Модели и макеты.** Модели из дерева, глины или воска применялись, чтобы визуализировать проект. В Древнем Египте и Месопотамии такие макеты использовались для планирования храмов и пирамид, позволяя проверить масштабы и распределение пространства. В Средние века макеты служили для разработки сложных элементов, таких как витражи, арки и башни, а также для демонстрации заказчикам или мастерам конечного результата. Эти макеты помогали предотвратить ошибки, обеспечивали точность в исполнении и служили инструментом обучения для мастеров.

– **Схематические чертежи.** На папирусе, глиняных табличках или камне наносились упрощенные планы и эскизы.

– **Рисунки на строительной площадке.** Камнями, песком и веревками часто размечали будущий план постройки. В первое время чертежи выполнялись прямо «на земле» в масштабе 1:1 [7].

2. Технологии архитектурного проектирования в эпоху Возрождения и Новое время (конец XIV в. - конец XVIII в.).

В эпоху Возрождения архитектурное проектирование претерпело значительные изменения благодаря возрождению интереса к античной архитектуре и математическим принципам. В это время появились первые чертежи и планы, созданные с помощью точных инструментов, таких как готовальни, а также более сложные расчеты для проектирования зданий. Это позволило архитекторам, разрабатывать не только декоративные элементы, но и тщательно продумывать конструкции зданий.

С развитием науки и техники в Новое время, особенно с появлением механических инструментов и печатных технологий, проектирование стало более точным и систематизированным. Архитекторы начали использовать более сложные инструменты для создания подробных планов и чертежей. Кроме того, в этот период активно развивалась теоретическая база архитектуры, что способствовало появлению новых стилей. Технологии проектирования в этот период стали важной частью архитектурной практики, обеспечивая более высокое качество и масштабность зданий, что в итоге привело к строительству величественных и функциональных сооружений.

Технологии для измерений

– **Мерные линейки.** Более точные деревянные и металлические линейки с делениями, которые стали стандартным инструментом.

– **Курвиметр**

Устройство для измерения криволинейных участков, впервые применяемое для сложных форм зданий.

– **Мерные цепи.** Мерные шнуры быстро подвергались износу и теряли точность. Поэтому им на смену пришли мерные цепи с одинаковыми звеньями. Их использовали для разметки территорий, они обеспечивали стандартизированные измерения, что было особенно важно для больших архитектурных объектов.

Технологии для черчения и визуализации

– **Циркули.** Улучшенные циркули, которые стали стандартным инструментом для создания точных кругов и дуг. Включали варианты с регулируемым радиусом.

– **Готовальни** - комплекты инструментов, представлявшие собой набор инструментов, в который входили циркули, линейки, угольники. Эти инструменты позволяли архитекторам разрабатывать планы, фасады и разрезы зданий, а также выполнять сложные геометрические расчеты. Готовальни были незаменимы для создания симметричных форм, масштабирования чертежей и проверки пропорций, обеспечивая высокую точность проектирования (Рис. 4).

