

Международная образовательная корпорация  
(Кампус КазГАСА)

УДК 72.011:004.9

На правах рукописи

**НАБИЕВ АБДУЛХАЛЫК САДЫКХОЖАЕВИЧ**

**Феномен цифровой культуры в архитектурном формообразовании**

6D042000 – Архитектура

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научный руководитель  
Байтенов Эскандер  
Муслимович, доктор  
архитектуры, профессор-  
исследователь ФА, МОК,  
(Кампус КазГАСА)

Зарубежный научный  
консультант  
Поморов Сергей Борисович,  
доктор архитектуры, профессор  
ИнАрхДиз, АлтГТУ

Республика Казахстан  
Алматы, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....</b>	<b>4</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>5</b>
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>7</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ЭВОЛЮЦИЯ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В АРХИТЕКТУРЕ .....</b>	<b>17</b>
1.1 История развития цифровой культуры в архитектуре .....	17
1.2 Предпосылки использования цифровых программ в процессе архитектурного проектирования .....	22
<b>Выводы по первому разделу .....</b>	<b>32</b>
<b>2 МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ .....</b>	<b>34</b>
2.1 «Встраивание» цифровых технологий в архитектуру.....	34
2.2 Механизмы цифровой культуры в архитектурном формообразовании....	39
2.3 Факторы цифровой архитектуры.....	46
<b>Выводы по второму разделу .....</b>	<b>51</b>
<b>3 АРХИТЕКТУРА И ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА: ДИАЛЕКТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ .....</b>	<b>52</b>
3.1 Современные тенденции в архитектурном формообразовании с использованием цифровых технологий.....	52
3.2 Влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование.....	64
3.3 Проблемы архитектурного цифрового формообразования .....	73
<b>Выводы по третьему разделу .....</b>	<b>77</b>
<b>4 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....</b>	<b>78</b>
4.1 Инструментарий цифрового проектирования в современной архитектуре .....	78
4.2 BIM технология в архитектуре .....	87
4.3 VR- технологии в архитектуре.....	93
<b>Выводы по четвертому разделу.....</b>	<b>98</b>
<b>5 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ .....</b>	<b>100</b>
5.1 Индустрия 4.0 в архитектуре и её прогностические возможности .....	100

5.2 Нейросети как перспективное направление в архитектурном проектировании .....	105
5.3 Перспективы развития цифровой культуры в создании инновационной архитектуры Казахстана .....	113
<b>Выводы по пятому разделу .....</b>	<b>122</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>124</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>128</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А - Обзор эволюции цифровой культуры в архитектуре .....</b>	<b>149</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Механизмы и факторы цифровых технологий в архитектуре .....</b>	<b>151</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В - Диалектика взаимодействия архитектуры и цифровой культуры .....</b>	<b>157</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Инструменты и методы современного архитектурного проектирования .....</b>	<b>179</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д - Перспективы развития цифровой архитектуры в Казахстане .....</b>	<b>188</b>

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

- Закон Республики Казахстан от 18 февраля 2011 года № 407-IV «О науке»
- Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.
- Постановление Правительства Республики Казахстан. Об утверждении Государственной программы «Цифровой Казахстан».
- Закон Республики Казахстан. Об утверждении Плана мероприятий по внедрению технологии информационного моделирования при проектировании объектов строительства (BIM-технологий).

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующим определением:

- **Цифровая культура** – комплекс социальных, культурных и технологических изменений, вызванных интеграцией цифровых технологий в повседневную жизнь и профессиональную практику, в том числе в архитектуре.

- **Архитектурное формообразование** – процесс создания формы архитектурного объекта, включающий в себя эстетические, функциональные и технологические решения, осуществляемые на различных стадиях проектирования.

- **Цифровые технологии в архитектуре** – инструменты, методы и программные решения, применяемые в процессе архитектурного проектирования, включая CAD (Computer-Aided Design), BIM (Building Information Modeling), VR (Virtual Reality) и другие.

- **Цифровое формообразование** – методы проектирования, основанные на использовании алгоритмов и программных решений для создания архитектурных форм, в том числе с применением параметрического и генеративного дизайна.

- **BIM технология** – процесс управления информацией о здании с использованием цифровой модели здания, что позволяет анализировать его характеристики и работать над проектом в тесной связи с другими участниками строительства.

- **VR-технологии в архитектуре** – использование виртуальной реальности для визуализации архитектурных проектов, что позволяет пользователям взаимодействовать с трехмерными моделями еще до их реализации.

- **Индустрия 4.0 в архитектуре** – интеграция современных цифровых технологий, включая автоматизацию, обмен данными и использование киберфизических систем, в архитектурном проектировании и строительстве.

- **Искусственный интеллект (ИИ)** – технология, позволяющая имитировать человеческий интеллект и выполнять различные задачи в автономном порядке.

- **Нейросети в архитектуре** – использование искусственных нейронных сетей для анализа данных, оптимизации процессов проектирования и создания инновационных решений в архитектуре.

- **Revit** – программное обеспечение для информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM). Название объединяет слово «rev», означающее «revolution» (англ. «революция»), что можно интерпретировать как «оборот», и аббревиатуру «IT» (англ. «Information Technology» — «информационные технологии»), подразумевая революцию и оборот в информационных технологиях в строительстве.

**- Цифровая архитектура** – применения информационных технологий в архитектурном проектировании, в том числе разработки, моделирования, оптимизации и визуализации архитектурных проектов.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

<b>РК</b>	– Республика Казахстан
<b>МОН</b>	– Министерство образования и науки
<b>КОКСОН</b>	– Комитет по обеспечению качества в сфере образования и науки
<b>НТД</b>	– Нормативно-техническая документация
<b>CATIA</b>	– Computer Aided Three-dimensional Interactive Application
<b>BIM</b>	– Building Information Modeling
<b>ТИМСО</b>	– Технология Информационного Моделирования Строительных Объектов
<b>LEED</b>	– Leadership in Energy and Environmental Design
<b>BREEAM</b>	– Building Research Establishment Environmental Assessment Method
<b>ИИ</b>	– Искусственный интеллект
<b>VR</b>	– Виртуальная реальность

## ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация сегодня стала неотъемлемой частью нашей жизни, мы используем оцифровку и внедренную электронно-вычислительную технику во всех сферах жизнедеятельности общества. Без многочисленных гаджетов и приложений невозможно обойтись в решении проблем социальной коммуникации в широком смысле слова, в том числе и в современной архитектуре. Формообразование в архитектуре, которая является неотъемлемой частью культуры и «лицом» городской цивилизации, включает в себя художественную образность и в настоящее время, будучи переосмысленной в цифровой формат, выходит на первый план. Главная роль цифровой культуры в архитектурном формообразовании - воплотить идеи в максимально сжатые сроки, и не идя на поводу собственно «машинного» давления, продемонстрировать значимость вклада человеческого интеллекта.

В реалиях современной архитектуры, вполне закономерен вопрос: «почему и каким образом возникают «странные» (криволинейные) и в то же время, завораживающие пространственные формы и какое место они должны занимать в нашем мире?». Первой причиной интереса к понятию «цифровая нелинейность» является то, что в современном мире проектирование становится более интегрированным с природой биологии, вычислительной техникой, собственными идеями и их развитием, образуя единое и неразрывное целое. Вторая причина - технологический прогресс, поскольку современные цифровые технологии стремительно развиваются, предлагая новые инструменты и методы для проектирования и строительства. Это включает в себя компьютерное моделирование, алгоритмическое проектирование, использование виртуальной и дополненной реальности и другие инновации. Третья причина – потребность в понимании того, как цифровые технологии и принципы цифровой культуры могут быть интегрированы в архитектурное образование.

Таким образом, необходимость анализа формирования феномена цифровой культуры в рамках системного подхода, предопределили и обусловили цель и задачи данного диссертационного исследования, тем самым исследование цифровой культуры и характера ее влияния на архитектурное формообразование представляет большой интерес и практическое значение.

**Актуальность темы исследования** обусловлена стратегической задачей перехода на инновационный путь развития согласно программе «Цифровой Казахстан» и настоятельной необходимостью внедрение цифровых технологий в архитектурное и строительное проектирование [1-4].

Проблема формообразования в архитектуре остается одной из ключевых задач в знаково-символическом пространстве, тесно связанной с порождением формы. В современном мире различные сферы человеческой деятельности интенсивно взаимодействуют с разнообразными видами цифровых технологий. В архитектурном формообразовании, по определению, ассоциированном с виртуальными образами, любые сдвиги, особенно те, что обусловлены цифровой спецификой, в определенной степени меняют не только окружающий мир, но и само человеческое сознание.

В контексте архитектуры и формообразования «Цифровая культура» открывает новые горизонты и предоставляет архитекторам новые инструменты и методы для создания и представления архитектурных проектов. Это относится к использованию цифровых технологий и процессов в проектировании и строительстве зданий, включая использование компьютерного моделирования и визуализации, а также более сложных процессов, таких как дополненная реальность, виртуальная реальность, 3D-печать, искусственный интеллект и алгоритмическое проектирование [5].

Цифровая культура - термин, обозначающий новые формы культуры и общественного взаимодействия, возникшие на фоне развития цифровых технологий и интернета. Этот феномен тесно связан с технологическими изменениями в обществе и культуре, затрагивая образ жизни и практически все аспекты современного общества: от образования и экономики до искусства и науки. Динамичный и постоянно адаптирующийся к новым технологическим и социокультурным реалиям, данный феномен становится движущей силой цифровизации, интегрируя технологии в культурные, трудовые и бытовые процессы. В архитектуре она выступает как катализатор, стимулируя возникновение и развитие новых цифровых подходов к архитектурному творчеству, тем самым значительно влияя на практику архитектуры и расширяя горизонты для инноваций и креативного подхода к проектированию пространств.

В целом, исследуемая тема актуальна и значима для архитектурной науки и практики, поскольку она отражает переход к новому пониманию и использованию пространства и формы в эпоху цифровизации. Цифровая культура не просто трансформирует наши жизни, но и оказывает влияние на физическое пространство вокруг нас, включая архитектуру и городскую среду. Она предлагает новые подходы к проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений, что будет способствовать более эффективному, инновационному и устойчивому облику наших городов. Более того, цифровая культура ставит вопросы о роли архитектора в современном обществе, о взаимодействии между людьми и зданиями, о социальной и культурной значимости архитектуры. Исследование этих вопросов может помочь архитекторам лучше понять и ответить на вызовы и возможности цифровой эпохи [6].

Таким образом, изучение формирования феномена цифровой культуры в рамках системного подхода определяет цель и задачи данного диссертационного исследования, делая его актуальным и практически значимым. В этом состоит своевременность настоящей диссертации «Феномен цифровой культуры в архитектурном формообразовании», где ее результаты будут отражать продвижение в области архитектурной науки, практики и образования в условиях распространения цифровых технологий в обществе.

**Ключевыми понятиями диссертации** являются понятия, обозначаемые терминами «цифровая культура» и «цифровое формообразование» в архитектурном формотворчестве. Автор анализирует эти аспекты, в плане теоретической и технологической составляющих.

**Объект исследования** – цифровая культура в архитектурном формообразовании.

**Предметом исследования** является взаимосвязь и взаимовлияние цифровой культуры и архитектурного формообразования, а также анализ и оценка различных инструментов и методов, таких как компьютерное моделирование, алгоритмическое проектирование, виртуальная и дополненная реальность, и их влияния на процесс создания архитектурных форм.

**Цель исследования** - выявить влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование, проанализировать современные методы архитектурного проектирования, опирающиеся на цифровые технологии, а также определить перспективы и возможности цифровой архитектуры для создания инновационной архитектуры Казахстана.

#### **Задачи исследования**

- изучение и анализ эволюции цифровой культуры в архитектуре и определение ключевых элементов и аспектов цифровой культуры, влияющих на архитектурное формообразование;
- выявление основных механизмов и факторов развития цифровых технологий, влияющих на архитектурное формообразование
- определение мировых тенденций и взаимодействия цифровой культуры в архитектурном формообразовании.
- анализ современных методов архитектурного проектирования на основе компьютерного моделирования.
- анализ перспектив архитектурного формообразования в контексте стратегии развития цифровой культуры в Казахстане.
- разработка комплексных теоретических моделей взаимодействия между архитектурой и цифровой культурой.

**Степень изученности.** В контексте быстро развивающихся цифровых технологий и их воздействия на различные сферы деятельности, архитектура также претерпевает революционные изменения. Существует множество исследований по цифровому формообразованию в этой сфере, что подтверждает её актуальность. Для глубокого понимания этой взаимосвязи были рассмотрены следующие аспекты:

**Исторический обзор развития цифровой культуры** – для понимания взаимодействия текущих тенденций технологий и общества, были изучены истоки развития цифровой культуры Мануэлем Кастельсом [7] разработал концепции «Сетевого общества», раскрыв новое понимание динамики глобализации и технологических изменений в обществе. Его исследования обширны и имеют огромное влияние на множество дисциплин.

Жан Бодрийяр [8] в своих работах по гиперреальности и симуляциям дал новое понимание отношений между реальностью, символами и обществом в эпоху цифровых технологий.

Лев Манович [9], в «Языке новых медиа», исследовал принципы и формы цифрового культурного производства, а также как технологии трансформируют визуальные медиа.

Ювал Ноа Харари [10] проследил, как технологии могут повлиять на будущее человеческой эволюции, экономику и социальную структуру в своих проницательных работах.

Донна Харауэй [11] в «Манифесте киборга» размышляла о слиянии человека и машины, предоставляя новый взгляд на гендер, идентичность и технологии.

Николас Негропonte [12], выдвинувший идею перехода от атомов к битам, стал двигателем инноваций и исследований в MIT Media Lab.

Пьер Леви [13] рассматривал цифровые технологии как инструменты коллективной интеллектуальной деятельности, прогнозируя новую эру общественного взаимодействия и обучения.

Шерри Тёркл [14] глубоко анализировала, как цифровые технологии влияют на личные и социальные отношения, особенно в контексте эмоциональных связей.

Елькина Е.Е. [15] проникновенно исследовала влияние социальных медиа на поведение молодежи, выявляя новые формы общения и социализации.

Gere Ch [16] сосредоточился на пересечении цифрового искусства и технологии, исследуя, как цифровые инструменты расширяют границы творчества.

**Интеграция цифровых технологий в архитектурные проекты** – для понимания влияния компьютерных технологий, были изучены труды авторов, чьи исследования напрямую повлияли на современное архитектурное проектирование: Charles M. Eastman [17, 18], разработал методологии автоматизированного проектирования, обеспечивая платформу для интеграции цифровых инструментов в архитектурный процесс.

Патрик Шумахер [19], являясь одним из главных теоретиков и практиков, поддерживает и применяет параметрический дизайн, позволяя создавать сложные и адаптивные архитектурные формы с помощью алгоритмов.

