

**В.В. Яскевич**Satbayev University, Алматы, Казахстан  
E-mail: yaskevich\_87@mail.ru

## Генезис автоматизации архитектурно-строительного проектирования

**Аннотация.** Статья посвящена развитию автоматизации в архитектурно-строительном проектировании в контексте технологического прогресса XX-XXI веков. В рамках исследования изучены отечественные и зарубежные публикации по выбранной теме. Из многочисленных научных и технологических открытий в области технических средств и программного обеспечения, оказавших влияние на автоматизацию современных процессов проектирования, выбраны и рассмотрены самые значительные. В результате анализа выделено 4 этапа развития проектирования с точки зрения автоматизации (традиционное (ручное), САД, BIM, ИИ(AI)), предпринята попытка оценить степень автоматизации на каждом из этапов. Для этого использованы сложившиеся методики оценки автоматизации в интерпретации, учитывающей особенности архитектурной деятельности. Учитываются последние достижения в использовании для проектирования технологий 4-й промышленной революции, таких, как искусственный интеллект, виртуальная реальность, 3D печать и т.д. В заключении рассматриваются возможные перспективы архитектуры в связи с применением существующих и появлением новых технологий.

**Ключевые слова:** автоматизация, архитектура, проектирование, технологии, оценка, эволюция.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-60-73](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-60-73)

### 1. Введение

Эволюция любой сферы человеческой деятельности всегда сопровождается развитием инструментов, с помощью которых она осуществляется. Это утверждение также справедливо и для архитектуры. Но если история архитектуры иллюстрируется множеством стилей и впечатляющих изменений в формообразовании, функциональном содержании, конструкциях, то со времен античности и до 20-го столетия инструменты, использовавшиеся для проектирования претерпели не так много преобразований. Среди них можно выделить изобретение сначала обычного (600 г. н.э.) а затем металлического (1803 г.) пера, бумаги (105 г. н.э.) и её машинного производства (1806 г.), а также «кульмана» (1850-е). Сам же технический процесс работы архитектора над проектом оставался по сути своей неизменным и состоял в нанесении на лист чертежей и изображений вручную с помощью тех или иных письменных и чертёжных инструментов [1].

20-й век, начало которого ознаменовалось началом развития системы поточной организации производства, оказался тем периодом, когда появились технологии, позволившие оптимизировать и автоматизировать также и некоторые процессы в работе архитектора. Предпосылками для этого стали как общее убеждение в безграничных возможностях машин, в широком смысле этого слова, так и связанное с этим развитие электроники и вычислительных машин. Две мировые войны создали условия, когда

развитие новых технологий было стимулировано зависимостью от них стратегического превосходства тех или иных стран и соответственно значительными ресурсами, которые выделялись ученым.

Несмотря на то, что автоматизации проектирования посвящено достаточно много трудов таких авторов, как Yehuda E. Kalay, Robert Aish, John Gero, Terry W. Knight и Charles M. Eastman. В то же время на сегодняшний момент нет работ, раскрывающих этот процесс в целом - в исторической перспективе. Целью данной статьи стало дать общую характеристику процесса развития автоматизации в архитектурном проектировании. Это позволит специалистам и широкому кругу читателей лучше ориентироваться в современной профессиональной среде и понимать существующие тренды как закономерную часть общего процесса, а также предполагать дальнейшие возможности развития.

## 2. Методы

В исследовании можно выделить два основных блока – обзор развития компьютерных технологий в рамках автоматизации архитектурно-строительного проектирования и анализ степени автоматизации в зависимости от их применения.

Обзор осуществлялся на основе анализа литературы и интернет-источников. Основными критериями отбора были новизна (оригинальность) исследований или технологий в контексте соответствующего периода времени и их влияние на дальнейшее развитие и степень автоматизации работ.

В исследовании рассмотрены 3 основные направления:

- Развитие аппаратного обеспечения (Hardware)
- Развитие теории и практики программного обеспечения (Software)
- Развитие искусственного интеллекта (Artificial Intelligence)

Для анализа степени автоматизации в качестве основы была использована базовая система оценки [2] (включающая 10 уровней автоматизации процессов при работе с компьютерными системами. Однако в связи с определенной спецификой проектной деятельности она была существенно переработана.

Если рассматривать саму структуру процесса, то, по Шеридану, однородность операций в большей степени определяется местом в последовательности элементарных действий чем этапом общего процесса (например, операции при погружении, работе на дне, всплытии принципиально не отличаются и представляют собой в конечном итоге определенное механическое действие аппарата). В проектировании же действия очень разнообразны и их однородность в большей степени определяется этапом общего процесса – так на этапе предпроектного анализа идет сбор и изучение информации, на этапе концептуального проектирования – творческий поиск идеи и т.д. (Таблица 1).

Таблица 1. Последовательность действий для оценки автоматизации

<b>Последовательность операций, по Шеридану</b>	<b>Последовательность этапов в архитектурно-строительном проектировании</b>
Запрос исходных данных	Предпроектный анализ
Получение исходных данных	Концептуальное предложение
Выбор варианта действия	Эскизный проект
Утверждение или отклонение выбора	Рабочее проектирование
Выполнение действия	Строительство
Информирование о результатах действия	

С точки зрения уровней автоматизации предлагается общепринятая в инженерной и информационной области классификация уровней автоматизации проектирования. Она основана на принципах автоматизации и понятиях, широко используемых в области проектирования и разработки систем [3] (Таблица 2).