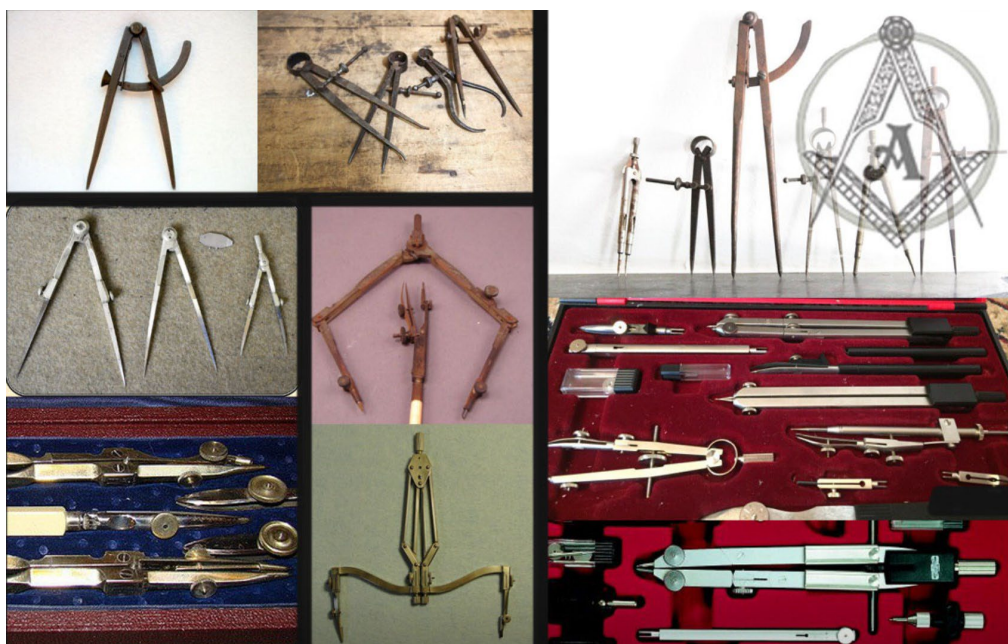


Рис. 4. – Готовальни и инструменты разных времен [8].

– **Угольники и транспортиры.** Использовались для точной разметки углов на чертежах и планах.

– **Гаспар Монж и зарождение начертательной геометрии.** Гаспар Монж (1746–1818) - французский математик, инженер и основатель начертательной геометрии, которая стала основой для современного инженерного и архитектурного проектирования. Его работы заложили теоретическую базу для точного создания чертежей и трехмерного моделирования, позволяя архитекторам и инженерам визуализировать сложные конструкции.

Монж разработал методы проецирования трехмерных объектов на двухмерные плоскости, что позволяло точно передавать геометрические формы в чертежах. Эти методы нашли широкое применение в архитектуре, строительстве, машиностроении и других технических науках. Его подход обеспечил унификацию процесса проектирования и стал основой для современных САД-систем.

– **Горизонтальные нивелиры** впервые начали применяться в эпоху Возрождения и Нового времени и использовались для выравнивания поверхностей и точного определения горизонтального уровня при строительстве. Они позволяли архитекторам и строителям создавать ровные фундаменты, прокладывать дороги и возводить здания с точным соблюдением уровня. Нивелиры, представлявшие собой устройства с линзами, визиром и уровнем, также использовались для разметки площадок и определения высотных перепадов, что было особенно важно при проектировании масштабных сооружений, таких как дворцы, мосты и укрепления.

– **Пергамент и бумага.** С развитием производства бумаги архитекторы стали использовать ее вместо пергамента для чертежей, что сделало процесс более доступным и гибким.

– **Чернила и уголь.** Использовались для нанесения точных чертежей. Для долговечности применяли специальные закрепляющие составы.

– **Масштабные модели.** Архитекторы создавали деревянные или гипсовые модели зданий, чтобы наглядно представить будущую постройку заказчикам.

– **Прямоугольная сетки.** Использовалась для создания пропорциональных и симметричных чертежей. Она помогала архитекторам точно масштабировать здания и планировать их композицию. Сетка применялась как инструмент для перевода рисунков и эскизов в чертежи, а также для разметки строительных площадок. В Новое время прямоугольная сетка стала основой градостроительных планов, особенно в регулярной планировке городов, обеспечивая упорядоченность улиц, кварталов и зданий.

– **Перспективные чертежи.** В эпоху Возрождения перспективные чертежи позволили передавать трехмерные объекты на плоскости с учетом их пространственной глубины. Принцип линейной перспективы был сформулирован в начале XV века Филиппо Брунеллески, а позднее теоретически обоснован Леоном Баттистой Альберти.

Архитекторы эпохи Возрождения применяли перспективу для визуализации проектов, демонстрации их заказчикам и точного планирования пропорций зданий. В Новое время эта техника получила дальнейшее развитие благодаря усилению научной базы и совершенствованию чертежных инструментов. Перспективные чертежи стали основой для разработки сложных конструкций

– **Акварель и тушь.** Отмывка разными материалами добавляла глубины и объем чертежам. Акварелью выполняли мягкие тональные градиенты, выделяли свет и тень, а тушью наносили дополнительные акценты [9].