Kas Oosterhuis [20, 21], исследовал «живую» архитектуру, создавая динамичные здания, которые могут реагировать на окружающую среду с помощью встроенных цифровых систем. В своих исследованиях по цифровой архитектуре, акцентировал внимание на применении цифровых технологий для создания динамичных, адаптируемых зданий. В своей знаковой публикации «Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture», он представляет концепцию «e-motive architecture», обозначая архитектурные объекты, способные адаптироваться и реагировать на различные внешние стимулы, создавая тем самым интерактивное и «живое» архитектурное пространство.

Mark Burry [22], продвигает исследования в области цифрового производства, позволяя архитекторам проектировать здания, которые затем можно быстро и точно воплотить в реальности. Он утверждает, что современные цифровые инструменты позволяют архитекторам переосмыслить сложные геометрические структуры и реализовать их в физической реальности. Он активно применял этот подход в работе над проектом Саграда Фамилия, где использовался 3D-моделирование для интерпретации и реализации идей Антони Гауди.

Mario Carro [23], обсуждает переход от ручного к компьютерному проектированию, анализируя, как цифровые технологии меняют саму суть архитектурного процесса. Исследователь подчеркивает трансформацию традиционных методов архитектурного проектирования под влиянием компьютерных технологий. Он рассматривает, как цифровые инструменты повлияли на концептуальные основы дизайна и внесли изменения в практику архитектурного творчества. В этом контексте, Carro указывает на необходимость адаптации профессионалов к новым технологическим реалиям, где проектирование зданий становится результатом слияния традиционной архитектуры и цифровых инноваций.

Greg Lynn [24, 25] применял инструменты компьютерного моделирования для разработки нелинейных и органических форм в архитектуре. Архитектор подчеркивает значение «плавных» и «непрерывных» форм в современной архитектуре, достигаемых с помощью цифрового моделирования, в отличие от традиционных «резких» и «ломаных» форм прошлых эпох. Он утверждает, что цифровые инструменты не просто расширяют возможности архитектурного дизайна, но и предоставляют новые способы восприятия формы, пространства и материала. В его философии лежит убеждение - в цифровых технологиях - потенциал для создания экологически устойчивых и адаптивных архитектурных конструкций.

Ахим Менгес [26], разработал методы для интеграции материаловедения в дигитальное проектирование, создавая адаптивные и устойчивые архитектурные решения. Учённый рассматривает, как компьютеры и цифровые технологии могут работать с природными материалами и биологическими правилами. По его мнению, такой калабаративый подход помогает создавать здания, которые хорошо вписываются в окружающую среду.

Sina Mostafavi [27], исследует применение искусственного интеллекта в архитектурном проектировании, автоматизируя и оптимизируя процесс создания.

Л. Н. Авдоткин совершил прорыв, предложив первый в своем роде учебник, который освещает использование компьютерных технологий в архитектурном и градостроительном проектировании. В этой книге он обобщает и систематизирует знания и опыт применения ЭВМ, ранее разрозненно присутствующие в практике ведущих проектных организаций, тем самым подчеркивая трансформацию традиционных методов проектирования под влиянием вычислительной техники. Автор акцентирует внимание на значимости градостроительства в контексте архитектурной специализации, поднимая тему более широкого внедрения математических методов и ЭВМ в данную область. Он утверждает, что для полноценного внедрения этих инноваций необходима соответствующая подготовка специалистов и модернизация образовательных программ, хотя и сохраняет за архитектором его творческую уникальность и интуитивное видение. Также, по его концепциям можно понять, что включение большего количества иллюстративного материала поможет лучше донести до студентов ценность компьютерного моделирования в архитектуре [28].

**Вопросы изучения феномена цифровой культуры как фактора социально-культурного роста**, в контексте предпосылки цифровизации и развития искусственного интеллекта в архитектурном формообразовании рассматривались в трудах авторов: Рузавин Г. И. [5], Краусс Р. [6], Аверкин АН. [29], Алтунян А.О. [31], Барчугова Е.В. [33], Бензе М. [34], Браславский П. И. [35], Веснин А.А. [36], Вильковский М. [37], Воличенко О.В. [39], Воронина Т. П. [40], Гаврилов А. А. [41], Галанин Р. [42], Данилов Д.С. [43], Дедовец Р.В. [44], Демидова М.А. [45], Дженкс Ч. [46], Добрицына И.А. [47, 48], Емельянова О.И. [49], Иванов В.Ф. [50], Иванова А.С. [51], Игумнова А.С. [52], Исабаев Г.А. [53], Исходжанова Г.Р. [57], Кавтарадзе С. [58, 59], Калинина Е.Е. [60], Кальницкая Е. [61], Кобзева И.А. [62], Колодий В.В. [63], Кондратьев Е.А. [65], Корсунцев И. Г. [66], Крылов Д.А. [67], Ломхольт И. [68], Лурье Д. А. [69], Лучкова В.И. [70], Меерович М.Г. [71], Мокшанцева О.А. [72], Надыршин Н.М. [73], Носов Н. А. [74], Орзунова О.Э. [75], Поморов С.Б. [77], Репкин Д. [78], Рочегова Н.А. [80,81,82], Рябова О.В. [83], Савельева Л.В. [84,85], Самойлов К. И. [86], Сапрыкина Н.А. [88], Сомов Г.Ю. [89], Степанов А.В. [91], Стерликова А.И. [92], Талапов В.В. [94], Таратута Е. Е. [95], Тахиров Б. Н. [96], Абдрасилова Г.С. [98], Трамбовецкий В. [99], Хуторной С.Н. [100], Черниченко Е.А. [101], Agkathidis Ast. [103], Aiello C. [104], Andadari S. Tri [105], Angulo A. [106], Ascott R. [109], Baitenov E. [111], Bhooshan S. [112], Carlos L. Marcos. [113], Chaillou S. [114], Mokeeva O.D. [115], Daniela B. [116], Duffy Alex H.B. [117], Efanova T.A. [118], Engelbart D. [119], Esaulov G.V. [120], Feist S.T. [121], Garcia M. [122], Gero J.S. [123], Hansmeyer M. [124], Hauwa O.Y. [125], Iwamoto Li. [126], Grisaleña Ar. Jon [127], Kaiyang W. [128], Knish V.I. [129], Kolarevic B. [130], Terzidis Ko. [131], Krawczyk R. J. [132], Lee J. [133], Malakhov S.A. [134], Maver T. [135], Mikhailov S.M. [136], Morel P. [138], Moussavi F. [140], Leach Ne. [142], Milgram P. [143], Raina A. [144], Ramilo Ru. [144], Roussou M. [147, 148], Stsesel S. [151], Uhrík M. [152], Werner Liss C. [153], Whyte J. [154], Волынский В.Э. [156], Новикова А.Н. [157], Лапшина Е.Г. [158], Салех М.С. [159], Асанович А. [160], Абдрасилова Г.С. [161], Поморов С.Б., Прохоров С.А. [163], Мамедов С.Э. [164] а также в работах других авторов.

**Для анализа текущего состояния и перспектив цифровых технологий в Казахстане** информационные порталы в Интернете предоставляют наиболее объективную картину [1, 2].

Исходя из изученного материала по теме диссертации - развитие цифровизации в архитектуре и их влияние на процесс формообразования были предметом многих исследований. Однако, как эти технологии взаимодействуют с более широкими аспектами цифровой культуры, такими, как открытость, коллаборативность и сетевое взаимодействие - требуют дальнейшего изучения. Кроме того, вопрос о том, как архитектура может адаптироваться к меняющимся потребностям и ожиданиям цифрового общества, и как цифровые технологии могут способствовать устойчивости в архитектуре, а также наряду с обратной стороной проблемы - зависимостью архитектуры от современных технологий остаются открытыми для дальнейшего исследования.

**Научная новизна.** Разработаны модели взаимодействия цифровой культуры и архитектурного формообразования, включая социально-культурные аспекты цифровизации в архитектуре, для изучения влияния цифровых технологий на архитектурное формообразование, где модели сочетают в себе теоретических и практических подходов для анализа современных архитектурных проектов.

**Достоверность научных результатов** исследования подтверждается количественным и качественным анализом, графической презентацией и научно-теоретической систематизацией собранного материала, исследованием различных цифровых источников.

**Методологической основой исследования** является:

- сравнительный анализ исторических и современных примеров архитектуры, в которых выявляется влияние цифровой культуры;
- синтез теорий эволюции архитектурного формообразования и контекста цифровой культуры;
- анализ существующих подходов к влиянию цифровых технологий на архитектурное формообразование;
- количественный и качественный анализа данных об использовании цифровых технологий в архитектуре;
- проведение прикладных методов, в частности, углубленного соцопроса архитекторов, теоретиков, исследователей цифровизации, а также экспертов, использующих цифровые инструменты в своей работе;
- осмысление того, как цифровая культура меняет подходы к архитектурному формообразованию и как это может повлиять на будущее архитектуры.

Методология исследования в данной работе представляет собой сочетание нескольких подходов. Сначала проводится теоретический анализ конкретных примеров архитектурных проектов, где применяются элементы цифровой культуры, чтобы проиллюстрировать теоретические идеи и дать углубленное понимание вопроса. Затем применяется междисциплинарный подход, который учитывает методологию из различных областей знаний, включая информационные и коммуникационные технологии, архитектуру и алгоритмическое проектирование, что помогает выявить качественное содержание цифровых источников. Наконец, проводится критический анализ существующих идей, подходов и тенденций в области цифровой культуры и архитектурного формообразования, чтобы предложить новые перспективы и подходы в этой области.

**Гипотеза исследования** заключается в том, что цифровая культура оказывает значительное влияние на процесс архитектурного формообразования, приводя к дальнейшей его эволюции, при этом не исключая традиционные подходы и методы, что стимулирует создание новых архитектурных форм и структур. Последнее может быть спрогнозировано через детальное изучение современных архитектурных тенденций, а также через разработку новых теоретических моделей, основанных на принципах цифровой культуры.

**Теоретическая значимость** состоит в развитии новых теоретических моделей взаимодействия цифровой культуры и архитектуры, предоставляющих новые перспективы для архитектурной науки в рамках цифровизации.

**Практическая значимость диссертации.** Предложенные новые методы и подходы в области архитектурного формообразования, учитывающее влияние цифровой культуры позволяют улучшить качество архитектурного проектирования; результатами исследования являются методы и подходы к интерпретации современных тенденций в архитектуре, связанные с цифровой культурой; предоставляет преподавателям и обучающимся развернутое понимание влияния цифровой культуры на архитектуру; способствует углублению понимания исследователями социальных и культурных аспектах, а также взаимосвязи между цифровой культурой и архитектурным формообразованием. Все это должно привести к созданию архитектуры, которая в большей мере будет отвечать нуждам и ценностям современного информационного общества.

**Положения, результаты, выносимые на защиту:**

- влияние цифровых технологий на эволюцию архитектурного формообразования;
- роль цифровой культуры в современных методах архитектурного проектирования;
- мировые тенденции взаимодействия цифровой культуры и архитектуры;
- вклад цифровых технологий в формирование архитектурного формообразования;
- перспективы влияния цифровой культуры на создания инновационной архитектуры Казахстана.

**Объем и структура исследования:** диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников – 318 наименования и 5 приложений. Общий объем диссертации 193 страницы, основной текст 148 страниц.

**Ключевые слова:** цифровая культура, цифровая архитектура, цифровые технологии в архитектуре, искусственный интеллект, BIM технология, междисциплинарный подход, цифровое формообразование, цифровая архитектура Казахстана.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения диссертации опубликованы в статьях "Interaction of Architecture with the Culture of Digital Civilization", "Virtual Reconstruction of Historical Architectural Monuments: Methods and Technologies" и других изданиях. Представлено на международной конференции "Problems of formation of a comfortable object-spatial environment of cities. Issues of architecture, construction, design". (Прага, 2022г.) Некоторые положения работы внедрены в учебный процесс, в частности, по дисциплине "Профессиональные программы III".

**По теме диссертации опубликованы 7 статей:**

1. Abdulkhalyk Nabiyev, Eskander Baitenov, Sergey Pomorov. Interaction of Architecture with the Culture of Digital Civilization // Civil Engineering and Architecture 10 (7): 3198-3205, 2022 <https://doi.10.13189/cea.2022.100731>
2. Nabiev A.S. The phenomenon of digital architecture: problems and prospects // Innovaciencia, Volume 10, Issue 1, December 2022. -P.1-14. ISSN 2346-075X (Web of Science). <https://doi.org/10.15649/2346075X.2967>
3. Nabiev A.S., Nurkusheva L.T., Suleimenova K.K., Sadvokasova G.K., Imanbaeva Z.A. Virtual Reconstruction of Historical Architectural Monuments: Methods and Technologies. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Volume 8, Issue 10, August 2019. -P. 3880-3887 ISSN 2278-3075
4. Набиев А.С. К проблеме влияния цифровой культуры на архитектурное формообразование // Современные тренды в архитектуре и строительстве: энергоэффективность, энергосбережение, BIM-технологии, проблемы городской среды: сб.мат. Междунар. научно-практ.конф. – Алматы: МОК, 2019. – С.248-251.
5. Набиев А.С. Софткультура в архитектуре: нововведение и их функциональная совместимость // Научный журнал «Вестник КазГАСА». – 2022. – № 3 (85). – С. 63-73.
6. Набиев А.С., Поморов С.Б. Актуальность культурной конвергенции в архитектурном формообразовании в аспекте цифровизации // Научный журнал «Вестник КазГАСА». – 2023. – № 2 (88). — С. 66-74.
7. Набиев А.С., Поморов С.Б. Ретроспектива и противоречия создания архитектурных проектов в контексте цифровизации // Научный журнал «Вестник КазГАСА». – 2021. – № 4 (82). – С. 63-73.

# 1 ЭВОЛЮЦИЯ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В АРХИТЕКТУРЕ

В данном разделе проанализирована эволюция цифровой культуры в архитектуре. Первый подраздел обширно изучает истоки цифровой культуры, начиная с древних времён, и акцентирует внимание на середину XX века, когда были внедрены первые компьютерные системы для архитектурного проектирования. Второй подраздел освещает предпосылки и основные причины применения цифровых программ в архитектуре, выявляя их роль в трансформации процессов создания и реализации архитектурных концепций. Заключительный блок раздела суммирует основные выводы исследования, подчеркивая значимость и перспективы развития цифровых инноваций в сфере архитектуры.