Таблица 2. Уровень автоматизации при проектировании

Уровень автоматизации	Степень автоматизации	Краткое описание
Level 1: Человек выполняет все задачи проектирования. Компьютер не используется.	Отсутствует	Проектирование полностью выполняется ручным образом без применения компьютерных технологий.
Level 2: Человек выполняет все задачи проектирования, используя компьютер для документирования и представления результатов.	Низкая	В этом случае компьютер используется в основном для создания документации и представления результатов проектирования, но не участвует в процессе самого проектирования.
Level 3: Человек выполняет основные задачи проектирования, используя компьютер для выполнения некоторых рутинных операций.	Средняя	На этом уровне компьютер помогает архитектору в выполнении рутинных операций, таких, как расчеты и создание чертежей, что ускоряет процесс проектирования и повышает точность.
Level 4: Компьютер выполняет некоторые проектировочные задачи, человек осуществляет контроль и принимает решения.	Высокая	На этом уровне компьютер активно участвует в процессе проектирования, выполняя некоторые задачи, такие, как генерация дизайн-вариантов, анализ данных и оптимизация проектов. Человек остается вовлеченным для контроля, принятия решений и оценки результатов
Level 5: Компьютер полностью автоматизирует процесс проектирования, человек играет роль консультанта и наблюдателя.	Максимальная	На этом уровне компьютер полностью берет на себя процесс проектирования, принимает решения и генерирует оптимальные решения. Человек выступает в роли консультанта, оценивая результаты и вносящего рекомендации при необходимости.

Исходя из данной системы проводился анализ и оценка процессов архитектурного проектирования в ходе их изменения под влиянием технологического развития в 20-м и 21-м веках.

### 3. Развитие технологий автоматизации в сфере архитектурно-строительного проектирования

#### 3.1 Развитие аппаратного обеспечения

В данном разделе мы рассмотрим появление устройств, которые сыграли роль в автоматизации архитектурного проектирования. Для удобства они разделены по функциональному типу.

Одним из базовых условий взаимодействия человека и компьютера является возможность ввода данных. Для этого сегодня используется множество устройств, наиболее распространенные из которых мы здесь рассмотрим. Наиболее простыми и широко используемыми устройствами являются клавиатуры. Они используются для ввода

текстовой информации, параметров проекта и команд в программные средства САПР. Первые прототипы клавиатур появились в конце XIX века. В 1874 году Кристофер Шоу разработал первую механическую клавиатуру для своей типографской машины. Не менее важными являются так называемые компьютерные мыши. Они обеспечивают точное управление указателем на экране, что полезно при редактировании и взаимодействии с графическими приложениями. Мышь в качестве устройства ввода была представлена в 1964 году в лаборатории Стэнфордского исследовательского института (SRI) Дугласом Энгелбартом и представляла собой деревянный корпус с двумя колесиками и кнопкой. Кроме того, используются графические планшеты, стилусы, тачскрины и другие манипуляторы, которые позволяют рисовать и вводить графическую информацию, делать эскизы и редактировать чертежи.

Кроме того, надо отметить инструменты для передачи информации о реальных объектах в компьютер. К примеру, лазерные сканеры позволяют считывать геометрические данные с реальных объектов и импортировать их в программы моделирования. Первый коммерчески успешный лазерный сканер появился в 1984 году и был представлен компанией LaserData. Он использовал лазерное сканирование для считывания геометрической информации с поверхностей объектов. 3D-сканеры используются для создания точных трехмерных моделей объектов и местности. Камеры и фотоаппараты применяются для фиксации фотографий и изображений, которые могут служить исходными данными для проектирования. В последнее время также широкое распространение получили разнообразные датчики, позволяющие получать информацию о физических свойствах среды. Подобные инструменты сегодня позволяют создавать базы данных, на основе которых алгоритмы способны моделировать проектные предложения.

Не менее важное значение имеет и вывод информации. Принтеры и плоттеры, первые из которых вошли в широкое употребление в 1960-х годах используются для печати чертежей и документации проекта в форме бумажных копий. Мониторы, полнофункциональные модели которых появились в 1970-х, предоставляют визуальное отображение чертежей, моделей и другой информации, позволяя архитекторам анализировать и взаимодействовать с проектами. Отдельного внимания заслуживают современные технологии виртуальной и дополненной реальности, которые позволяют архитекторам взаимодействовать с виртуальными моделями и сценами, предоставляя более реалистичные и интуитивные возможности просмотра и визуализации проектов. Первые прототипы устройств виртуальной реальности появились в 1960-х годах. В 1968 году Иван Сазерленд и Боб Спрулл создали первый графический интерфейс виртуальной реальности, известный как «Сверхмозг». Первые примеры дополненной реальности появились в 1990-х годах. В 1992 году Марк Борнхольд разработал систему «Virtual Fixtures», которая сочетала виртуальные объекты с реальной средой.

Развитие робототехники позволило создавать устройства для создания физических моделей. Например, 3D-принтеры создают физические модели проектов на основе трехмерных цифровых моделей. Первый 3D-принтер был разработан Чарльзом Халлом в 1984 году. Он использовал процесс, называемый лазерным спеканием, для создания трехмерных моделей из пластичных материалов. Режущие и гравировальные станки используются для создания прототипов и деталей проектов из различных материалов. Сегодня в строительстве существуют и другие системы автоматизированного производства позволяющие создавать строительные объекты без участия человека.

Это лишь некоторые примеры устройств, которые способствуют автоматизации архитектурного проектирования. С развитием технологий и инноваций список таких устройств и инструментов продолжает расширяться, обеспечивая архитекторам более эффективные и удобные способы работы с проектами.