Эти инструменты и методы позволили архитекторам эпохи Возрождения и Нового времени создавать сложные, эстетически совершенные и технически продвинутые здания, ставшие символами своего времени.

3. Эпоха Индустриализации (конец XVIII в. - начало XX в.).

Эпоха Индустриализации привнесла революционные изменения в архитектурное проектирование благодаря развитию науки, техники и массовому производству строительных материалов. Появление новых материалов, таких как сталь и железобетон, стимулировало разработку более сложных и масштабных конструкций, включая мосты, вокзалы и фабричные здания. Проектирование стало тесно связано с инженерными расчетами, что требовало новых методов и инструментов, таких как логарифмические линейки, теодолиты и механические чертежные машины.

Развитие литографии и позднее фотографической печати позволило архитекторам создавать более детализированные чертежи и тиражировать их для массового использования. Внедрение стандартов и типовых проектов упростило процесс планирования и позволило ускорить строительство. Кроме того, активное применение железнодорожной и водной логистики способствовало более эффективному управлению проектами. Эта эпоха стала периодом перехода от ремесленного подхода к системному, научно обоснованному проектированию, что подготовило почву для современных технологий.

Технологии для черчения

– Усовершенствованные готвальни и графитные карандаши.

К существующему набору инструментов добавляются рейсфедеры, позволяющие чертить тушью линии различной толщины. Карандаши стали стандартным инструментом для эскизов и чертежей.

– **Чертежные доски** стали важным инструментом для архитекторов и инженеров, обеспечивая удобную и гладкую поверхность для создания чертежей. Они были оснащены закрепляемыми линейками, угольниками и, позже, параллельными направляющими, что позволяло проводить прямые линии и точно вычерчивать углы. Чертежные доски ускоряли процесс проектирования, делая его более организованным.

– **Шаблоны** Металлические или деревянные формы для создания повторяющихся элементов, таких как арки, колонны и окна.

Материалы для черчения и проектирования

– **Калька и ватман.** **Калька**, благодаря своей прозрачности, позволяла архитекторам копировать и модифицировать чертежи, накладывая слои для проработки деталей или вариантов проекта. Это упростило процесс корректировок и тиражирования. **Ватман**, с его прочной и гладкой поверхностью, использовался для создания основных чертежей и финальных планов. Он обеспечивал высокую точность нанесения линий, а также устойчивость к различным чертежным инструментам, включая тушь и акварель для отмывки. Эти материалы ускорили процесс проектирования и сделали его более удобным для масштабных проектов.

– **Копировальные устройства.** В эпоху Индустриализации копировальные устройства, такие как пантографы и ранние фотолитографические машины, использовались для создания копий чертежей. **Пантографы** позволяли уменьшать или увеличивать размеры чертежей, сохраняя пропорции, что было полезно для адаптации проектов к разным масштабам. **Синька** или процесс цианотипии стал популярным методом тиражирования чертежей, обеспечивая быстрый и экономичный способ воспроизведения деталей. Эти технологии ускорили проектирование, сделали обмен чертежами более удобным и поддержали реализацию крупных инженерных и архитектурных проектов.