## 1.1 История развития цифровой культуры в архитектуре

От рисунков и чертежей к цифровизации - эволюция методов, повлиявших на архитектуру. Проблемы, связанные с критикой и отрицанием традиционного метода создания архитектуры, отдаление от механического метода проектирования в пользу цифрового алгоритма проектирования. Эволюция движется по пути создания комплексного процесса проектирования (BIM-технологии и т.д.), основанного на созидательном вкладе всех участников процесса, одновременно: архитекторов, конструкторов, инженеров, технологов. С началом периода технологического прогресса в мире немало возникло «икон» цифровой архитектуры. Очевидно, если бы не было самых передовых технологий цифрового проектирования, вряд ли были бы возможны Центр Гейдара Алиева в Баку, концертный зал Уолта Диснея в Нью-Йорке или музей фонда Луи Виттона в Париже такими, какие они есть [47, с. 43-50].

Термин «цифровая культура» (digital culture) описывает культурные, социальные и эстетические изменения, произошедшие в результате проникновения и распространения цифровых технологий в обществе. Истоки термина «цифровая культура» (digital culture), заимствованы из труда Р. Гира, Л. Манович, предложивших понятие «культурный софт» [16, р. 7-8].

Понятие «цифровая культура» стало популярным в конце XX - начале XXI века, но корни его происхождения уходят глубже, когда начали активно развиваться первые компьютеры и были сформулированы основы кибернетики, многие ученые и философы начали размышлять о последствиях внедрения этих технологий в общество [40, с. 7]. Эти ранние дискуссии заложили фундамент для формирования понятия цифровой культуры. В 1990-х годах с появлением интернета термин начал активно использоваться для описания новых форм социального взаимодействия, информационного обмена и культурного производства, возникших благодаря Всемирной паутине [47, с. 45-49]. Исследователи, такие как Чарли Гир, Лев Манович и другие, начали активно изучать цифровую культуру, пытаясь определить ее основные характеристики, возможности и вызовы. С развитием социальных сетей, мобильных приложений и других цифровых платформ понятие цифровой культуры стало частью общественного дискурса, охватывая все аспекты жизни от искусства и

развлечений до политики и социальных отношений. В целом, термин «цифровая культура» не имеет одного конкретного автора. Это является результатом коллективного интеллектуального усилия, направленного на понимание трансформаций, вызванных внедрением цифровых технологий в нашу жизнь, как отражение идей о самоорганизации представляющего собой конечный результат взаимного влияния культуры и программного обеспечения. В результате этих процессов цифровая культура, по сути, становится синонимом современной культуры [9, с. 45; 16, р. 9-10; 63, с. 381].

Сетевое общество ориентировано на взаимосвязанные узлы, переопределяя пространственные и временные рамки. Это взаимодействие проникает и в архитектуру, где объекты начинают фокусироваться на информационных потоках, а не только на физическом контексте. В рамках архитектурного формообразования, идеи социолога Кастельса помогают осмыслить влияние цифровых технологий на проектирование [7, с. 37].

Елькина Е.Е. стремится проанализировать и осветить феномен цифровой культуры, который возник в результате всепоглощающего влияния цифровых технологий на различные сферы общественной жизни в конце XX - начале XXI веков. Она акцентирует внимание на разнообразных концептуальных моделях и практиках, которые характеризуют проявление цифровой культуры в таких областях как культура, экономика, политика, наука и образование, делая акцент на междисциплинарности этого направления и его ключевых аспектах [15].

Каждая эпоха развития цивилизации имеет свои особенности в хозяйственной деятельности индивидов и общества. В палеолитическую эпоху, охарактеризованную формированием культуры быта, уже происходило зарождение совместного проживания и использование примитивных инструментов для первых жилищ и других сооружений.

С развитием градостроительства и зодчества в догосударственный период организации древних обществ, проявились элементы градостроительства культовых ансамблей и святилищ [155, с. 64]. Этот период можно считать началом архитектурного проектирования. Несмотря на отсутствие консенсуса среди ученых о том, использовали ли древние строители чертежи, наличие сложных планов, как у фараона Хафра, вызывает сомнения в том, что они обходились без них [154]. Труды Витрувия из Древнего Рима подробно описывают культуру строительства, включая сложные чертежи и модели. Эти чертежи, эскизы и рисунки являются разновидностями архитектурной графики [93].

С древних времен, архитекторы использовали доступные им инструменты и технологии для передачи идей и знаний. В эпоху античности, зодчие из Древней Греции, например, обходились примитивными инструментами вроде неподвижных компасов. Тем временем римские строители уже применяли более разнообразный инструментарий, включая различные типы компасов, линеек, угольников, а также измерительные нити, схожие с современными рулетками, и перья для черчения различной толщины и формы. Их эскизы и чертежи часто создавались на пергаменте или, в исключительных случаях, на тонких шкурах [154]. Древние и средневековые архитекторы были и художниками, и

инженерами одновременно. Сегодня цифровая архитектура объединяет эти два элемента воедино, позволяя архитекторам создавать конструкции, которые являются произведениями искусства и техническими шедеврами.

Когда архитектурная профессия стала специализироваться в конце XV века, методы архитектурного черчения также стали более совершенными. Это было необходимо для того, чтобы строитель мог точно следовать чертежам и строить здания согласно намерениям архитектора.

Создание графических изображений человеком относится к самым ранним этапам развития общества. Очень давние рисунки, настенная живопись и папирусы свидетельствуют о том, что древние цивилизации обладали некоторыми навыками в области чертежа [70, с. 191]. Из статьи авторов Поморов С.Б., Прохоров С.А., Шадуриной А.В. «Дизайн: от наброска до компьютерных технологий. Компьютерная техника в дисциплине "Живопись"» можно понять, что современное архитектурное образование развивается от междисциплинарного подхода, от интеграции искусства технологии, в процесс изучения и понимания пространства. В этом живопись представляется как средство познания мира и как ключ к развитию более глубокого и творческого подхода к архитектуре. Это взаимодействие наук и искусств способствует оптимизации учебного процесса и развитию комплексного восприятия пространства у будущих архитекторов [163, с. 58].

В самом начале исторической эпохи, в архитектуре Древнего Египта, начиная с 2500 года до н.э., произошло значительное развитие использования колонн, античного ордера и арочных конструкций. Это были ранние примеры архитектурных инноваций, которые отражались в чертежах и записях, созданных на различных материалах. В эпоху Римской Империи (с 27 года до н.э. до 476 года н.э.), архитекторы стали уделять больше внимания планированию городов и централизованным системам отопления, что также отражалось в их проектах и чертежах [93]. Термин «архитектурная графика» появился в XVIII- XIX веках и связан с академическими школами архитектуры, где мастера и обучающиеся создавали чертежи и рисунки [56, 154]. Эти примеры архитектурной графики указывают на важность визуализации в архитектуре и становления профессионального проектирования. По мере развития архитектуры и инженерии, изображения становились все более сложными и детализированными. Например, в России чертежи зачастую ограничивались масштабными планами без указанных на них размеров, пока Пётр I не ввёл практику создания чертежей в масштабе. С середины XVIII века архитекторы М. Земцев и Ф. Аргунов начали включать в свои чертежи планы, фасады и общие виды, представляя более полное и детализированное представление о предлагаемых строениях [154].

Архитектурные школы с XVI-го века начали систематически подготавливать архитекторов, внедряя новые методы чертежа. Европейские академии разработали различные техники, включая тушевую отмывку и штриховой рисунок. В 1795 году во Франции вышла первая книга по начертательной геометрии, что повлияло на стандарты чертежей. Математик Гаспар Монж особенно сыграл роль, развив теорию ортогональных проекций в

XIX веке [154]. Современная архитектурная графика использует разнообразные инструменты, от рапидографов до компьютерной графики. Однако ключевыми остаются техническая точность и художественная выразительность [55, 154].

В середине XIX века архитектурное черчение начинает развиваться вместе с развитием науки и техники. Появляются первые учебники по архитектурной графике, начинается систематическое обучение этой дисциплине в архитектурных вузах. Особенно важным событием становится создание в 1810 году в Париже первой в мире школы черчения - Эколь де Жансона («Школа Жансона»).

В XX веке с развитием техники и науки появляются все новые технологии черчения. В первую очередь, это черчение с использованием различных материалов: от туши, графитового карандаша, пера до карандаша на масляной основе. Затем появляется черчение с использованием компьютерных технологий, которое облегчает работу архитектора и позволяет ему работать над проектами больших размеров и сложности.

Одним из важнейших моментов этого периода был манифест «Пять основных принципов архитектуры» (1926 год), опубликованный Ле Корбюзье. Эти принципы включали в себя: поддержку зданий на «ножках» или столбах, свободное планирование, свободные фасады, горизонтальные окна и крышу-террасу. Это представление архитектуры помогло сформировать новый подход к проектированию и черчению, отражающий идеалы модернизма. В этот же период происходило интенсивное развитие науки и техники, что привело к созданию новых материалов и технологий строительства. Это в свою очередь способствовало появлению новых форм и стилей в архитектуре. Весь этот период можно назвать «золотым веком» архитектуры, так как он был отмечен высочайшими достижениями в культуре, науке и других областях человеческой деятельности [111 р. 8-9]. Это время привело к значительным изменениям в архитектуре, которые влияют на него и сегодня. Проектирование и черчение зданий стали более сложными и продвинутыми процессами, требующими не только технических навыков, но и креативного подхода [52, с. 68].

Развитие компьютерной техники и появление компьютеров в середине 1950-х годов способствовали разработке систем автоматизированного проектирования (САПР) и чертежных программ, таких как Sketchpad. Последовали многочисленные компьютерные решения, включая Calma Cad, Pro E, Gehry Technologies, AutoCAD и другие, которые постепенно проникают в процесс проектирования, совершенствуют его и заменяют традиционные инструменты. К концу XX-го века развиваются основы информационного моделирования зданий (BIM), что позволяет комплексно реализовывать процессы от проектирования до строительства и эксплуатации объектов.

Этапы развития вычислительной техники можно разделить на две основные категории - механический и электронный. Начальный этап включает использование механических устройств для регистрации перемещений элементов конструкции. На этом этапе применялись различные методы и инструменты, включая простые ручные приспособления, такие как палочки и глиняные пластинки с желобами и др. Сложность вычислений была

ориентирована на десятичную систему счисления. В XVII веке были созданы первые арифмометры разных конструкций, а затем появились С 1945 по 1955 годы ЭВМ работали на электровакуумных лампах, затем до 1965 года перешли на транзисторы. С 1965 по 1970 годы внедрялись микросхемы, что обеспечило программную совместимость. С 1970 года началась эра интегральных схем, которая привела к появлению персональных компьютеров. Последующие годы характеризуются использованием больших интегральных схем и развитием логического программирования и экспертных систем. Эти этапы развития вычислительной техники позволили нам лучше понять, как современные цифровые технологии в архитектуре стали возможными и как они продолжают развиваться [52, с. 70].

Весь процесс развития архитектуры можно рассматривать как непрерывное движение от простых геометрических и математических концепций к сложным философским и технологическим идеям. Изначально архитектура, опираясь на математику и геометрию, заложила основу для создания гармоничных и сбалансированных пространств, которые отвечали её первоначальным функциональным задачам. Однако с течением времени, и в частности, с развитием современных технологий, архитектура стала все более динамичной и многослойной. Это привело к появлению новых, более сложных и динамичных форм, в которых инженерные и эстетические аспекты сливаются в единое целое. В современном мире архитектура уже не только искусство строительства, но и форма интеллектуального выражения. Она позволяет рассматривать здания как «живые организмы», подверженные изменениям и способные адаптироваться к сложным условиям внешней среды. Эти знания легли в основу современной цифровой архитектуры. Теперь компьютерные программы, использующие сложные математические алгоритмы, позволяют архитекторам создавать сложные вычислительные просчеты, которые превышают во всех рутинных задачах, что невозможно было бы сделать вручную.

Таким образом историческое развитие цифровой культуры в архитектуре показывает растущую зависимость и использование цифровых технологий в архитектурном проектировании и формообразовании. «От рисунков, чертежей, кульмана к цифровизации в архитектуре». Шкала, отражающая эволюцию архитектурных методик и технологий: начиная с времен догосударственных организаций древних обществ, через развитие древних культур, средневековье и Возрождение, период промышленной революции и индустриализации XVIII-XX веков, эпоху урбанизации с появлением компьютерного проектирования в архитектуре и строительстве, до современности с использованием технологии BIM и принципов устойчивой архитектуры. Компановка иллюстрации представляет собой синтезированный обзор прогресса человечества в области строительства и архитектуры, отражающий инновации в инструментах и методах — от примитивных орудий труда до сложных чертежных инструментов и программного обеспечения. Полоса эволюции, простирающаяся слева направо, отображает временную шкалу и указывает на корреляцию между архитектурными стилями и технологическими достижениями, сопутствующими

каждому этапу. Исследование подчеркивает не только визуальное разнообразие архитектурных структур, но и глубокое понимание того, как инструменты и технологии влияли на формирование архитектурного искусства на протяжении истории. Иллюстрация наглядно демонстрирует, как развитие инструментов и технологий повлияло на формы и функции архитектурных объектов. Где понимание взаимосвязей между технологическими инновациями и архитектурными формами позволяет увидеть, как каждый новый этап развития инструментов и методов проектирования вел к изменениям в архитектурных и строительных проектах. Это подчеркивает, что архитектура — не только искусство или наука о зданиях, но и отражение общественного и технологического контекста эпохи [165-208] (рисунок А.1, Приложение А).

## **1.2 Предпосылки использования цифровых программ в процессе архитектурного проектирования**

История развития цифровых программ и компьютерных технологий тесно взаимосвязаны с трудами Пифагора. Это числа – цифры. «Числа правят миром» также из версии «Числа – основа и начало всякой вещи», в этом суть каждого явления может быть записана в цифровом ряде [42, 209].

Математический подход Пифагора и его школа сделали значительный вклад в развитие математики, включая идею о том, что числа и их отношения могут использоваться для объяснения реального мира. Пифагорейцы впервые выдвинули вопрос и числовой структуре создания мира. Развитие математического мышления и логики с тех пор служило основой для последующего возникновения цифровых технологий. Это был важный шаг на пути к созданию формальной логики и исчисления, которые лежат в основе цифровых программ. Отсюда корнем цифровизации является числа, ныне переросло в кодирование. Кодирование представляет собой процесс создания цифрового кода или скрипта с целью реализации конкретного алгоритма [210]. Пифагор имеет непосредственного отношения к математике, которая является одним из фундаментальных элементов цифровизации. Кроме того, Пифагорейский треугольник и теорема Пифагора имеют широкое применение в различных областях, включая компьютерную науку и технологии. Таким образом, Пифагор сыграл важную роль как предтеча в развитии цифровизации и технологического прогресса. В этом пифагорейская программа, являясь как основа развития математики, соединяет сегодняшний мир с прошлым [42, 211]. Одним из самых из ключевых уроков, полученных от древних цивилизаций Египта и Рима, заключается в ценности математики и геометрии [212], лежащее в основе цифровизации, находят корни в работах Пифагора и последующей пифагорейско-платоновской и евклидовой геометрии. Это повлияло на развитие компьютерного проектирования и архитектуры. Современные тенденции, основанные на неевклидовой геометрии, приносят новые формы и структуры, отходя от классической симметрии [152, р. 132].