Но, конечно, основу составляют аппаратные платформы: серверы, настольные и портативные компьютеры обеспечивают вычислительные мощности и хранение данных, необходимые для работы программных средств САПР и BIM. Развитие вычислительных

машин является важной частью истории информационных технологий. Оно простирается на протяжении десятилетий, начиная с появления первых устройств и до современных высокопроизводительных компьютеров. Историю развития вычислительных машин можно разделить на несколько ключевых этапов:

1. Механические вычислительные машины: в конце 19 века появились первые механические устройства, предназначенные для выполнения вычислений. Примером такой машины является аналитический двигатель Чарльза Бэббиджа, разработанный в 1837 году.

2. Электромеханические машины: в 1930-х годах появились первые электромеханические компьютеры, которые использовали электрические сигналы для управления механическими компонентами. Примером таких машин является компьютер Марк I, созданный Говардом Эйкенем и его коллегами в Гарвардском университете.

3. Транзисторные компьютеры: в середине 20 века произошел революционный прорыв с появлением транзисторов, которые заменили электромеханические компоненты. Это позволило создать более компактные и энергоэффективные компьютеры. Одним из знаковых моментов было появление компьютера UNIVAC I в 1951 году.

4. Интегральные схемы: в 1960-х годах разработка интегральных схем привела к уменьшению размеров компьютеров и повышению их производительности. Были созданы мини-компьютеры, предназначенные для использования в бизнесе и научных исследованиях.

5. Микропроцессоры и персональные компьютеры: в 1970-х годах появились микропроцессоры, которые стали основой для создания персональных компьютеров. Это привело к распространению компьютеров в домашней и рабочей среде.

6. Суперкомпьютеры и параллельные вычисления: В последние десятилетия развитие вычислительных машин сосредоточено на создании суперкомпьютеров с высокой вычислительной мощностью. Также активно развиваются параллельные вычисления, которые позволяют использовать несколько процессоров для выполнения задачи одновременно.

Эти этапы развития вычислительных машин представляют прогресс миниатюризации, увеличении производительности и повышении доступности компьютеров для широкой аудитории. Сегодняшние вычислительные системы продолжают развиваться, применяя новейшие технологии, такие, как искусственный интеллект, облачные вычисления и квантовые вычисления, открывая новые возможности в различных областях, включая автоматизацию архитектурного проектирования.

### 3.2 Развитие теории и практики программного обеспечения

Первыми значительными научными работами, предопределившими компьютеризацию проектирования, стали «Концептуальные основы «усиления» человеческого интеллекта» Дугласа Энгельбарта, вышедшая в 1962-м году [4] и «Система графической коммуникации человека и машины: Скetchпад», опубликованная в 1963-м [5]. Эти исследования во многом заложили основы дальнейшего развития как графических возможностей компьютеров, так и автоматизации при работе с их помощью.

Дуглас Энгельбарт в своей работе «Концептуальные основы «усиления» человеческого интеллекта» сформулировал и проиллюстрировал многие из принципиальных возможностей компьютеров, которыми мы пользуемся сегодня. В том числе его исследования коснулись и проектной деятельности архитектора. В работе, в частности, впервые отражены основные принципы того, что сейчас называется информационным моделированием здания (BIM):

- создание трехмерной модели, элементы которой обладают неграфической (негеометрической) информацией, необходимой для технической документации и расчетов;

- компьютерный анализ модели с целью выявления возможных ошибок (коллизий) и оптимизации решений (то, что сейчас принято называть «генеративный дизайн»);
- совместная работа над моделью нескольких специалистов, использование модели клиентом и строителями.

Таким образом, именно эту работу можно считать отправной точкой истории технологии BIM как первого этапа автоматизации в проектировании.

Отдельно можно выделить труды Кристофера Александра «Примечания к синтезу форм», «Орегонский эксперимент» [6,7] и др., особо отмеченные в работе Раппапорта А.Г. «К пониманию архитектурной формы» [8]. Кристофер обращается к самому творческому методу архитектора, предпринимает попытку синтезировать это решение на основе логических связей, используя компьютер как инструмент для анализа определенной базы компонентов, выбора и компоновки их в целостное решение. И если BIM касается в основном автоматизации рутинных операций, анализа, расчетов и других процессов, то теории Кристофера описывают перспективы следующего шага, когда до определенной степени (автор не отрицает важности архитектора как творца, чья интуиция играет определяющую роль в формировании проекта), автоматизирован будет сам процесс принятия решений. Сегодня мы можем наблюдать первые признаки реализации идей Кристофера в виде «параметрического моделирования», где процесс формообразования соподчинен заложенным объективным или субъективным параметрам.

Первой же книгой, затронувшей непосредственно проблемы архитектурного проектирования с точки зрения использования компьютера, была «Компьютерное архитектурное проектирование» Джона Митчелла, в книге демонстрировались уже не только технические, но и визуально-графические возможности ЭВМ, в частности, цветная, тонированная 3-хмерная графика, к тому моменту находившаяся на начальном этапе развития, но уже позволявшая выполнять достаточно сложные формы [9].

Система описания элементов здания, выполненная в виде базы данных, связанной с этими элементами (BDS - Building Description System) была впервые реализована Чарльзом Истманом [11,12] (который до сих пор считается одним из наиболее авторитетных экспертов в BIM). Именно возможность автоматически обрабатывать эти негеометрические сведения для формирования смет, спецификаций, расчетов и другой проектной документации определила будущее превосходство систем автоматического проектирования над традиционным – ручным способом ведения проектных работ. Предполагается, что именно трансформации термина Building Description System в применении к различным сферам (Building Product Models, Product Information Models) в итоге дало современную формулировку Building Information Model [13].