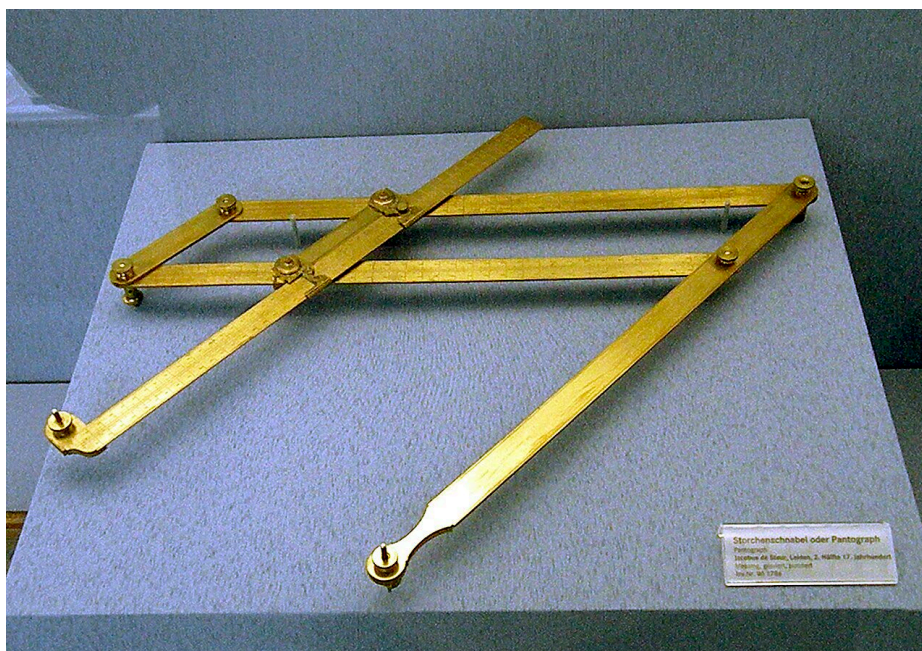


Рис. 5. Пантограф [10].

Научные инструменты

– **Логарифмические линейки.** Помогали архитекторам и инженерам выполнять сложные расчеты. Эти инструменты ускорили проектирование зданий и инженерных сооружений.

– **Таблицы нагрузок и прочности материалов.** Составлялись на основе научных исследований, что позволило рассчитывать несущую способность конструкций [11].

Инструменты и технологии эпохи индустриализации позволили архитекторам перейти от традиционного ремесленного подхода к промышленному. Это открыло новые возможности для масштабного строительства, внедрения современных материалов (стали, бетона, стекла) и более точного проектирования, что стало основой для архитектуры XX века [11].

4. Технологии архитектурного проектирования в современном проектировании (начало XX в. – сегодняшний день)

Современное архитектурное проектирование в цифровую эпоху полностью преобразилось благодаря использованию компьютерных

технологий и программного обеспечения. Появление САД-систем (Computer-Aided Design) позволило архитекторам создавать точные 2D- и 3D-чертежи, моделировать сложные конструкции и проводить автоматические расчеты. Эти инструменты ускорили процесс проектирования, сократили вероятность ошибок и сделали возможным более эффективное взаимодействие между архитекторами, инженерами и заказчиками. Цифровые модели стали не только чертежами, но и полноценными симуляциями, включающими анализ освещения, теплопотерь и нагрузки на конструкции.

С развитием BIM-технологий (Building Information Modeling) проектирование стало более интегрированным и ориентированным на жизненный цикл здания. Архитекторы могут учитывать все аспекты строительства, эксплуатации и ремонта уже на этапе разработки модели. Дополнительно, технологии виртуальной и дополненной реальности позволяют заказчикам "переживать" проект еще до его реализации, а 3D-печать предоставляет возможность создавать физические прототипы сложных конструкций. Цифровая эпоха значительно расширила границы архитектурного проектирования, сделав его более гибким, точным и инновационным.

– **Компьютерное проектирование. САД-системы** в современном проектировании используются для создания точных 2D- и 3D-чертежей, моделирования конструкций и проведения инженерных расчетов. Эти программы позволяют архитекторам проектировать здания с высокой точностью, тестировать различные варианты конструкций и материалов, а также интегрировать проекты с расчетами нагрузки, освещения и энергопотребления. САД-системы ускоряют процесс разработки, минимизируют ошибки и упрощают совместную работу между различными специалистами. Они стали основным инструментом для создания как концептуальных дизайнов, так и детализированных строительных чертежей.

- **Информационное моделирование зданий (BIM)** используют в современном проектировании для создания цифровых моделей зданий, которые объединяют архитектурные, инженерные и строительные данные. Они позволяют проектировать объекты с учетом всех этапов их жизненного цикла, включая строительство, эксплуатацию и ремонт. BIM-модели содержат информацию о материалах, конструкциях, сетях и даже стоимости, что облегчает планирование, анализ и координацию между участниками проекта. Эти системы помогают выявлять ошибки на ранних этапах, снижать затраты и повышать эффективность строительства.