Основоположник системы формальной логики Аристотель, проложил сущность информации, что стало важной предпосылкой для создания алгоритмического мышления, необходимого для программирования. Несмотря

на то, что античные механические устройства, такие как антикитерская механика, были далеки от современных компьютеров, они демонстрировали возможность автоматизации сложных расчетов с помощью механических средств. Это самый древний образец аналогового вычислительного устройства, первой моделью Солнечной системы, механическим планетарием и звездными часами. Прибор служит не только календарем, но и инструментом для астрономии, метеорологии, образования и картографии [134, p. 189-190].

В течение средневековья и Нового времени происходило непрерывное развитие математики в недрах различных областей науки. В частности, вклады таких ученых, как Исаак Ньютон и Готфрид Лейбниц, в развитии исчисления, были критически важными для создания математического основания цифровых программ.

Изобретение механических и, позднее, электрических машин во время промышленной революции открыло путь к созданию первых вычислительных машин. В середине XX века были созданы первые электронные цифровые компьютеры, что стало отправной точкой для развития цифровых программ [72, с. 72-74].

С целью более полного и глубокого понимания современной цифровой культуры в архитектуре, необходимо проследить основные предпосылки, приведшие к использованию цифровых программ в процессе архитектурного проектирования. В первую очередь стоит отметить технологические прорывы, которые имели место в послед

Развитие вычислительной техники, начиная с персональных компьютеров и заканчивая мощными работающими в облаке серверами, способными обрабатывать огромные объемы данных, стало фундаментом для возникновения и развития цифровых программ в архитектуре. К концу XX века, с появлением AutoCAD и других векторных программ [213], возможности архитекторов стали еще более обширными. Векторные программы позволили создавать более точные и детализированные чертежи, упрощая процесс проектирования и повышая производительность. Такие программы могут автоматически обновлять все связанные чертежи при внесении изменений в проект, что еще больше ускоряет рабочий процесс.

Прогресс в области программного обеспечения, особенно в области CAD (Computer-Aided Design) с появлением CATIA (англ. Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) от Dassault Systemes привел к тому, что архитекторы смогли воспроизводить и визуализировать более сложные и инновационные конструкции, от линейного к нелинейным системам [214].

В 1970-х годах математик Бенуа Мандельброт внес существенный вклад в развитие теории нелинейности, предложив концепцию фрактальной геометрии. В своей работе «Фрактальная геометрия природы» он приводит примеры фракталов в различных нелинейных динамических системах. Впоследствии, эти идеи стали основой для развития новых направлений в архитектуре, позволив

архитекторам создавать более сложные и динамические формы, что стало возможно благодаря применению цифровых технологий.

Исследование В.Э. Волынского «Информационно-технологические методы проектирования в архитектурном формообразовании» подчеркивает адаптацию архитектуры к технологическим и социальным трендам. Автор отмечает промежуток времени с 1970-х годов, когда началось активное внедрение компьютерных технологий в архитектурное проектирование, что позволило развивать новые методы создания зданий — геометрические, параметрические и алгоритмические. В исследовании обсуждается необходимость обновления архитектурных подходов с учетом экологической устойчивости и интеграции компьютерных инструментов в учебные программы, что становится ключевым для разработки архитектурных решений, отвечающих современным и будущим потребностям [156, с. 23-25].

С развитием ЭВМ в середине и конце XX века [215, 216], появилась возможность использования компьютерного моделирования в архитектуре. Инженеры и архитекторы начали использовать программы для создания точных чертежей и дизайнов на компьютерах. Это значительно упростило процесс и позволило архитекторам быстро делать изменения и корректировки без необходимости перерисовывать весь проект вручную.

Социальные и культурные изменения также сыграли свою роль. Рост глобализации и ускорение обмена информацией стимулировали использование цифровых технологий в архитектуре, позволяя архитекторам из разных уголков мира обмениваться идеями и технологиями, а также сотрудничать в режиме реального времени. Экономические факторы тоже стали важными предпосылками. Цифровые технологии позволяют экономить время и ресурсы, автоматизируя ряд процессов и улучшая качество работы, что в конечном итоге приводит к сокращению затрат. Таким образом, совокупность технологических, социальных, экономических и культурных изменений обусловила использование цифровых программ в архитектурном проектировании. Однако важно понимать, что эволюция продолжается, и новые тенденции и инновации продолжают появляться, неизменно оказывая влияние на архитектурную среду. Понятие нелинейности охватывает феномены, которые нельзя описать или объяснить линейными методами [48, с. 165-167]. Это является фундаментальным свойством цифровой архитектуры, которое находит свое воплощение в различных стилях и направлениях, таких как параметрическая архитектура, конструктивизм, блобиктура и др. Последний важный этап в развитии цифровых технологий в архитектуре - переход к использованию сложных 3D-моделей. Программы, такие как SketchUp, Revit и Rhino [217], позволяют архитекторам создавать детализированные трехмерные модели своих проектов. Это не только предоставляет более полное представление о конечном проекте, но также позволяет проверить различные аспекты дизайна, такие как освещение, вентиляция и энергоэффективность, еще до начала строительства.

Во времена четвёртого поколения компьютеров, с 1970-х до начала 90-х, период, известный как эра «Компьютерного дизайна», оказал значительное влияние на развитие деконструктивизма. Важными примерами того времени являются работы Питера Айзенмана, проекты студии Соор Himmelb(l)au, ранние работы Захи Хадид, серии проектов Фрэнка Гэри и Даниэля Либескинда. В то же время, такие мастера, как Фрай Отто, Тойо Ито, Грег Линн, Майкл Хансмайер и другие, ставшие цифровыми новаторами, внесли значительный вклад в поднятие цифрового образования на новый уровень.

В теории и философии данного направления ключевые вклады внесли Чарльз Дженкс, Джеффри Кипнис, Патрик Шумахер, И.А. Добрицина и другие. Их подходы к анализу нелинейности и параметризма являются важным источником понимания этих концепций. Все эти исследователи развивали мышление в области архитектуры в контексте быстрых изменений в области культуры, науки и технологий, ставя под вопрос ключевые проблемы цифровой архитектуры.

В последующем развитии понятия «нелинейная архитектура» привело к появлению нового подхода, соединяющего в себе различные направления, такие как параметром<sup>1</sup>, виртуальная архитектура, цифровая архитектура organites и другие. В результате возникли новые стилистики, опирающиеся на уже существующие течения, такие как метаболизм, хай-тек, бионика, структурализм, органическая архитектура [76].

Исследование А.Александра посвящено Гибридной среде архитектурного проектирования (ГСАП), которая сочетает в себе традиционные и современные методы проектирования, включая использование виртуальной реальности. ГСАП расширяет рабочее пространство архитекторов, интегрируя цифровые технологии и создавая новые возможности для генерации идей. Она учитывает не только физическое пространство, но и психологические и социальные аспекты проектирования, способствуя более глубокому взаимодействию между реальным и цифровым мирами. ГСАП характеризуется гибкостью и способностью отслеживать изменения в проектах, что облегчает сотрудничество и понимание между участниками. Компьютеры в этой среде помогают улучшить взаимодействие и творческие процессы. Однако для улучшения качества проектирования необходимо больше, чем просто технологии; требуется их интеграция в мультидисциплинарные процессы в рамках ГСАП. Это позволяет создавать более комплексные и глубокие архитектурные проекты [160, с. 41-42].

---

<sup>1</sup> Как описал один из основоположников и теоретиков стиля, Патрик Шумахер: параметризм – это стиль нашей эпохи. В нем каждый элемент архитектуры становится мягким, пластичным, податливым и адаптируемым к множеству различных обстоятельств, которых требует наш мир. В нем мы применяем новые технологии, роботизированное производство, 3D-печать и т.д. Таким образом мы отвечаем миру на его требование новых сложных динамических форм. Быстрая обработка информации, которую нам могут позволить только машины, – вот на чем основан этот стиль. ARTARCH ИНТЕРВЬЮ НОВОСТИ. (2021). Патрик Шумахер: «Прогресс достигается теми, кто идет на риск». <https://mperspektiva.ru/topics/patrik-shumakher-progress-dostigaetsya-temi-cto-idet-na-risk/> 17.10.2023.

Ключевым аспектом цифровой архитектуры является ее способность к трансформации. Цифровая технология интегрировалась в архитектуру, привнося в неё новые подходы и возможности. Этот процесс нелинейной трансформации и адаптации, является классическим явлением в цифровой архитектуре [48, с. 382].

С появлением компьютерного проектирования в середине XX века архитекторы получили возможность создавать более точные и детализированные проекты. Это позволило увеличить производительность, сократить время на проектирование и уменьшить количество ошибок. Цифровые технологии существенно повлияли на стили и формы в архитектуре. Поскольку компьютерные системы позволяют архитекторам моделировать и визуализировать свои проекты с большей детализацией и точностью, они смогли экспериментировать с более сложными и динамичными формами, которые ранее были недостижимыми [65, с. 194].

Теории вычислительных алгоритмов развивались в работе таких ученых, как Алан Тьюринг и Джон фон Нейм, являясь фундаментальной областью информатики, которая изучает способность различных типов машин и алгоритмов решать проблемы и выполнять вычисления. В 1936 году Алан Тьюринг опубликовал статью, в которой представил концепцию машины Тьюринга - абстрактного вычислительного устройства, которое может моделировать логику любого алгоритма. Машина Тьюринга стала основой для развития современных цифровых компьютеров.

По классам сложности и «Проблема остановки», Тьюринг также доказал, что существуют проблемы, которые не могут быть решены ни одним алгоритмом, и ввел понятие классов сложности, что послужило основой для развития теории сложности в вычислительной науке. В 1948 году Клод Шеннон опубликовал статью «Математическая теория связи», где ввел понятие «бита» как основной единицы информации и разработал основы теории информации. В 1950-е и 1960-е годы были разработаны теории формальных языков и автоматов, которые стали основой для разработки и анализа компьютерных алгоритмов и программ. В 1970-е годы были определены основные классы сложности, такие как P (проблемы, которые могут быть эффективно решены на детерминированной машине Тьюринга) и NP (проблемы, решение которых может быть проверено за полиномиальное время). Открытый вопрос о том, равны ли P и NP, остается одной из самых известных нерешенных проблем в теоретической информатике [20].

Ключевые понятия, иллюстрирующие влияние цифровых технологий на стили и формы в архитектуре. Деконструктивизм и параметрический дизайн. Эти два стиля, которые возникли в конце XX и начале XXI веков, во многом стали возможными благодаря использованию цифровых технологий. Деконструктивизм характеризуется нелинейностью, сложностью и непредсказуемостью форм, которые стали возможными с использованием программ 3D-моделирования. Параметрический дизайн использует алгоритмы

для создания сложных, часто органических форм, которые ранее были невозможны. Ведь цифровое производство с появлением технологий цифрового производства, таких как 3D-печать и компьютерно-числовое управление (CNC), архитекторы получили возможность реализовывать сложные дизайны, которые ранее были нереализуемы. Это позволило создавать более сложные и необычные формы, отражая индивидуальность и креативность архитектора. Подходы «Виртуальная и дополненная реальность» предоставили архитекторам новые способы визуализации и представления своих проектов. С их помощью можно создавать более погружающие и интерактивные презентации, позволяющие зрителям полнее ощутить масштабы и пространственные отношения в предлагаемых проектах. При помощи компьютерного моделирования, в направлении «Биомиметика и биоинформатика», использование цифровых технологий позволило архитекторам исследовать новые подходы, вдохновленные природой. Также, цифровые технологии сильно повлияли на социокультурные аспекты архитектуры, включая дополненную и виртуальную реальность, которые меняют взаимодействие людей с архитектурным пространством. Например, виртуальные туры по зданиям или городам становятся все более популярными, а дополненная реальность позволяет добавить цифровой контент в реальное пространство, углубляя взаимодействие и переживания. Цифровые технологии также повышают доступность архитектуры. С помощью технологий виртуальной реальности, люди, которые физически не могут посетить определенные места, могут виртуально исследовать эти пространства [51, с. 2-4]. Кроме того, цифровые технологии облегчают участие сообщества в процессе проектирования, поскольку люди могут легко поделиться своими идеями и обратной связью через онлайн-платформы. Также позволяют создавать новые формы культурного наследия [110]. Например, 3D-сканирование и моделирование используются для документирования и сохранения исторических зданий и мест, которые могут быть под угрозой разрушения. Цифровые технологии могут способствовать устойчивости в архитектуре, поскольку позволяют архитекторам лучше моделировать и понимать воздействие зданий на окружающую среду, включая их энергетическую эффективность и влияние на микроклимат.

Цифровизация является инициатором глобализации в архитектуре, и не только, поскольку через интернет на уровне цифровизации мир обменивается информацией, отсюда ассимилируются ценности и культуры. В этом цифровизация существенно изменила культуру труда в архитектурном проектировании, где отражением выходит несколько ключевых аспектов влияния. Технологии VR и AR позволяют пользователям проектировать и визуализировать проекты на интерактивном виртуальном уровне. С помощью метода VR и AR проект может быть представлен как можно ближе к завершению с объектами, которые физически недоступны. Актуальность виртуальных туров по этим зданиям, городам или историческим местам становится интересным развлечением. AR позволяет размещать проектируемые объекты в четко спланированном месте, расширяя взаимодействие с архитектурой [49, с. 33].

Если говорить о будущем - умные города будут работать на цифровом уровне. Буквально как «умная технология» автоматизация управления инфраструктурой играет роль на городском уровне. Будучи умным городом человечества, переступает на другой уровень образа жизни, который может соответствовать критериям устойчивой архитектуры, где технологии действуют с максимальной эффективностью, с минимальными затратами ресурсов. Различные виды искусство и инсталляции, такие как звуковые, динамические и другие цифровые композиции в искусстве могут влиять на архитектурное пространство. Это может вызвать совершенно разные типы изображений и взаимодействий с архитектурным пространством. Фактически, этот этап представляет собой очевидное взаимодействие с оцифровкой, когда различные гаджеты и приложения взаимодействуют с архитектурными формами и их пространствами не только на техническом уровне, но и на социокультурном уровне [72, с. 73].