Более сложным этапом, ввиду разнообразия возможных задач и сложности аналитических алгоритмов, стала реализация компьютерного анализа модели с целью получить рекомендации по её оптимизации по тем или иным параметрам. Если у Энгельбарта описывается возможность отслеживания, к примеру, солнечных лучей и потоков людей в здании, то на практике программная система RUCAPS, разработанная компанией GMW Computers в 1986 году, анализировала графики производства строительных работ и давала советы по их оптимизации при строительстве третьего терминала аэропорта Хитроу [14].

Однако несмотря на то, что к концу 80-х BIM как технология уже обрела свои основные современные черты и возможности, её широкое использование требовало подготовительного периода. Помимо необходимости дорогостоящего оборудования, программного обеспечения и специально обученных сотрудников, стояла проблема общей адаптации специалистов к возможности работать на компьютере. В такой ситуации программы, позволяющие реализовывать BIM с еще достаточно громоздкими и сложными в эксплуатации интерфейсами и узкой специализацией, не могли приобрести большой популярности. Поэтому в 80-х и 90-х годах развитие технологии шло достаточно медленно, а распространения приобрели так называемые CAD программы (CATIA, Pro/Engineer, Unigraphics, I-DEA, AutoCAD, Bentley's Microstation).

Можно отметить, что системы САД практически не требовали изменения в традиционной организации проектирования. Фактически они лишь позволяли заменить ручные инструменты на электронные, давая определенные преимущества прежде всего благодаря более надежному хранению и быстрому копированию данных [15]. Вместе с тем к началу 2000-х они подготовили условия, необходимые для внедрения BIM, – повсеместное использование компьютеров в проектировании, компьютерная грамотность и обучаемость специалистов, развитие интерфейсов. Также компании, продвигающие свои продукты для реализации BIM во время этого, подготовительного, периода, смогли набрать достаточный опыт и базу практических примеров, чтобы проиллюстрировать эффективность их использования.

Одно из первых комплексных BIM-решений, которые получили длительное развитие и функционируют до сих пор – ArchiCAD, был разработан Габором Бояром в Будапеште (Венгрия) в 1982 году (первоначальное название – Radar CH). Столкнувшись с уже описанными выше проблемами в 1980-2000-е годы, этот продукт тем не менее продолжал своё постепенное развитие и получил распространение в 2007-2011 годах. Другой лидирующий на современном рынке продукт – Revit, «написал» Леонид Райз, выросший и получивший образование в Санкт-Петербурге уже в 2000 году. Вобрав в себя сформировавшиеся уже на тот момент представления о BIM и попав в подготовленную среду, Revit стал одним из наиболее популярных платформ для BIM.

Однако развитие и применение BIM само по себе не привело к значительным сдвигам в уровне автоматизации. Основная роль этой методики в том, что вся информация о строительном объекте может быть приведена в структурный, хорошо приспособленный для машинной обработки вид. Автоматизация происходила за счет разработки и внедрения разнообразных типовых элементов, шаблонов, алгоритмов, позволяющих минимизировать рутинные операции. Также в большой степени удалось автоматизировать обработку данных – расчеты, анализ, планирование. Интеллектуальная сложность самого процесса проектирования ограничила применение обычных программных средств в замещении участия человека. И только в последние годы началось внедрение технологий, позволяющих преодолеть этот барьер.

### 3.3 Развитие искусственного интеллекта

Практически вместе с возникновением первых компьютеров ученые начинают сопоставлять деятельность вычислительных машин и человеческого мозга. Наиболее дальновидные умы в уже в середине 20-го века приходят к выводам о том, что разница не столь велика, как может показаться. Одним из основоположников понятия «искусственный интеллект» был А.Тьюринг (в 1950 г.). Он был убежден в возможности создать машину, воспроизводящую мыслительные процессы человека путем её последовательного обучения [16].