- **Технологии для анализа и симуляции.** Появились программы, позволяющие анализировать и симулировать проектные решения перед их воплощением для понимания работоспособности сложных объектов проектирования.

- **Инструменты виртуальной и дополненной реальности (VR/AR).** Использование VR/AR в современном проектировании позволяет архитекторам и клиентам погружаться в виртуальную среду и оценивать проект до его реализации. Виртуальная реальность (VR) обеспечивает полный обзор зданий в масштабе 1:1, создавая эффект присутствия, что помогает выявить недочеты и улучшить дизайн. Дополненная реальность (AR) накладывает цифровые модели на реальный мир, что полезно для согласования проектов на строительной площадке и интеграции в окружающую среду. Эти технологии ускоряют процесс согласования, улучшают визуализацию и делают проектирование более интерактивным.

- **Цифровое производство и роботизация** в современном проектировании открывают новые возможности для создания сложных архитектурных форм и повышения эффективности строительства. 3D-принтеры позволяют изготавливать модели и крупные элементы зданий, включая бетонные конструкции. Роботизированные системы используются

для точной сборки фасадов и сложных деталей, а ЧПУ-станки обрабатывают материалы с высокой точностью. Эти технологии минимизируют ошибки, сокращают сроки реализации проектов и расширяют границы архитектурного дизайна.

– **Параметрическое проектирование и генеративный дизайн** позволяют архитекторам создавать сложные формы и адаптивные структуры, используя алгоритмы и математические зависимости. В параметрическом подходе изменения параметров автоматически корректируют связанные элементы, обеспечивая гибкость проектирования. Генеративный дизайн использует искусственный интеллект для создания множества вариантов решений на основе заданных критериев, таких как функциональность, эстетика и устойчивость. Эти методы ускоряют процесс проектирования, повышают его точность и открывают новые возможности для архитектурной креативности.

Современные инструменты проектирования позволяют архитекторам не только создавать уникальные проекты, но и учитывать сложные инженерные, экологические и социальные аспекты, обеспечивая интеграцию всех этапов — от концепции до реализации [12].

Заключение

Эволюция технологий архитектурного проектирования от древности до наших дней демонстрирует значительные изменения в подходах, инструментах и методах. От простых измерительных и строительных инструментов античных времен до современных цифровых технологий, таких как CAD, BIM, параметрическое проектирование и генеративный дизайн, процесс проектирования стал значительно более точным, быстрым и многогранным. Современные технологии позволили архитекторам создавать

более сложные, устойчивые и эстетически совершенные формы, которые раньше были невозможны.

Влияние технологий на архитектуру невозможно переоценить: они не только расширили горизонты возможного, но и обеспечили более глубокую интеграцию науки, искусства и инженерии. Компьютерные технологии повысили точность проектирования и снизили количество ошибок, улучшив взаимодействие между архитекторами, инженерами и строителями. Инновации в области рендеринга и виртуальной реальности позволяют создавать более реалистичные визуализации, что значительно улучшает коммуникацию с заказчиком и дает возможность заранее оценить результаты. Роботизация и 3D-печать меняют подходы к строительству, ускоряя его и снижая затраты.

В будущем технологии проектирования будут продолжать развиваться, особенно в направлении искусственного интеллекта и машинного обучения, которые смогут оптимизировать не только визуальную и функциональную сторону проектов, но и учитывать экологические, социальные и экономические факторы. Возможности для персонализированных и адаптивных проектов с использованием больших данных и нейросетей откроют новые горизонты в проектировании. Кроме того, технологии, такие как дополненная и виртуальная реальность, будут играть все более важную роль в обучении, коммуникации и верификации проектов [13].

Литература

1. Смирнова Е. И. Эволюция архитектурного проектирования: исторический обзор. – М.: «ГеоИздат», 2012. – 310 с.
2. Лебедев Д. Ф. Архитектура древности и Средневековья. – СПб.: «ИсторикПресс», 2008. – 280 с.