В этом, цифровая культура в архитектуре формируется как расширитель возможностей и вызовов, от которых она технически зависит. В этом, искусственный интеллект и машинное обучение могут быть одним из инструментов автоматизации и оптимизации процессов проектирования и производства. Адаптация к технологии BIM и 3D-печати революционизирует строительство, делая его более эффективным и устойчивым на этапе проектирования. В совокупности эти инструменты также могут сделать процесс проектирования универсально доступным для широкой публики на различных платформах. Несмотря на прогресс, они влекут за собой столкновение с технологической зависимостью, безопасностью и конфиденциальностью данных, особенно если в контексте умных зданий и городов [72, с. 75]. Отсюда может вытекать неравенство в доступе к технологиям. Хотя цифровые технологии могут облегчить участие, но они также могут усилить неравенство, если доступ к ним ограничен или отсутствует у определенных групп населения. Поскольку, в связи с сложностями и стоимостью не все архитекторы или строительные компании могут позволить себе использовать последние цифровые технологии, что может стать барьером для их широкого применения. Ведь цифровые технологии быстро развиваются, и потребуется время и ресурсы для обучения и адаптации к ним со стороны архитекторов и других участников строительного процесса. Это может представлять собой вызов для архитекторов и других участников проектировщиков, особенно в развивающихся странах.

Центральной проблемой цифровизации в современной архитектуре были на ремесленном уровне до начала 2000-х. В появившихся BIM-программах, акцент в ценности проекта постепенно переходит на «информативность» по отношению к эстетике формы. В этом переизбыток различных видов формообразования «вытесняют» сами себя, заменяя себя же информационными ценностями. Конечно, главенствующую роль в этом процессе играет глобализация, на чью «мельницу», в данном случае и льется вода.

В период с конца 1950-х до начала 1960-х годов, процесс архитектурного проектирования обнаруживал ряд специфических особенностей. Разработка чертежей происходила вручную с использованием карандаша на листе ватмана.

Все элементы, включая аннотации, объяснительные записки, рамку и печать, проставлялись архитектором. Инструментарий, применяемый в этом процессе, представлял собой чертежную доску, направляющие с роликами, натянутые на двух нитях, угольники под углами 45 и 60 градусов, а также ряд остро заточенных карандашей различной твердости (М, ТМ, Т), и ластик. Для поддержания чистоты листа в некоторых случаях использовалась мягкая щетка. После завершения рабочего этапа, чертеж подвергался контролю, после чего был отправлен в копировальное бюро для создания реплик. Копировальные бюро были специализированными подразделениями проектных институтов, где работали копировщицы. После получения оригинального чертежа, они накладывали на него кальку и с использованием туши и рейсфедера создавали точную копию. Данный процесс требовал высокой степени точности, поскольку любые ошибки или поправки были заметны на кальке. Полученная копия считалась официальным документом, подписывалась всеми участниками проектного процесса и архивировалась. Как исторически сложилось, данный процесс был полностью ориентирован на женщин, которые создавали копии всех чертежей на кальке с использованием туши и рейсфедера.

В отделе светокопирования кальковые копии чертежей обрабатывались с использованием специализированной светокопировальной аппаратуры. Результатом данного процесса был рулон, аналогичный рулону обоев, который затем устанавливался на барабане у края большого стола и вручную разрезался на отдельные чертежи с использованием специальных ножниц. Таким образом, был создан документ, обычно имеющий синеватый или иногда фиолетовый оттенок, известный как «синька». Синьки на сегодняшний день являются редкостью и большей частью хранятся в архивах крупных проектных организаций и архивах заказчиков того времени. Чертежи 1940-1950-х годов представляли собой великолепные образцы как с точки зрения архитектурного решения, так и графического исполнения, каждый из которых можно было рассматривать как произведение графического искусства.

В конце 1960-х - начале 1970-х годов начался переход на использование «карандашной кальки» - более толстого и плотного материала, который позволял архитекторам самостоятельно создавать конечный продукт - кальку, которая затем хранилась в архиве. Это нововведение предполагало использование очень твердых карандашей, таких как Т или 2Т. С этого периода стала временем значительных изменений в проектировании, поскольку были введены новые технологии размножения чертежей. Несмотря на то, что эти преобразования были технического характера, они существенно повлияли на рабочий процесс архитектора. В крупных проектных организациях начались массовые внедрения специальных устройств, способных производить черно-белые копии прямо с ватмана. Полученные таким образом копии на белой бумаге или кальке стали известны как «РЭМ-копии». Следовательно, конечным результатом работы архитектора стал черно-белый чертеж.

Этот технологический скачок предоставил новые возможности для декоративного оформления чертежей. Некоторые архитекторы даже использовали шаблоны для тиснения основных надписей и заголовков, впервые

позволяя чертежам отражать «авторский почерк» и архитектурный стиль создателя. С целью ускорения процесса и упрощения длинных рукописных объяснений, тексты начали печатать на пишущей машинке и прикреплять к чертежу. Позже такой подход стал применяться и для штампов, которые также печатались отдельно и приклеивались к чертежу.

В целом, новые технологии предоставили возможности, о которых раньше только мечтали архитекторы. Завершенный чертеж на ватманах стал основой для создания РЭМ-кальки, которая затем подписывалась и отправлялась в архив. Однако, этот этап стал постепенно сходить на нет с появлением компьютеров в проектных организациях.

Точное определение момента окончания «этапа чертежей» и начала «компьютерной эры» затруднено, поскольку переход происходил неравномерно и в разное время в различных местах. Во многих случаях рукописные чертежи и компьютерная графика сосуществовали в течение многих лет.

Переход к использованию компьютеров не произошел быстро и беспрепятственно, как многие могут предположить. Внедрение новой технологии было долгим и трудоемким процессом. Изначально специалисты в области информационных технологий, прибывавшие в проектные организации, утверждали, что компьютеры могут автоматически создавать все проекты, превосходя в этом человека. Однако вскоре стало ясно, что чертежи все равно требуют внимательного ручного создания на компьютере, но уже с использованием специализированных программ и ввода данных с помощью «мышки». Этот процесс требовал значительных трудозатрат и занимал больше времени, чем классическое рисование [90].

Кроме того, для работы с новыми технологиями сотрудникам требовалось обучение. Итак, можно утверждать, что 1990 год отмечает начало перехода к компьютерному проектированию, хотя эта дата остается условной. Ведь существовали проектные организации, где уже в 1990 году все сотрудники работали на компьютерах, в то время как в других организациях даже в 2000 году на десять сотрудников приходился лишь один компьютер. Если мы говорим о конкретной дате начала этого переходного этапа, то период адаптации занял примерно десять лет, с 1990 по 2000 год. С начала 2000-х годов, компьютерное проектирование стало доминирующим в проектных организациях, где 95% сотрудников включались в работу с использованием компьютерных технологий. Однако, в этом процессе ключевую роль играли архитекторы, которые всю жизнь работали с использованием традиционных методов проектирования и внезапно столкнулись с необходимостью перехода к компьютерному дизайну.

Данная трансформация требовала не только освоения навыков работы на компьютере, но и перестройки мышления под стандарты компьютерных технологий. Несмотря на значительное влияние цифровизации, многие проектные компании продолжают работать по старой схеме: опытные архитекторы создают эскизы и прорабатывают основу будущего здания на ватмане, после чего молодые помощники, оснащенные компьютерами, преобразуют эти концепции в окончательные чертежи с использованием специализированных программ. Важность изучения истории и предпосылок

использования цифровых программ в архитектуре не может быть недооценена. Это помогает нам лучше понять текущую ситуацию в этой области, а также предсказать возможные тенденции и направления её дальнейшего развития. Использование цифровых программ в архитектурном проектировании сегодня является неотъемлемой частью процесса, поскольку они облегчают визуализацию, моделирование и внедрение сложных проектов.

С течением времени, значительные изменения произошли в проектных организациях, большие компании рассыпались, уступив место множеству мелких проектных фирм. Молодые архитекторы, которые с детства воспитывались в эпоху компьютеров, выросли и заняли свое место в отрасли. Но, не исключение если будет представлено двадцать проектов, все из которых, за исключением одного, были созданы с использованием компьютеров. Один проект, выполненный вручную с помощью традиционных инструментов архитектурной графики, выделялся на фоне серой массы бездушных компьютерных чертежей своей графической прямолинейностью [90].

Современное архитектурное проектирование все больше основывается на использовании цифровых технологий. Под «цифровой культурой» в архитектуре понимается применение компьютерных технологий для проектирования, моделирования, визуализации, а также для производства и конструирования зданий. Это отражается в трех ключевых предпосылках, определяющих данный процесс. Во-первых, цифровые программы позволяют оптимизировать и автоматизировать процесс проектирования, что ведет к сокращению ручного труда и минимизации ошибок. Во-вторых, цифровые инструменты обеспечивают возможности для визуализации проектов в трех измерениях, упрощая восприятие и интерпретацию архитектурных идей. В-третьих, цифровые программы обладают способностью к интеграции с другими инструментами и технологиями, что позволяет создавать более эффективные рабочие процессы. Тем не менее, использование цифровых программ требует специализированного обучения и адаптации, что является еще одной важной предпосылкой в этом контексте.

Таким образом, архитектура эволюционировала от простых математических принципов симметрии и пропорций к сложным, динамичным формам, обусловленным цифровыми технологиями. От «золотого сечения» Пифагора до современных нелинейных архитектурных форм, каждый этап развития отражает интеграцию математических идеи и инженерных инноваций в архитектурное творчество. Подытоживая данный раздел, можно сказать, что, цифровая культура в архитектуре имеет прямые отсылки к истории проектирования и строительства, внедряя принципы, усвоенные из древних цивилизаций и эпохи Средневековья. Благодаря чему, в век цифровой архитектуры, мы все ещё извлекаем уроки из прошлых эпох и цивилизаций. Вместе они формируют общую архитектурную цивилизацию человечества, которая продолжает развиваться и прогрессировать. В этом цифровая культура в архитектуре имеет ряд предпосылок:

VI в. до н.э. - работы Пифагора сосредоточиваются на математических закономерностях и симметрии. Это приводит к пониманию таких феноменов, как

«золотое сечение», которое долгое время использовалось в архитектуре для создания гармоничных пропорций;

VI в. до н.э. – идеология Пифагора развивает концепции правильных многогранников, которые также нашли применение в архитектуре;

III в. до н.э. - Евклидова геометрия сохраняет и развивает эти концепции, применяя их не только в культовой, но и в светской архитектуре [155, с. 66], например, в развитии вогнутых пространств;

XVII в. н.э. - интерес к пифагорейским идеям угасает, но геометрия Евклида остается влиятельной. Это ведет к сложным геометрическим формам и инновациям в сочетании инженерии и архитектуры;

Конец XX в. н.э. - появление компьютерной геометрии позволяет архитекторам и инженерам создавать более сложные и футуристические формы, сочетая функциональность, конструктив и эстетику. Это эра начала цифровой архитектуры;

XI в. н.э. - нелинейная система в архитектуре развивает эти идеи еще дальше, применяя концепции, такие как «теория складок», «теория потоков» и «аморфность форм», чтобы рассматривать здания как «живые организмы», подверженные постоянному изменению [209-214] (рисунок А.2, Приложение А).

Исходя из вышеизложенных, цифровая культура в архитектуре обусловлены различными предпосылками и аспектами. С одной стороны, технологический прогресс в виде развития вычислительной техники и программного обеспечения, таких как AutoCAD, Rhino и Revit, позволяет архитекторам проводить более сложные расчеты и моделирование. С другой стороны, интернет и облачные технологии способствуют коллективной работе и конкуренции на международном уровне. Экономические аспекты тоже играют свою роль: цифровые инструменты могут существенно ускорить и удешевить процесс разработки проектов. Социальные и культурные факторы, такие как изменение потребностей и вкусов, а также образовательный аспект, тоже влияют на распространение этих технологий. Также, экологические и правовые факторы начинают играть все более значимую роль, поскольку страны вводят законы, обязывающие использовать стандартизации цифровых технологии для создания более устойчивых и экологичных зданий [215-226] (рисунок А.3, Приложение А).

### **Выводы по первому разделу**

1. Проанализирована эволюция влияния технологии проектирования на создание архитектурного образа в исторической перспективе. На временной шкале отчетливо виден переход от простейших инструментов к современному программному обеспечению и его влияние на архитектурное формотворчество. Таким образом, каждый этап технологического прогресса влиял на архитектурные формы, в этом отражались, помимо прочих, технологические изменения эпохи.

2. Определено понятие «цифровой культуры» в контексте архитектурного формообразования. Предпосылки цифровой культуры в архитектуре были прослежены, начиная от времен Пифагора до современности. Обозначены

ключевые моменты начала использования компьютерных технологий в архитектуре, рождение и развитие систем автоматизированного проектирования (CAD). В этом контексте история развития цифровой культуры в архитектуре показывает, как технологический прогресс влияет на эту область и как архитектура в свою очередь влияет на развитие технологий.

3. Проанализированы предпосылки и факторы, способствовавшие интеграции цифровой культуры в архитектурное формообразование. Отмечены изменения в проектировании в контексте использования цифровой культуры, особенно в аспекте технологических инноваций.

## **2 МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

В данном разделе рассматриваются основные механизмы и факторы, влияющие на процесс формообразования в архитектуре в контексте применения цифровых технологий. Подраздел 2.1 освещает процесс интеграции цифровых технологий в архитектурное проектирование, выявляя особенности и преимущества такого «встраивания». Подраздел 2.2 акцент делается на внешних влияниях и условиях, которые воздействуют на цифровую архитектуру, включая технологические, экономические, образовательные и культурные аспекты. Подраздел 2.3 делает упор на функциональные возможности, методы и процессы, используемые в цифровой архитектуре, включая параметрическое моделирование, алгоритмическое проектирование, BIM и другие. Выводы по разделу суммируют основные механизмы и факторы, определяют векторы развития цифровых технологий в архитектурном формообразовании.

### **2.1 «Встраивание» цифровых технологий в архитектуру**

На сегодняшний день технологическое развитие протекает с огромной скоростью. Изменения не обходят стороной и процессы архитектурного проектирования. Стремительный прогресс в сфере компьютерных технологий подразумевает внедрение инновационных методов и инструментов, вносящих новое слово в процессы формообразования. Глобальная компьютеризация привносит в профессиональное образование и архитектурное проектирование новую методологию, базирующуюся на инженерном подходе. Появляется все больше различных компьютерных программ, позволяющих ускорить и облегчить процессы проектирования. Помимо этого, меняются эстетические и функциональные требования к архитектуре.

Применение цифровых технологий в архитектуре имеет как философские, так и технические аспекты. Философский аспект рассматривает влияние технологии на дизайн и функциональность пространства, а также её социокультурное значение. С технической стороны, внимание уделяется методологии и инструментарию, такому как контроллеры и ПО. Умные дома, оснащенные системами автоматического управления и интернет-подключением, служат примером такого взаимодействия.