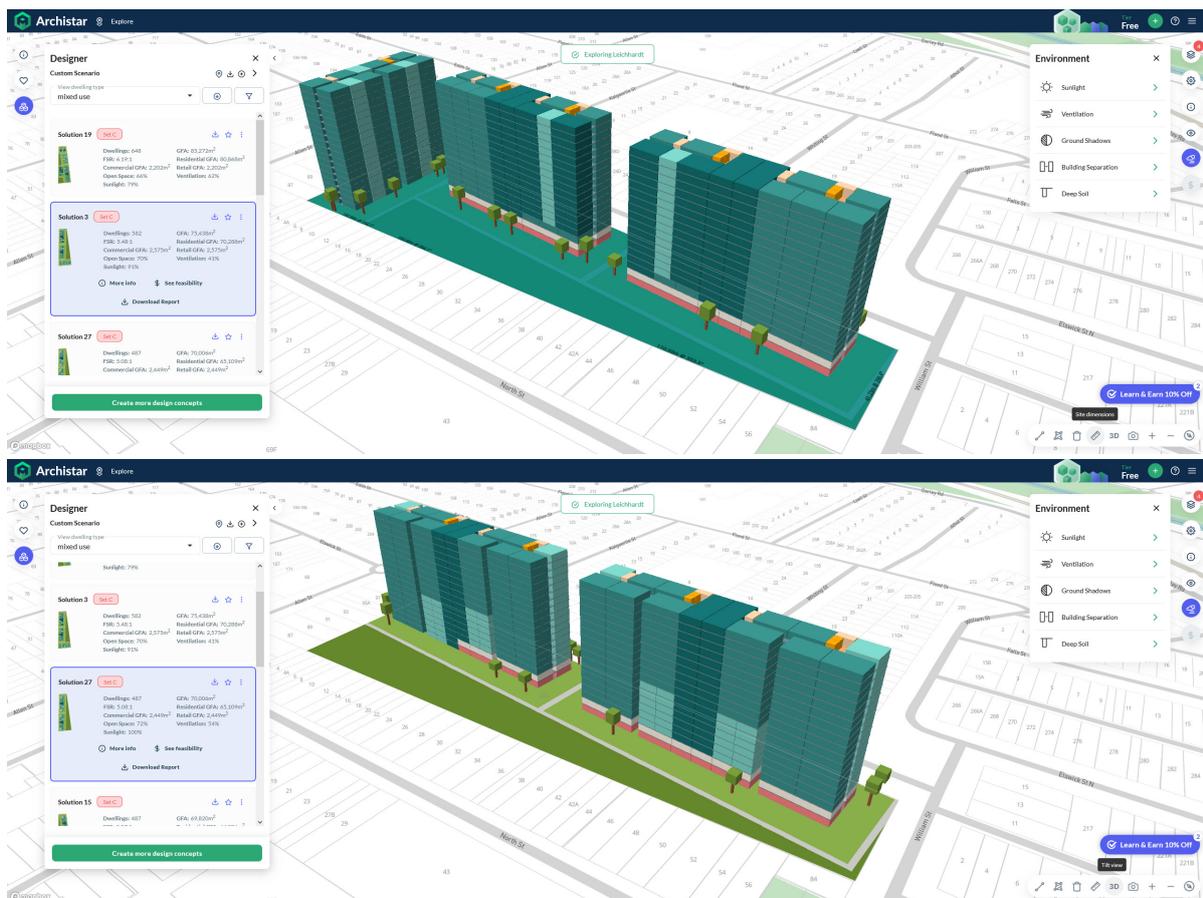
Несколько ранее (в 1943 г.) У. Маккалок и У. Питтс приходят к пониманию того, что работу нейронной сети мозга можно представить в виде логических (а следовательно, математических) процессов [17]. Это определило теоретическую возможность создания искусственного аналога человеческого мозга. Однако вследствие необходимости больших вычислительных ресурсов и проблем с формированием алгоритмов обучения долгое время данный принцип уступал традиционным способам программирования.

Нельзя отрицать того, что на сегодняшний день создано огромное количество различных алгоритмов без использования нейросетей, призванных оптимизировать в том числе процессы, связанные с архитектурным проектированием, однако все они решают очень узкие задачи и замещают выполнение наиболее простых рутинных операций. В течение второй половины 20-го века развитие теории нейросетей и машинного обучения, а также бурное развитие аппаратных ресурсов сформировали базу для более широкого применения идей об искусственном интеллекте в проектировании.

2022-2023 годы стали знаковыми с точки зрения широкого распространения и внедрения нейросетей в качестве основы для искусственного интеллекта. Одной из причин

такого всплеска можно считать достижения в области генерации и анализа «естественного языка» [18], позволившие человеку взаимодействовать с компьютерными системами на уровне повседневного диалога, в том числе осуществляя задачи управления, обучения и программирования [19].

Это открыло возможности к формированию нейросетей любого назначения неограниченному кругу пользователей. В короткое время возникло множество нейросетей, позволяющих генерировать визуальные изображения (Midjourney, Blue Willow, Kandinsky 2.1, Playground и др.). В проектировании это направление позволило существенно оптимизировать и в некоторой степени автоматизировать задачи по визуализации архитектурных решений. Кроме уже перечисленных ИИ платформ, позволяющих сгенерировать изображение по исходной информации, выраженной в текстовом формате, появились аналогичные специализированные решения, позволяющие сформировать варианты дизайна для схематичных проектных материалов (Veras, ArkoAI). Более сложные системы включают в себя не только генеративные механизмы, но и базы данных, необходимых при проектировании. Так, например, в платформе Archistar содержатся всевозможные картографические сведения об участке, такие, как примерная стоимость, целевое назначение, расположение инженерных сетей, ограничения застройки, риск подтопления и многие другие. На основе этих данных и запроса пользователя платформа может генерировать варианты концептуальные проектные решения и рассчитывать их технико-экономические показатели, степень аэрации и инсоляции и другие данные. Аналогичными и даже более широкими возможностями обладают такие платформы, как Digital Blue Foam, Spacemakers, Cove.tool.



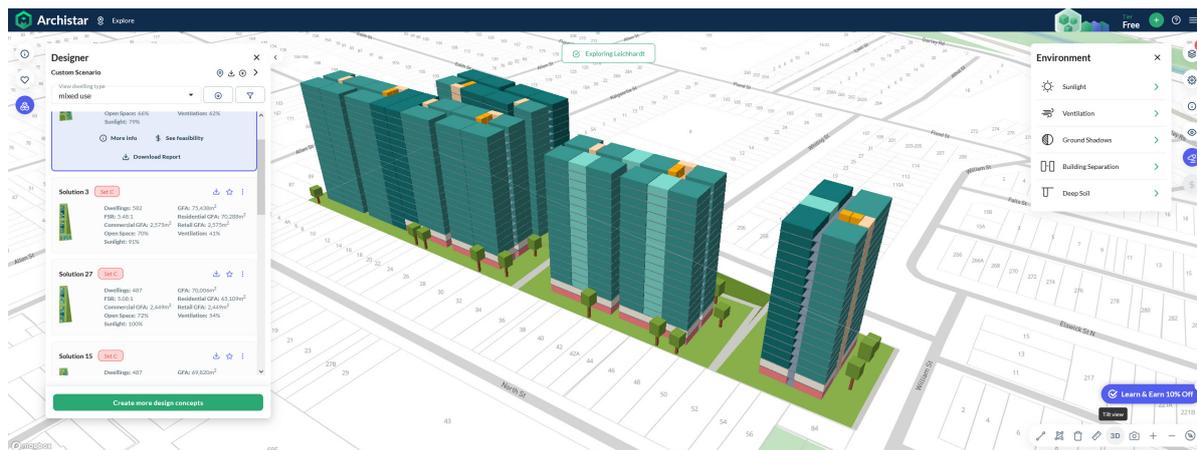


Рисунок 1. Варианты концептуального дизайна застройки, выполненных ИИ на платформе Archistar