3. Сергей (22sobaki). Древнеегипетский штангенциркуль. Livejournal
URL: engineering-ru.livejournal.com/573397.html

4. Сергей Сыров. Приборы с отвесом для определения горизонтали и вертикали. Луксорский музей. URL: 22century.ru/popular-science-publications/https-22century-ru-popular-science-publications-journey-into-egypt-2-4/attachment/49_1-приборы-с-отвесом-для-определения-г

5. Волкова Н. П. История измерительных приборов в архитектуре. – М.: «Наука», 2009. – 190 с.

6. Морозов И. Л. От стилоса до CAD: развитие инструментов черчения. – М.: «ТехноЛит», 2011. – 210 с.

7. А.В. Инструмент архитектора – готовальня. Из 16 столетия в наши дни. URL: repetitorstudio.ru/blog/istoriya-evolyucii-gotovalni/

8. Громов В. А. Архитектура Возрождения и Нового времени. – М.: «Искусство», 2006. – 330 с.

9. Пантограф (прибор). URL: [ru.wikipedia.org/wiki/Пантограф_\(прибор\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Пантограф_(прибор))

10. Федоров А. К. Индустриализация в строительстве: технические инновации. – СПб.: «ПромСтройИздат», 2013. – 250 с.

11. Романов П. С. Цифровая архитектура: CAD, BIM и новые технологии. – М.: «ДиджиталИздат», 2018. – 275 с.

12. Козлова Т. В. Будущее архитектурного проектирования: искусственный интеллект и роботизация. – М.: «Пиктограф», 2020. – 240 с.

References

1. Smirnova E. I. E`volyuciya arxitekturnogo proektirovaniya: istoricheskij obzor [The Evolution of Architectural Design: a Historical overview]. М.: «GeoIzdat», 2012. 310 p.

2. Lebedev D. F. Arxitektura drevnosti i Srednevekov`ya [Architecture of Antiquity and the Middle Ages]. SPb.: «IstorikPress», 2008. 280 p.



3. Sergej (22sobaki). Drevneegipetskiy shtangencirkul' [Ancient Egyptian calipers]. URL: engineering-ru.livejournal.com/573397.html
4. Sergej Sy`rov. Pribory` s otvesom dlya opredeleniya gorizontali i vertikali. Luksorskiy muzej [Devices with a plumb line for determining the horizontal and vertical. Luxor Museum]. URL: 22century.ru/popular-science-publications/https-22century-ru-popular-science-publications-journey-into-egypt-2-4/attachment/49_1-pribory`-s-otvesom-dlya-opredeleniya-g
5. Volkova N. P. Istoriya izmeritel`ny`x priborov v arxitekture [The history of measuring instruments in architecture]. M.: «Nauka», 2009. 190 p.
6. Morozov I. L. Ot stilosa do CAD: razvitie instrumentov chercheniya [From the stylus to CAD: the development of drawing tools]. M.: «TexnoLit», 2011. 210 p.
7. A.V. Instrument arxitekтора – gotoval`nya. Iz 16 stoletiya v nashi dni [The architect's tool is a ready-made tool. From the 16th century to the present day]. URL: repetitorstudio.ru/blog/istoriya-evolyucii-gotovalni/
8. Gromov V. A. Arxitektura Vozrozhdeniya i Novogo vremeni [Renaissance and Modern Architecture]. M.: «Iskusstvo», 2006. 330 p.
9. Pantograf (pribor) [Pantograph (Instrument)]. URL: [ru.wikipedia.org/wiki/Pantograf_\(pribor\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Pantograf_(pribor))
10. Fedorov A. K. Industrializaciya v stroitel`stve: texnicheskie innovacii [Industrialization in construction: technical innovations]. SPb.: «PromStrojIzdat», 2013. 250 p.
11. Romanov P. S. Cifrovaya arxitektura: CAD, BIM i novy`e texnologii [Digital architecture: CAD, BIM and new technologies]. M.: «DidzhitalIzdat», 2018. 275 p.
12. Kozlova T. V. Budushhee arxitekturnogo proektirovaniya: iskusstvenny`j intellekt i robotizaciya [The future of architectural design: Artificial intelligence and robotics]. M.: «Piktograf», 2020. 240 p.

Дата поступления: 10.01.2025

Дата публикации: 25.02.2025