Шерри Тёркл акцентирует внимание на глубоких психологических и социальных изменениях, вызванных нашей интенсивной взаимосвязью с цифровыми технологиями. Её исследования в области компьютерно-поддерживаемой коммуникации освещают, как цифровые технологии влияют на личные отношения, образование и самопонимание человека. В контексте архитектурного формообразования, её подход может осветить, как цифровые пространства и физическая архитектура могут быть переплетены, чтобы отражать и поддерживать современные формы человеческого взаимодействия и социального опыта [14, с. 83].

Фрэнк Гери использовал программу CATIA для создания сложных и инновационных зданий, таких как Музей Гуггенхайма в Бильбао. Это привлекло

широкое внимание и способствовало культурному преобразению Бильбао. Внедрение цифровых технологий в архитектуре позволило Гери открыть новую эру в проектировании и изменить восприятие пространства [44, с. 10].

Нелинейная архитектура, являясь одним из ключевых направлений фокусируется на сложных системах с нелинейными математическими вычислениями, что позволяет лучше отражать природные формы. Эта парадигма отходит от линейных моделей, которые ближе к традиционному проектированию. Компьютеризация играет ключевую роль в этом, обеспечивая возможность работы с высокоуровневыми математическими моделями. Как подобласть архитектуры основана на сложных геометрических концепциях и ведет к созданию нестандартных, сложных структур [39]. Количество архитектурных проектов, созданных с применением современных компьютерных технологий, стремительно растет. На разных этапах проектирования компьютерные программы могут решать различные задачи в зависимости от выполняемых ими функций. На рисунке Б.1 схематично представлено влияние цифровых программ на различные аспекты архитектуры. В своих трудах Charles M. Eastman рассматривает применение цифровых технологий в архитектуре, выделяя их потенциал для оптимизации проектировочных процессов. Он подчеркивает, как компьютерные инструменты могут расширить традиционные методы архитектурного проектирования, предлагая новые способы создания и визуализации сложных пространственных структур [18, р. 11-12]. В основе его философии лежит убеждение в том, что цифровые технологии не просто инструменты, но и мощные средства для расширения возможностей архитектуры, позволяющие проектировать более адаптивные, динамичные и инновационные пространства. Его исследования и практическая работа подчеркивают значение коллаборации между дизайнерами, инженерами и специалистами в области IT, чтобы совместно создавать новые архитектурные формы и пространства [22, р.136].

Прошлые архитектурные достижения, такие как работы Ле Корбюзье и Кислера, демонстрируют долгую историю экспериментов с нестандартными методами строительства и использованием разрезов для создания сложных геометрических форм. Хотя эти методы были разработаны и внедрены долго до появления цифровых технологий, они показывают непрерывное желание архитекторов искать инновационные подходы к дизайну и строительству, что подчеркивает важность адаптации и изменчивости в области архитектуры. В этом архитектурная исследовательская деятельность активно взаимодействует с новейшими программными и технологическими инструментами для создания сложных и адаптивных дизайнов. Внедрение робототехники и параметрического дизайна, особенно в области мозаичных проектов, открывает новые горизонты в архитектурном производстве. Эти инновации подчеркивают важность постоянного исследования и экспериментирования в архитектуре для достижения новых уровней сложности и функциональности [126, р. 8].

Специальные компьютерные программы широко применяются в качестве многофункциональных средств анализа в сфере архитектурно-исторических

исследований. На сегодняшний день трехмерное моделирование решает ряд важнейших задач данной области [76; 86, с. 31-45]:

- 1) реконструирование хронологических изменений и функциональная интерпретация исследуемого объекта, позволяющая максимально точно воссоздать его внешний вид в разные периоды существования;
- 2) учет инвариантности моделей изучаемого сооружения, при помощи отбора наиболее достоверных вариантов из ряда альтернативных моделей;
- 3) возможность дальнейшего корректирования и дополнения созданной модели при появлении новых исторических данных;
- 4) использование эффекта анимации для динамической демонстрации этапов развития и объемного восприятия архитектурного объекта
- 5) размещение виртуальной модели в имитационной или реальной среде.

Полученные виртуальные модели обладают неоспоримой музейной ценностью, а также могут успешно применяться в учебном процессе. Такие трехмерные объекты дают обучающимся более полное восприятие изучаемых ими архитектурных объектов, а также позволяют использовать их как инструмент визуального анализа в текущих проектах. В то же время наглядное представление исторических памятников динамическими виртуальными моделями помогает студентам лучше понимать законы развития архитектуры и градостроительства [61, с. 112-113].

Представление современных архитектурных объектов при помощи компьютерных инструментов визуализации на сегодняшний день также широко распространено. Архитектор О. Арбель на своей выставке архитектурных материалов и форм представил несколько проектов, в состав которых входили видеоматериалы и скульптурные прикладные программы исследования материалов, появившиеся из конкретных условий каждого проекта [68]. В контексте данной выставки также была создана виртуальная копия помещений. Таким образом, люди, желающие посетить мероприятие, но не имеющие такой возможности, смогли получить опыт виртуального присутствия. Данный пример цифровой архитектуры является одним из множества случаев, когда виртуальный объект сам по себе представляется архитектурным объектом, находящимся в киберпространстве. Такие модели в некоторой степени отделяются от реального сооружения и обретают собственную культурную ценность [109, р. 39].

В своей книге «Новая парадигма в архитектуре», Ч. Дженкс обсуждает переход от модернизма к постмодернизму, подчеркивая уход от универсализма к разнообразию. Он замечает, что технологии радикально изменяют архитектурные практики, предоставляя новые инструменты для экспериментов и инноваций. Дженкс считает, что архитектура должна адаптироваться к этому технологическому прогрессу, чтобы оставаться социально и культурно релевантной. [46]. Рочегова Н.А. и Барчугова Е.В. акцентируют внимание на эмерджентности понятия «цифровой природы» в контексте слияния технологического прогресса и духовных аспектов человечества. Для них, цифровая природа стоит на стыке виртуального и реального, выступая мостом между материальной и духовной сферами жизни. Они утверждают, что цифровая

среда может служить инструментом гармонизации взаимодействия между рукотворным и духовным, при условии сохранения и углубления культурных и моральных ценностей в нашем бытии. [82].

Jon Arteta Grisalena различает вычисление и компьютеризацию, указывая что в архитектуре часто используется только последнее. Он подчеркивает, что большинство архитекторов применяют компьютеры просто как инструменты автоматизации, не задействуя их полный вычислительный потенциал для инноваций и исследований [127, р. 4-5]. Цифровая архитектура использует компьютерное моделирование и визуализацию для создания как реальных, так и виртуальных форм. Она расширяет традиционные методы воздействия на восприятие пространства, добавляя новые технологические инструменты, такие как динамические проекции и голограммы. Это смешивает киберпространство с физической архитектурой и открывает новые возможности для экспериментов [35, с. 47; 71, с. 10; 78].

Технологическое развитие позволяет в значительной мере расширить методы современного архитектурного формообразования. Формируемые проектором визуальные эффекты способны в значительной степени влиять на восприятие человеком пространства, в котором он находится. Предстающая перед ним картина необычна и не соответствует привычному виду окружения, может ломать представление о существующих законах логики, а поэтому восприниматься как нечто не похожее на то, что человек видел ранее. Некоторые создаваемые оптические эффекты способны воспроизводить в мозге человека ощущение искаженного, измененного пространства за счет игры с глубиной, объемом или цветом создаваемого изображения. Световые проекции могут формировать на белом полотне фасада как статичные, так и динамичные красочные изображения, поражающие воображение и способные вызывать различные эмоции у наблюдателя. Сегодня крайне распространено применение различных интерактивных эффектов в условиях городской среды. Помимо этого, все чаще и чаще можно наблюдать применение голограмм в современном городском пейзаже.

В целом, наблюдается формирование новой визуальной парадигмы, трансформирующей человеческое восприятие и мышление. Проводятся интересные исследования субъективных оснований средового проектирования в контексте психоделических форм и дизайнерских решений [60, с. 103]. Значимая роль в таких экспериментах отводится цифровым средствам передачи, анализа и хранения данных, благодаря которым множество рассматриваемых в исследовании идей вышли на новый уровень. В рамках психоделической архитектуры становится проще развивать новые идеи и методы, а также производить манипуляции с пластикой объектов, что непосредственно влияет на степень их эмоционального воздействия.

Учитывая вышесказанное, мы можем сделать вывод, что на данном этапе архитектура не способна меняться так быстро, как происходят структурные преобразования в самом программировании. Несмотря на огромные преимущества нестандартных объектов современной архитектуры, многие архитекторы сталкиваются с трудностями при реализации своих проектов. На

данный момент нет общего мнения каким должен выглядеть современный город и какими методами должно производиться его проектирование. В дальнейшем исследовании необходимо определить существующие методы преодоления проблем цифрового формообразования и наметить тенденции развития [67] будущей архитектуры.

Технологические инновации, являясь прогрессом в области информационных технологий, появление мощных персональных компьютеров и специализированного программного обеспечения, позволил архитекторам более эффективно и точно создавать свои проекты [227].

Исходя из данного подраздела цифровая культура в архитектуре имеет ряд механизмов и факторов, а также «Встраивание» цифровых технологий в архитектуру, переход такой возрождение можно сравнить метафорой с иконкой на основе картины Микеланджело Б. «Сотворение Адама» [228].

BIM (Building Information Modeling) следующий шаг после CAD. Позволяет создавать не просто геометрические модели, но и модели с полной информацией о материалах, технических характеристиках и других аспектах здания [230].

CAD (Computer-Aided Design) - появление компьютерных инструментов изменили метод архитектурного проектирования, позволяя создавать более сложные и детализированные модели [230].

3D-печать и роботизированное строительство, применение этих технологий в архитектуре и строительстве позволяет реализовывать сложные формы и уменьшать человеческий фактор при строительстве [231].

Современные цифровые методы проектирования: алгоритмическое и аналитическое, параметрическое [232, 233], генеративное и т.д. - с использованием программирования архитекторы могут создавать проекты, базирующиеся на определенных алгоритмах и переменных, что позволяет создавать уникальные и оптимизированные пространства [234].

Виртуальная и дополненная реальность - технологии VR и AR предоставляют новые способы взаимодействия архитекторов с их проектами и клиентами, позволяя «погрузиться» в будущее пространство еще до его реального строительства [235].

Мировая интеграция и обмен данными - интернет сделал возможным обмен опытом и данными между архитекторами всего мира, что стимулирует быстрое распространение новых идей и технологий. В том числе инструменты и платформы Big Data, Autodesk 360, формат IFC и др. [236].

Экологическое и устойчивое строительство - цифровые технологии позволяют лучше анализировать и оптимизировать энергоэффективность зданий, водопотребление и другие экологические аспекты [237]. В целом, развитие цифровой культуры в архитектуре являясь одним из понятий, сочетает в себе культурно-технологического прогресса, новых подходов к проектированию и изменяющихся потребностей общества. Эти изменения позволяют взаимодействовать в междисциплинарном подходе создавать более функциональные, устойчивые и креативные архитектурные объекты (рисунок Б.2, Приложение Б).

Таким образом, «Встраивание» цифровых технологий в архитектуру улучшает качество и эффективность проектирования, обеспечивая большую гибкость и возможности для экспериментов с формой и пространством. Цифровое формообразование является важнейшим фактором в современном архитектурном проектировании, поскольку оно предлагает более точные и сложные формы по сравнению с традиционными методами.

## **2.2 Механизмы цифровой культуры в архитектурном формообразовании**

Цифровая культура предоставляет разнообразные функциональные возможности в архитектурном формообразовании на современном этапе. В целом, цифровизация является как большая онлайн-платформа для всего существующего, где всё друг с другом взаимосвязаны. Этим делает работу более зависимы друг от друга.

Под архитектурным формообразованием принято понимать определенную организацию архитектурного объекта с учетом всех его значимых качеств. Данное понятие определяется целым рядом факторов, которые необходимо учитывать для решения задач градостроительства и архитектуры. Так, создание формы сводится к определению действующих сил, ограничений, устойчивых связей и взаимообусловленностей [89, с. 192].

Архитектурное формообразование позволяет создавать объекты на основе требований к их свойствам и функциональным возможностям. Связанные между собой посредством формы и структуры элементы архитектурного объекта образуют собой целое, обеспечивающее корректное функционирование сооружения. Особенности архитектурной формы являются ее физические и геометрические характеристики, специфика работы несущих частей, а также организация используемых материалов. По мнению автора, К.И. Самойлов рассматривает современную архитектуру не просто как выполняющую функциональные задачи, но и как стремящуюся к созданию смыслового и культурного контекста. В этом контексте многообразие и сложность объединяют в себе современные технологии и материалы - хай-тек, интеллектуальную глубину, а также отражают и переосмысливают предыдущие архитектурные стили - Деконструктивизм и Конструктивизм [86, с. 7-48].

Одним из процессов архитектурного формообразования служит композиция, возникающая как результат формирования связей между конструкцией и формой и подчиняющаяся определенным правилам тектоники. Согласно А. А. Веснину, под архитектурной тектоникой следует понимать закономерности построения пространства [36, с. 38]. Стоит также обозначить вытекающее из сказанного выше понятие архитектоники как описание структурных закономерностей, определяющих структуру здания [62].

Под цифровым морфогенезом понимается процесс формообразования с применением вычислительной техники [130, р. 124]. Данный метод подразумевает использование ряда компьютерных средств проектирования для создания и адаптации формы объекта. В рамках цифровой архитектуры

цифровая тектоника является прямым аналогом традиционной архитектурной тектоники. Однако, это новое понятие дополнительно включает в себя области цифрового формообразования, в том числе имитации, автоматизированное конструирование, морфогенез. Цифровая тектоника сегодня включает в себя огромное количество методов моделирования объектов архитектурного дизайна повышенной сложности.

В последнее время в пространстве архитектурного формообразования появилось множество инновационных феноменов, которые прежде были недоступны в связи с недостаточной технологической развитостью цивилизации. В архитектурном языке всегда существовал значительный разрыв между понятиями механического и электронного. И если в механическом мире действия не совпадают во времени, исходы не predetermined, а реакция отстает от стимула, то в электронном мире действие и противодействие одновременны, эффекты определены сразу, а время и пространство не учитываются.

В современной архитектуре цифровое формообразование выделяется как специфический этап проектирования. Это направление активно использует компьютерные технологии для моделирования, что стало частью общего тренда в отрасли. В последнее время особую популярность приобретает программирование как средство ускорения рабочего процесса и снижения затрат. В этом цифровые инструменты расширяют креативные границы для архитекторов, позволяя решать задачи высокой сложности, которые ранее считались практически нереализуемыми. С их помощью создаются не только визуально привлекательные, но и функциональные и устойчивые объекты. Интересно, что цифровые методы облегчают междисциплинарное сотрудничество, интегрируя подходы из различных научных и творческих областей — от инженерии до искусства. Это предоставляет возможности для объединения разнообразных культурных и архитектурных традиций, в результате чего формируются пространства, отвечающие потребностям разнообразных пользователей, а также феномен междисциплинарной связи, объединяя знания из разных сфер — от инженерии до искусства и социологии. не просто меняет методы создания и восприятия пространств, но и приносит новый уровень гибкости и инновационности в архитектуру, делая её более отзывчивой к текущим социальным и культурным запросам.