Таким образом, сегодня системы искусственного интеллекта (ИИ) играют значительную роль в автоматизации архитектурного проектирования. ИИ-технологии позволяют архитекторам и проектировщикам решать сложные задачи, оптимизировать процессы и повышать эффективность работы. Вот несколько областей, где ИИ находит применение:

1. Генерация дизайн-вариантов: системы ИИ могут использоваться для генерации различных дизайн-вариантов на основе заданных критериев и требований. Это помогает архитекторам исследовать широкий спектр возможных решений и выбирать наиболее оптимальные.

2. Анализ данных и оптимизация: ИИ может использоваться для анализа больших объемов данных, таких, как геометрическая информация, климатические данные, сведения об использовании здания и др. С помощью алгоритмов машинного обучения и статистического анализа ИИ может выявлять оптимальные решения и предлагать улучшения для проекта.

3. Распознавание и классификация: системы ИИ могут быть обучены распознавать и классифицировать элементы в проекте, такие, как материалы, текстуры, элементы интерьера и экстерьера. Это упрощает процесс аннотирования и организации информации о здании.

4. Автоматизация чертежей и документации: ИИ-технологии могут использоваться для автоматизации создания чертежей и документации на основе трехмерных моделей. Это позволяет сократить время и усилия, затрачиваемые на рутинные задачи, и повысить точность и согласованность документации.

5. Предиктивный анализ и симуляции: системы ИИ могут проводить предиктивный анализ и симуляции для оценки производительности и поведения здания в различных условиях. Например, они могут предсказывать энергетическую эффективность, комфортность, освещение и другие параметры, что помогает архитекторам принимать информированные решения.

ИИ-технологии продолжают развиваться, и их вклад в автоматизацию архитектурного проектирования становится все более значимым, помогая сократить время, улучшить качество и оптимизировать процессы проектирования.

#### 4. Оценка степени автоматизации архитектурно-строительного проектирования

Автоматизация архитектурного проектирования является важной составляющей развития современной архитектуры. На протяжении десятилетий процессы

проектирования прошли значительную эволюцию, от ручного черчения и вычислений до полностью компьютеризованных и интеллектуальных систем поддержки проектирования.

При рассмотрении исторических этапов автоматизации архитектурного проектирования можно выделить несколько ключевых периодов, где различные технологии и инструменты внесли существенный вклад в автоматизацию процесса проектирования. Важно отметить, что эти этапы не являются строго отделенными, а скорее представляют эволюцию автоматизации в различные временные периоды (Таблица 3). Каждый из этих этапов внес существенный вклад в автоматизацию архитектурного проектирования.

Таблица 3. Технологические этапы развития автоматизации в проектировании

Краткая характеристика и временной период	Достижения:	Примеры автоматизации
Этап компьютеризации и систем компьютерно-поддерживаемого проектирования (1960-1980-е годы)	Внедрение компьютеров в архитектурную практику и развитие систем компьютерно-поддерживаемого проектирования (САПР) изменили процессы проектирования, позволив сократить время, улучшить точность и облегчить рутинные вычисления.	Замена ручного черчения компьютерным проектированием, автоматизация расчетов и анализов, создание и редактирование чертежей и моделей.
Этап системы управления информацией о зданиях (BIM) (2000-е годы и далее)	Внедрение системы управления информацией о зданиях (BIM) стало прорывом в автоматизации архитектурного проектирования. BIM позволяет создавать цифровые модели зданий с подробной информацией о компонентах и свойствах, улучшает координацию и взаимодействие между различными дисциплинами.	Централизованное хранение и обмен информацией о зданиях, автоматизированное создание чертежей и документации, проведение коллизионных анализов, анализ энергетической эффективности, виртуальные прогулки по проекту.
Этап внедрения искусственного интеллекта (ИИ) (2022 г. и далее)	Внедрение искусственного интеллекта в архитектурное проектирование позволяет использовать алгоритмы машинного обучения и анализа данных для генерации дизайн-вариантов, анализа данных и оптимизации проектов.	Генерация дизайн-вариантов, анализ больших объемов данных, оптимизация параметров проекта, предиктивный анализ

Далее в Таблице 4 представлена оценка уровня автоматизации на каждом из рассмотренных исторических этапов для различных этапов проектирования.

Таблица 4. Оценка автоматизации в проектировании на разных стадиях проектирования в зависимости от технологического этапа

	Традиционное проектирование	CAD	BIM	ИИ
Предпроектный анализ	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3
Концептуальное предложение	Level 1	Level 2	Level 2-3	Level 3
Эскизный проект	Level 1	Level 2	Level 2	Level 3
Рабочее проектирование	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3

Каждый из рассмотренных этапов принес значительные изменения в процесс архитектурного проектирования, улучшая его эффективность, точность и возможности сотрудничества. На текущий момент мы находимся на среднем, 3-м уровне автоматизации, где компьютер уже значительно участвует в процессе проектирования, выполняя рутинные задачи и предоставляя архитектору более точные инструменты и данные для принятия решений. Однако даже на этом уровне пока существует много проблем с точностью, корректностью и универсальностью автоматизированных систем. Более высокая автоматизация пока остается вызовом и требует дальнейших научных и технологических прорывов.