Цифровое формообразование расширило возможности создания архитектурных форм сложной геометрической формы и направило вектор развития в сторону пластичности пространственных конструкций. Так, широкое распространение получили всевозможные варианты цилиндрических и сферических оболочек, а также гиперболических поверхностей [91, с. 136]. В качестве примера можно привести здание автовокзала в Международном аэропорту имени Джона Кеннеди в Нью-Йорке. Форма данного сооружения состоит исключительно из сложных геометрических фигур, подчиненных математическим закономерностям высшего порядка.

Согласно исследованию [125, р. 29], можно выделить ряд важнейших преимуществ применения ЭВМ в процессах архитектурного формообразования:

- возможность обработки и хранения большого количества данных, работа с которыми вызывает у человека ряд трудностей;
- сохранение первоначальной идеи архитектора, о том каким должен выглядеть проект;
- простота создания формы благодаря применению цифровых эскизов и прототипов;
- способность разрабатывать несколько вариаций проекта в короткий промежуток времени;
- улучшенное понимание производственного процесса;
- упрощение коммуникации между членами команды разработки;
- возможность оценки и корректировки ошибок проекта на ранних этапах;
- способность предугадывать будущие характеристики проекта.

Классическое разделение между пассивными инструментами, облегчающими творческий процесс, и архитектором постепенно перестает применяться. Теперь, инструменты и методы, базирующиеся на компьютерных технологиях, занимают все более важную роль в проектировочном процессе и порой становятся его основой. Креативный вклад в разработку того или иного проекта теперь привносится в той или иной степени и человеком, и компьютером. Статус самого проекта также меняется и теперь, приоритет архитектуры заключается не столько в интуиции формы, сколько в выборе нужного варианта из ряда сгенерированных компьютерными средствами структур. Д. Энгельбарт в своей статье 1962 года [119, р. 21] определил процесс архитектурного формообразования как совместную работу человека, задающего векторы решения проблем и заданий, и компьютера, выполняющего исполнительную функцию. Поэтому, компьютер, не понимая эстетики ввиду отсутствия у него реального мышления, используется как инструмент для выполнения множества функций, а также визуализации полученных результатов на каждой из стадий работы. Так, в тандеме с вычислительными устройствами архитектор способен производить более быстрые и точные вычисления и моделирования с возможностью обратить большее внимание к эстетической составляющей проекта. При помощи современных технологий стало возможным реализовать проекты повышенной сложности. Которые ранее, ввиду большого объема работы, длительности вычислений или их сложности, не представлялось возможным выполнить.

Параметрическое моделирование обозначает использование цифровых инструментов для создания моделей на основе заранее установленных параметров и правил. Это предоставляет архитекторам инструментарий для изменения формы и структуры проекта, а также для анализа того, как эти изменения могут повлиять на другие характеристики проекта, например, на освещение, энергоэффективность или вентиляцию. В результате параметрическое моделирование увеличивает гибкость проектирования,

предоставляя возможность быстро разрабатывать и модифицировать разные концепции форм. В этом архитектура П. Шумахера является информационной системой, способная адаптироваться к нелинейным видам и сложным городским ландшафтам. В отличие от традиционных методов, он считает, что современный дизайн должен иметь динамичный вид и использовать новые технологии. Его концепция сосредоточена на инновациях как средстве социального и культурного прогресса, что делает его идеи влиятельной и часто обсуждаемой фигурой в области архитектуры [19].

Одним из крупнейших новых стилей в архитектуре после постмодернизма предстает параметризм, появившийся после середины XX века и ознаменовавший приход научно-технической революции. Параметризм появился в результате попыток разработать проектировочный метод, исключающий ряд проблем предшествующих ему архитектурных стилей. Так, модернизм с присущими ему принципами разобщения функций элементов города и копирования типовых конструкций, оказался не достаточен для стремительно меняющегося городского пространства. В то же время, пришедшие на смену модернизму деконструктивизм и постмодернизм хоть и отходили от данных принципов, но все же не создавали свои собственные структурных методы. С появлением и развитием цифровых технологий начало видоизменяться общественное сознание, окружающая среда и методы ее познания [73]. Концепция параметризма, имеющая свои уникальные принципы, обрела радикально новые ценности и цели. Специалист, работающий с параметрическим моделированием, переходит в новую категорию компетенций и архитектурного выражения, становясь программистом, работающим с математическими уравнениями для задания принципов формообразования. Дигитальная параметрическая архитектура меняет привычную модель производства фордизма, создающую безграничное количество идентичных объектов, на новую модель изготовления безграничного количества разных объектов. Появление и дальнейшая эволюция методов параметрического формообразования побудили архитекторов переосмыслить существующие подходы в использовании материалов и структур, перенесли новый взгляд на связи между функцией и формой, а также изменили понятия тектоники и масштабности. Основным принцип данного стиля заключался в непрерывном дифференцировании, и как следствие плавности, обтекаемости форм. Так, примером проекта крупномасштабного урбанизма является работа архитектора Захи Хадид. Генеральный план Картал-Пендрик сочетает в себе плавность и дифференциальность конструкции, присущие параметризму. Помимо этого, распространение получили сложные сетчатые поверхности, сплайны и подьотделения, заменяя простые геометрические фигуры. Примечателен проект Нормана Фостера – здание Большого двора Британского музея в Лондоне. Внутренний двор сооружения перекрывает полупрозрачная конструкция, состоящая из множества стеклянных панелей, соединенных сетчатым стальным каркасом. Именно стремительное развитие компьютерной техники, в частности программ геометрического моделирования, привело к появлению параметрического подхода в дизайнерской и архитектурной деятельности,

поскольку ранее такие проекты не представлялось возможным реализовать вручную.

Как известно, практически любой геометрический объект можно описать некоторой математической моделью. Сложность и, как следствие, точность получаемой модели определяется количеством параметров в системе уравнений, описывающих конкретную фигуру. В рамках параметрической архитектуры для создания того или иного геометрического объекта разрабатывается система переменных значений и ряд ограничений. За счет изменения данных параметров регулируется геометрия и размер получаемой трехмерной фигуры, а путем наращивания числа параметров можно сгенерировать наилучшую из возможных форму сооружения. Таким образом, благодаря облегчению работы с объектами сложной формы, стало возможным добиваться высоких технических и экономических показателей проекта.

Инструменты цифрового формообразования позволяют рассматривать городское пространство более цельно и объемно, собирать и анализировать большие объемы информации, с учетом которой впоследствии можно решать ряд проблем инфраструктуры. Сегодня, существует стремление формировать многоуровневую и непрерывно трансформирующуюся городскую среду, делая окружение динамичнее и более отзывчиво к состоянию и действиям населения. Цифровые методы формообразования призваны увеличить адаптивность городов, создавая комфортную для жизни человека среду [31].

Применение новых динамических принципов формообразования позволяет решить ряд проблем, существующих в рамках традиционной архитектуры. Долгое время для человека было проще самому адаптироваться к статической архитектурной форме, однако, современные тенденции к улучшению качества жизни и гуманизации технологий позволяют изменить сложившуюся ситуацию. Прослеживается запрос на подвижность форм и пространства, когда непрерывное изменение объекта становится одним из видов его существования [88, с. 11-12]. Изменяющаяся форма проектируемых объектов находит широкое применение в человеческой деятельности и, будучи спровоцирована необходимостью адаптации сооружений к переменным условиям окружающей среды, тесно связана с понятием автоматизации.

Кинетическое проектирование является одним из архитектурных направлений, появившихся в результате запроса на адаптивность. Используя данный метод, здания конструируются так, что их составные части способны перемещаться друг относительно друга, не нарушая при этом целостность структуры сооружения. В результате, создаваемые структуры включают в себя адаптивные пространственные объемы, способные реагировать на изменяющиеся внешние условия. Расположенный в Германии многофункциональный стадион «Фельтис-Арена» примечателен своим выдвижным полем, которое способно перемещаться, проходя под трибуной арены. Здание же Института арабского мира имеет особую конструкцию фасадных жалюзи, способных менять свою светопропускную способность под воздействием солнца. Реализация подобных сооружений была бы невозможной без использования продвинутых технологий автоматизации и моделирования.

Проектирование объектов кинетической архитектуры требует проведения расчетов нагрузок подвижных частей и траектории их движения, выполняемых в специализированных конструкторских программах.

Интерактивное моделируемое пространство взаимодействует с находящимся внутри него человеком подобно живому организму, реагирующему с помощью различных сенсоров на меняющиеся внешние условия и возбуждающие воздействия. Воспринимаемые и обрабатываемые компьютером импульсы могут быть представлены в различной форме: звуковой, визуальной или физической. Полученная информация после ряда вычислительных операций может провоцировать формирование некоторого задающего сигнала системы управления интерактивного объекта, и далее трансформироваться в ответное воздействие некоторой predetermined конструкции формы. Таким образом, применение классического принципа связанности органической архитектуры в рамках цифровой архитектуры позволяет реализовывать проекты, способные реагировать на изменения в реальном времени, и тем самым создавать у пребывающего в данном интерактивном пространстве человека ощущение живого присутствия. Такие архитектурные объекты способны не только обеспечивать функционирование необходимых механизмов системы, выполняя определенную задачу, но и формировать у наблюдателя то или иное эмоциональное состояние.

Орнаментальные рисунки повсеместно применялись еще в древности в рамках архитектурной культуры и выступали в качестве посредника между объектом и человеком, транслируя осознаваемое или воспринимаемое бессознательно сообщение. Такие изображения могли использовать определенные символы и знаки, имевшие определенное смысловое значение в той или иной культуре. Сегодня вновь становится актуальным применение орнаментики в архитектурных постройках. Созданный при помощи вычислительной техники цифровой орнамент может объединять в себе оболочку и поверхностный узор [25, p. 21]. В данном случае цифровой орнамент становится не только частью поверхности, но и основным условием существования оболочки. Ф. Мусави в своей работе [140, p. 135] приводит следующую классификацию орнамента по его значению в архитектурном объекте: поверхность, структура, форма и ширма. Все чаще орнамент выступает не в качестве декоративного эффекта, а важного тектонического элемента строения. В данных условиях формируется городская среда с объектами, отражающими социальные и общественные ценности и требования заказчика, и тем самым, подобно древним орнаментам, возникает язык коммуникации людей, культуры и окружающего пространства [37, с. 92]. Примером применения орнамента в цифровой архитектуре служит здание Рейвенсборнского колледжа дизайна и коммуникаций, возведенное в 2010 году в Лондоне. В данном проекте орнаментальное оформление фасада совершенно меняет восприятие человеком здания. Множество повторяющихся геометрических изображений эффектно выделяет сооружение и создает ощущение чего-то нового, как будто оболочка конструкции изготовлена из какого-то невиданного ранее, причудливого материала. Таким образом, современные цифровые орнаменты отражают

стремительную виртуализацию общества, привнося в реальность нереальные геометрические узоры и становясь их частью. Орнаментальные элементы балансируют между цифровым и реальным мирами, подобно современному человеку. Они предстают элементом самоидентификации человека, указывая на глобальное повышение значимости компьютерных технологий для общества [67].

Технологии ИИ на современном этапе являются крайней разработкой в череде новых технологий, обретших колоссальную популярность в архитектурном проектировании. Данная технология уже достаточно широко распространена в разных областях науки. Применение ИИ в архитектуре открывает колоссальный объем возможностей, вызволяя дополнить и усовершенствовать технологии проектирования практически на всех этапах. Подробный обзор и анализ использования технологий ИИ в современной архитектуре рассмотрены в 5 главе данной работы.

В последнее десятилетие интерес к космической промышленности возобновился, во многом благодаря деятельности SpaceX. Тестовые запуски и многоразовые корабли делают путешествия на другие планеты близкими к реальности. В этом контексте 3D-печать зданий может стать ключевой технологией для создания архитектурных сооружений в космосе, из-за её автономности и эффективности [133, p. 175-176].

Становится все более очевиден запрос на изменение традиционного способа строительства. Пожалуй, одним из самых перспективных на сегодняшний день способов реализации архитектурных форм является строительная 3D-печать. Компания «Apis Cor» занимается строительством зданий с применением данной технологий [107]. В картриджах мобильных 3D-принтеров находится цементная смесь, которая методом наслаивания создает каркас сооружения. В сравнении с традиционной ручной кладкой данный процесс возведения стен оказывается быстрее в десятки раз. Печатный способ строительства призван заменить собой процессы производства бетонных блоков и работу бригады строителей [99]. Основами преимуществами строительной 3D-печати являются повышенная продуктивность, точность и ровность поверхностей, а также возможность создавать формы, которые традиционно было реализовать сложно или вовсе невозможно.

Благодаря технологии 3D-принтеров стала возможной реализация самых необычных форм, позволяя архитекторам не ограничивать свою фантазию и еще больше сближает искусство и архитектуру. Так, в 2017 году на «Конкурсе небоскребов» американского издания «eVolo» был представлен проект высотной башни, форма которой полностью выбивалась из традиционного представления о небоскребе [104, p. 5]. Создатели проекта утверждают, что благодаря 3D-печати железобетонных форм башни в скором будущем появится возможность воспроизвести архитектурные объекты такой сложности.

С появлением инновационных технологических ресурсов проектирование архитектурных объектов стало приобретать новую форму. Появляются все более

нестандартные концепции и методы решения различных задач формообразования. Одним из примеров таких экспериментальных методов является вид дигитального проектирования с использованием музыки и звука. Наиболее известны работы композитора и архитектора Я. Ксенакиса, в которых он создал сооружения на основе тех же алгоритмов, что и собственную музыку [83, с. 7].

В работе представлен обзор экспериментов по созданию архитектурных форм с применением клеточных автоматов. Данная концепция моделирования заключается в способности дискретной модели клеточных автоматов генерировать трехмерные паттерны, при группировке которых можно создавать форму сооружений. Возможности применения и развития технологии клеточных автоматов в архитектуре сегодня представляют большой интерес для исследователей благодаря способностям данного метода в генерации самоорганизующихся структур и их свободном выборе [149].

### **2.3 Факторы цифровой архитектуры**

Цифровые технологии и их массовое использование стали катализатором различных изменений в разных сферах, в том числе и в архитектуре. Эти изменения являются не просто продуктом маркетинговых тенденций, а часто вытекают из стратегических планов, определенных на государственном уровне. В контексте архитектуры область инноваций расширяется за счет использования современных проектирования данных, которые предоставляют архитекторам инструментов для создания функциональных и адаптивных систем.