#### 4. Выводы

В результате анализа основных технологических и теоретических достижений в области автоматизации архитектурного проектирования можно заключить, что эти инновации существенно изменили и улучшили процессы проектирования. Компьютеризация, развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) и строительной информационной моделирования (BIM) позволили архитекторам и дизайнерам более эффективно работать с данными, улучшать точность и скорость проектирования, а также обеспечивать более эффективное взаимодействие между различными участниками проекта. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в автоматизацию архитектурного проектирования открывает новые возможности для генерации дизайнов, оптимизации проектов и принятия решений на основе анализа больших объемов данных.

Однако, несмотря на значительные достижения, мы все еще находимся на пути к полной автоматизации архитектурного проектирования. Будущее автоматизации связано с разработкой более продвинутых инструментов и алгоритмов ИИ, а также с интеграцией различных технологий для создания более интеллектуальных и устойчивых архитектурных решений. Использование автоматизации в архитектурном проектировании является неотъемлемой частью современной практики и будет продолжать эволюционировать, улучшая процессы и возможности для архитекторов и дизайнеров. Это предоставляет широкий спектр преимуществ от повышенной эффективности до более точных и инновационных архитектурных решений.

#### Список литературы

1. Б. Байер, У. Бирштайн и др. История человечества. – АСТ, 2002. – 640 с.
2. Sheridan, Thomas & Verplank, W. & Brooks, T. Human and Computer Control of Undersea Teleoperators.), table 8.2 – 1978 – стр. 168-172
3. Buede, D. M., & Miller, W. D. The Engineering Design of Systems: Models and Methods. – Wiley. – 2009 – С. 49-72
4. Douglas C. Engelbart, Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework, SRI Summary Report AFOSR-3223, Prepared for: Director of Information Sciences, Air Force Office of Scientific Research, Washington DC, Contract AF 49(638)-1024, SRI Project No. 3578 (AUGMENT,3906.). [Электронный ресурс] – URL: <https://www.doungelbart.org/content/view/138> (дата обращения: 15.06.2023)
5. Sutherland I., Sketchpad, a man-machine graphical communication system. – University of Cambridge Computer Laboratory. – 2003. – 149 с.
6. Christopher Alexander, Notes on the Synthesis of Form. – Harvard University Press. – 1964. – 216 с.
7. Christopher, Alexander, Murray Silverstein, Shlomo Angel, Sara Ishikawa, и Danny Abrams. The Oregon Experiment. – Oxford University Press. – 1975. – 202 с.
8. Раппапорт А. Г. К пониманию архитектурной формы: диссертация ... доктора искусствоведения: 18.00.01. – Москва, 2002. – 141 с.
9. Mitchell, William John. Computer Aided Architectural Design at UCLA. –University of California, Los Angeles, School of Architecture and Urban Planning. –1977. – 8 с.

10. Wayne Carlson (2003) A Critical History of Computer Graphics and Animation. – Ohio State University. – 2007. – 212 с.
11. Eastman, Charles, и др. «An Outline of the Building Description System. [Электронный ресурс] – 1974. – URL: <https://eric.ed.gov/?id=ED113833> (дата обращения: 15.06.2023).
12. Eastman, Charles M. «The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design». – AIA Journal. – 1975. – С. 178-201.
13. BCFA. BIM – (Building Information Model). [Электронный ресурс] – 2017. – [https://www.thebcfa.com/BIM\\_Building\\_Information\\_Model](https://www.thebcfa.com/BIM_Building_Information_Model) (дата обращения: 15.06.2023)
14. Eastman, Charles M., Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, и Kathleen Liston. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. – John Wiley & Sons. – 2008. – 315 с.
15. «CAD - The Greatest Advance in Construction History». [Электронный ресурс] – 2012. – <https://www.architectsjournal.co.uk/cad-the-greatest-advance-in-construction-history/1996442.article> (дата обращения: 15.06.2023)
16. Alan Turing, «Computing Machinery and Intelligence Архивная копия от 28 марта 2013 на Wayback Machine». – Mind, vol. LIX, no. 236. – 1950. – с. 433–460.
17. McCulloch W.S., Pitts W., A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. – Bull. Math. Biophys. – 1943. – с. 115-133
18. Sterling, B. Web Semantics: Microsoft Project Turing introduces Turing Natural Language Generation (T-NLG)". – Wired. – 2020. – 619 с.
19. What Caused the AI Renaissance. – Psychology Today. [Электронный ресурс] – 2023. – URL: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-future-brain/201901/what-caused-the-ai-renaissance> (дата обращения: 18.06.2023)

## Генезис архитектуралық-құрылыстыру проектированияны автоматизациялау туралы

**В.В. Яскевич**

*Satbayev University, Алматы, Қазақстан*

**Аңдатпа.** Мақала ХХ-ХХІ ғасырлардың технологиялық дамуы контекстінде архитектуралық-құрылыстыру жобалауында автоматизацияны дамыту туралы. Зерттеу саласы отандық және шетелдік публикацияларды жеткізу арқылы оны өзекті жылдамдықтарын дамыту бойынша зерттелген. Техникалық құралдар және программалық жасалулар қызметінен келесі көптеген ғылыми және технологиялық табыс әліппесінен мәнден маңыздылар таңдалды. Талдау арқылы автоматизацияның 4 дәрежелерін (салтанатты (қолмен), CAD, BIM, AI) табу мүмкіндігі белгілінді. Мәндерді бағалау үшін архитектуралық жұмыстарды білікті түрде есептеу әдістерін пайдалану қарағанда, автоматизация деңгейі белгіленеді. Архитектуралық жұмыстар бағалау әдістерінде архитектуралық қызметтік жасалу үрдістерін ескерту арқылы сондай-ақ қолдау көрсетілді. Проектированиеның 4-ші индустриялық инклюзия технологияларын (AI, виртуалды реалдықтық, 3D баспа және т.б.) қолдануға арналған соңғы заңды жетістіктері есептелген. Архитектуралық технологиялардың жоғарылауы мен жаңаларының пайда болуымен байланысты архитектуралық перспективалар қарастырылады.

**Түйін сөздер:** автоматизация, архитектура, жобалау, технологиялар, бағалау, эволюция.

## Genesis of Automation in Architectural and Construction Design

**V. Yaskovich**

*Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

**Abstract.** This article explores the development of automation in architectural and construction design within the context of technological progress in the 20th and 21st centuries. Through a comprehensive study of domestic and international publications on the selected topic, significant scientific and technological

advancements that have influenced the automation of modern design processes are examined. The analysis identifies four stages of design development in terms of automation: traditional (manual), Computer-Aided Design (CAD), Building Information Modeling (BIM), and Artificial Intelligence (AI). An attempt is made to assess the level of automation at each stage, utilizing established evaluation methodologies that consider the specific characteristics of architectural practice. The study also takes into account the latest achievements in utilizing Fourth Industrial Revolution technologies, such as artificial intelligence, virtual reality, 3D printing, and others, for architectural design. The conclusion discusses potential prospects for architecture in relation to the application of existing and emerging technologies.

**Keywords:** automation, architecture, design, technologies, evaluation, evolution.

## References

1. B. Bayer, U. Birshhtayn i dr. *Istoriya chelovechestva*. – AST, 2002. – 640 p.
2. Sheridan, Thomas & Verplank, W. & Brooks, T. *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators.*, table 8.2 – 1978 – pp. 168-172
3. Buede, D. M., & Miller, W. D. *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*. – Wiley. – 2009 – pp. 49-72
4. Douglas C. Engelbart, *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*, SRI Summary Report AFOSR-3223, Prepared for: Director of Information Sciences, Air Force Office of Scientific Research, Washington DC, Contract AF 49(638)-1024, SRI Project No. 3578 (AUGMENT,3906,). – URL: <https://www.doungengelbart.org/content/view/138> (Accessed: 15.06.2023)
5. Sutherland I., *Sketchpad, a man-machine graphical communication system*. – University of Cambridge Computer Laboratory. – 2003. – 149 p.
6. Christopher Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*. – Harvard University Press. – 1964. – 216 p.
7. Christopher, Alexander, Murray Silverstein, Shlomo Angel, Sara Ishikawa, и Danny Abrams. *The Oregon Experiment*. – Oxford University Press. – 1975. – 202 p.
8. Rappaport A. G. *K ponimaniyu arkhitekturnoy formy: dissertatsiya doktora iskusstvovedeniya: 18.00.01*. – Moskva, 2002. – 141 p.
9. Mitchell, William John. *Computer Aided Architectural Design at UCLA*. –University of California, Los Angeles, School of Architecture and Urban Planning. –1977. – 8 p.
10. Wayne Carlson (2003) *A Critical History of Computer Graphics and Animation*. – Ohio State University. – 2007. – 212 p.
11. Eastman, Charles, i dr. «An Outline of the Building Description System. – 1974. – URL: <https://eric.ed.gov/?id=ED113833> (Accessed: 15.06.2023)
12. Eastman, Charles M. «The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design». – AIA Journal. – 1975. – pp. 178-201
13. BCFA. BIM – (Building Information Model). – 2017. – [https://www.thebcfa.com/BIM\\_Building\\_Information\\_Model](https://www.thebcfa.com/BIM_Building_Information_Model) (Accessed: 15.06.2023)
14. Eastman, Charles M., Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, и Kathleen Liston. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. – John Wiley & Sons. – 2008. – 315 p.
15. «CAD - The Greatest Advance in Construction History». – 2012. – <https://www.architectsjournal.co.uk/cad-the-greatest-advance-in-construction-history/1996442.article> (Accessed: 15.06.2023)
16. Alan Turing, «Computing Machinery and Intelligence Archivnaya kopiya 28 March 2013 Wayback Machine». – Mind, vol. LIX, no. 236. – 1950. – pp. 433–460.
17. McCulloch W.S., Pitts W., *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. – Bull. Math. Biophys. – 1943. – pp. 115-133
18. Sterling, B. *Web Semantics: Microsoft Project Turing introduces Turing Natural Language Generation (T-NLG)*" . – Wired. – 2020. – 619 p.
19. *What Caused the AI Renaissance*. – Psychology Today. – 2023. – URL: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-future-brain/201901/what-caused-the-ai-renaissance> (Accessed: 18.06.2023)

**Сведения об авторе:**

**В.В. Яскевич** – магистр архитектуры, старший преподаватель, Satbayev University, ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан.

**В.В. Яскеевич** – сәулет магистрі, аға оқытушы, Сәтбаев Университеті, Сәтпаев көш., 22, Алматы, Қазақстан.

**V. Yaskевич** – Master of Architecture, Senior Lecturer, Satbayev University, 22 Satbayev st., Almaty, Kazakhstan.