Архитектура за время своего существования претерпела множество изменений и конечно, как и жизнь, дальше будет продолжать трансформироваться вследствие меняющихся внешних условий и парадигм, в которых она находится. Однако, несмотря на все метаморфозы основные принципы формирования, применимые, в том числе, к современной органической архитектуре, продолжают широко использоваться архитекторами и не теряют своей актуальности. Исторически архитектурное формообразование происходит по принципам анализа и подражания природе, обобщения и создания новых форм. Одним из важнейших принципов органической архитектуры является принцип связанности или цикличности [101, с. 6-7]. Данная концепция подразумевает восприятие проектируемого объекта как набора взаимосвязанных структур, характеризующихся внутренними закономерностями внутри объекта и связями с другими объектами пространства. В природе форма и функция объекта имеют тесную взаимосвязь. Конструктивные особенности элементов живой природы представляют интерес для конструкторов и архитекторов за счет гармоничности и высокой функциональности их форм. Следуя принципу связанности, в архитектуре находят распространение структуры, аналогичные биологическим паттернам. Именно в рамках дигитальной архитектуры всевозможные природные аналогии находят наиболее яркое применение, когда создается некое интерактивное пространство как комбинация генерируемых при помощи компьютера эффектов и реальных объектов пространства.

В ходе своего развития цифровая архитектура прошла несколько последовательных и пересекающихся впоследствии этапов: модульность, автоматизированное проектирование (САПР), параметризм и искусственный интеллект (ИИ). Сплетение принципов и методов данных практик составляет основу современного цифрового формообразования. С теоретической точки зрения, нелинейность и её феномены были предметом изучения многих исследователей. Также с 1960-х годов начались исследования в области использования система автоматизированного проектирования (CAD) в архитектуре, что позволило создавать более сложные и криволинейные формы. Теория сложности Ильи Пригожина, теория катастроф Рене Тома и теория хаоса Эдварда Лоренца сыграли значимую роль в формировании подходов к цифровой архитектуре (рисунок Б.3, Приложение Б).

Тенденция к упрощению строительства привела к развитию модульной архитектуры, где здания состоят из предварительно собранных частей. Этот подход ускоряет строительство, снижает затраты и делает процесс более предсказуемым. Однако, он также ограничивает творческие возможности, приводя к однообразным и стандартизированным постройкам. Программное обеспечение, разработанное для конструирования инженерных элементов, открыло для архитектуры новую парадигму объектно-ориентированного программирования. Внедрение данного метода в архитектурные процессы обусловлено необходимостью автоматизации проектирования на всех этапах строительства: начиная с разработки и заканчивая моментом сдачи объекта в эксплуатации. Помимо этого, с помощью инструментов САПР можно значительно упростить процесс создания и редактирования проектной документации, а также предупреждать возникновение ошибок в проекте.

Технологические инновации в области информационных технологий, особенно с появлением мощных персональных компьютеров и специализированного программного обеспечения, сыграли ключевую роль в трансформации современной архитектуры. Эти достижения предоставили архитекторам инструменты для значительного повышения эффективности и точности проектирования, позволяя переосмыслить и расширить традиционные подходы к архитектурному дизайну. Программы компьютерного дизайна (CAD) радикально изменили методы проектирования, давая возможность создавать более сложные и детализированные архитектурные модели. Технология BIM (Building Information Modeling) углубила этот процесс, позволяя интегрировать полную информацию о материалах и технических характеристиках зданий в модели, тем самым обеспечивая более комплексное планирование и управление проектом. Современные цифровые методы проектирования, такие как алгоритмическое, параметрическое и генеративное проектирование, открывают новые возможности для создания уникальных и оптимизированных архитектурных пространств. В целом, эти технологические инновации не только расширяют границы творческого и технического потенциала в архитектуре, но и обеспечивают более высокую точность и качество в реализации проектов, что

способствует развитию более функциональных, устойчивых и креативных архитектурных объектов.

В контексте встраивания цифровых технологий в архитектуру, идея трансформации оказывает значительное влияние на личность человека и адаптивность архитектуры к потребностям пользователя. Трансформируемые здания, как показано в работах Калатравы и Хобермана, демонстрируют возможности динамических архитектурных элементов, воплощенных с помощью цифровых технологий. Особенно ярким примером служит стадион Мерседес-Бенц в Атланте, где уникальная система трансформации крыши, вдохновленная соколиным крылом, и выдвижные сидения, окружающие поле, демонстрируют применение цифровых инноваций для создания адаптируемого и функционального архитектурного пространства [97].

Использование технологий 3D-печати и роботизированного строительства в архитектуре является ключевым инновационным направлением, которое радикально трансформирует способы создания и воплощения архитектурных проектов. 3D-печать позволяет архитекторам и инженерам с высокой степенью точности реализовывать уникальные и сложные формы, недостижимые традиционными методами. Эта технология открывает возможности для работы с разнообразными материалами, позволяя экспериментировать с формой и функцией, и при этом минимизирует отходы благодаря точности печати. Роботизированное строительство дополняет этот процесс, предоставляя средства для более точной и эффективной работы на строительной площадке. Роботы могут выполнять сложные задачи с большей точностью и скоростью, снижая человеческий фактор и возможность ошибок. Вместе эти технологии не только обеспечивают новаторский подход к архитектурному дизайну и строительству, но и способствуют развитию устойчивых и экономически эффективных строительных практик. Они открывают новые горизонты для архитектурного творчества, позволяя создавать здания и структуры, которые были бы невозможны с помощью традиционных методов строительства, тем самым расширяя границы возможного в архитектуре.

В архитектуре цифровая экосистема может быть связана с базой материалов и системами управления проектами, имея различные программы для проектирования и моделирования зданий. Этот системный подход помогает архитекторам и строителям лучше понять, как здание выглядит и работает до строительства [34, с. 25]. Также с помощью оцифровки можно создать «цифрового двойника», то есть здания в виртуальной среде может быть использована для моделирования в различных целях. Это поможет еще лучше изучить различные аспекты, например, прежде чем приступить к фактическому строительству, возможно, энергоэффективность или освещение экспериментировать.

Экологическое и устойчивое строительство, в качестве ключевого фактора цифровой архитектуры, занимает важное место в современном архитектурном дизайне и проектировании. Основываясь на использовании передовых цифровых технологий, таких как BIM (Building Information Modeling), этот подход позволяет архитекторам с самого начала проектирования интегрировать в свои

работы экологические аспекты. Это означает, что каждый аспект здания, будь то энергоэффективность, использование воды и материалов, а также влияние на микроклимат, анализируется и оптимизируется с целью минимизации экологического воздействия. Применение цифровых инструментов в экологическом строительстве не только способствует созданию зданий, которые более «зелены» и энергоэффективны, но и обеспечивает экономическую выгоду за счет снижения эксплуатационных расходов. Таким образом, интеграция экологического и устойчивого строительства в цифровую архитектуру отражает переход к более осознанному и ответственному подходу в проектировании, где учитывается долгосрочное воздействие архитектурных решений на окружающую среду и общество.

Автор С. Э. Мамедов в статье «Экологический аспект в архитектуре жилого комплекса "Лидон Сингапур"» с точки зрения экологии анализирует жилой комплекс «Лидон Сингапур», разработанный З. Хадид. По мнению автора комплексе используются особенные архитектурные решения, чтобы сделать его более зеленым и комфортным для жизни, здания расположены так, чтобы было больше солнца и зелени, а квартиры спроектированы так, чтобы в них было много света и свежего воздуха. Для жителей является более экологичным [164, с. 58-61].

Аналитика данных может помочь в прогнозировании, как будет использоваться здание, что важно для него строительства. Помогает архитекторам принимать более обоснованные решения. Можно сказать, что у архитекторов будет инструмент, который позволяет «померить семь раз, прежде чем резать». Внедрив данные, можно предварительно узнать, как потоки людей будут двигаться по зданию, какое освещение будет наиболее эффективным и так далее.

При переходе на цифровые технологии, стоит учитывать несколько важных шагов. Первым, создает виртуальные копии своих зданий и машин, чтобы лучше понимать, как все работает. Вторым, использует спутники для точного определения, где все объекты находятся под контролем. Компьютеры даёт возможности постоянно отследить за всеми объектами, при уклонении функции элементов, можно получить сигнал сбоя. В этом эффективность и безопасность [108, р. 54-55].

Мировая интеграция и обмен данными являются важнейшими аспектами современной архитектуры, особенно в контексте быстро развивающихся цифровых технологий. Глобализация и расширение доступа к Интернету значительно упрощают обмен опытом и информацией между архитекторами со всего мира, что способствует быстрому распространению новаторских идей и практик в архитектурном сообществе. Инструменты и платформы, такие как Big Data и Autodesk 360, играют ключевую роль в этом процессе. Они обеспечивают архитекторам доступ к большим объемам данных и возможности совместной работы в режиме реального времени, что делает процесс проектирования более эффективным и позволяет быстро реагировать на изменения требований и условий проекта. Эта глобализированная сетевая структура способствует не только обмену технической информацией, но и обогащает архитектурную

культуру, предоставляя архитекторам доступ к разнообразным стилям, традициям и инновационным методам. В целом, мировая интеграция и обмен данными в архитектуре подчеркивают важность международного сотрудничества и открытости для развития более устойчивых, функциональных и эстетически привлекательных архитектурных объектов.

Изучение влияния цифровых технологий на архитектуру обнаруживает тенденцию к созданию новаторских форм, отражающих динамичные изменения в городской среде. Одним из источников вдохновения является «фрактальная геометрия», которая раскрывает аспекты сложной проблемы синтеза архитектуры и природной среды [77, с. 84] (рисунок Б.4, Приложение Б). Эти комплексные формы, органично сочетающиеся с природными и математическими моделями, приводят к разработке уникальных и гармоничных архитектурных объектов. Применение принципов фрактальной геометрии и теории хаоса через цифровые инструменты открывает новые горизонты для гармоничного слияния архитектуры с окружающим пространством, способствуя повышению устойчивости зданий.

В целом, развитие цифровой культуры в архитектуре объединяет культурно-технологический прогресс, новые подходы к проектированию и изменяющиеся потребности общества. Эти факторы вместе образуют основу для создания более функциональных, устойчивых и креативных архитектурных объектов, обогащая архитектурную практику и исследование.

Программа «Интегра 4D-Планета Земля» помогает сделать загруженные данные объектов цифровыми. Эти модели строятся на основе точных замеров местности, и все это работает в одной системе времени и координат. То есть, если в промышленных зонах что-то сломается или нужно что-то улучшить, можно сначала по работатать на уровне виртуальной модели, понять, как всё устроено и какие изменения будут наиболее эффективными. Таким образом, можно оптимизировать работу настоящего завода те или иные действующих объектов, не рискуя реальными ресурсами. Также, из возможности программы можно смотреть, как объекты выглядят и где они находятся, и анализировать их. Есть возможности увидеть, как объекты выглядели в прошлом, как они сейчас выглядят и как будут выглядеть в будущем. А также, программа поддерживает AR и VR технологии [79].

Учитывая течение в архитектурном формообразовании, цифровая культура предлагает множество функциональных возможностей, начиная от алгоритмического проектирования, где архитектурные формы создаются автоматически с помощью алгоритмов, до параметрического моделирования, позволяющего изменять дизайн через заранее установленные параметры. Генеративное проектирование вносит свой вклад, автоматизируя генерацию дизайнерских решений на основе заданных критериев. Искусственный интеллект и машинное обучение усиливают этот процесс, предоставляя анализ и оптимизацию дизайна. Аналитическое проектирование вносит рациональный подход, основываясь на данных для принятия обоснованных архитектурных решений. Сетевое проектирование обеспечивает интеграцию дизайна и сетевых технологий, что способствует в коллаборации. Кроме того, применение

фрактальных структур также открывает новые горизонты в архитектурном дизайне, добавляя сложность и эстетическую привлекательность в проекты (рисунок Б.6 [238-246], рисунок Б.5 [247], Приложение Б).

Трансформируя практически все методы и инструменты, из которых она состоит. В данных условиях архитекторам крайне важно осознавать существующие проблемы формообразования, актуальные на сегодняшний день. Это необходимо для своевременного обозначения существующих в проектировании трудностей и дальнейшей разработки путей их решения. Возникновение и внедрение новых компьютерных технологий в архитектурные процессы не только облегчило работу конструкторов, но и превысило новые задачи, с которыми научному сообществу пришлось столкнуться впервые. Факт таких изменений, являющихся естественным феноменом, ознаменовывает наступление некоего кризисного момента, который может в значительной степени изменить существующие архитектурные парадигмы. Остается лишь наблюдать за ходом истории и за тем, какое направление архитектура примет в будущем. Одно ясно точно: данная дисциплина будет продолжать эволюционировать под воздействием меняющегося общества и его потребностей, а в ответ также будет влиять на человека и его ощущения от пребывания в пространстве города.

#### **Выводы по второму разделу**

1. Исследование выявило ключевые механизмы и факторы, оказывающие влияние на интеграцию цифровых технологий в архитектуру. Особое внимание уделялось социально-экономическим, культурным и технологическим аспектам. Это позволяет понять, как именно развитие технологий, изменения в общественном восприятии и экономические факторы содействуют принятию и адаптации цифровых подходов в архитектуре.

2. Изучив полученные данные, можно утверждать, что теоретические модели, которые были разработаны, эффективно описывают механизмы цифрового формообразования в архитектуре. Эти модели основываются на современных методах, таких как алгоритмическое, параметрическое и генеративное проектирование, и помогают понять, как цифровые инструменты и алгоритмы могут способствовать созданию инновационных архитектурных форм.

3. Исследование показало, что такие факторы как функциональные возможности, методы и процессы в цифровой архитектуре играют ключевую роль в формировании современного архитектурного ландшафта. Параметрическое моделирование, алгоритмическое проектирование и BIM, позволяет архитекторам работать более эффективно, создавая проекты на качественно более высоком уровне, что отвечает современным требованиям устойчивости и инновационности.

### **3 АРХИТЕКТУРА И ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА: ДИАЛЕКТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

В разделе рассмотрены особенности взаимодействия архитектуры и цифровой культуры, а также диалектика их сочетания. Подраздел 3.1 анализируются актуальные тенденции архитектурного формообразования при использовании цифровых технологий, выявляя новаторские подходы и методы. Подраздел 3.2 освещено прямое воздействие цифровой культуры на процессы формообразования, определяя основные направления этого влияния и его результаты. Подраздел 3.3 акцентирует внимание на сложностях и проблемах, связанных с использованием цифровых технологий в архитектуре, обозначая потенциальные противоречия и вызовы. Выводы по разделу подводят итоги анализа, определяя векторы дальнейших исследований в данной области.

#### **3.1 Современные тенденции в архитектурном формообразовании с использованием цифровых технологий**

Архитектура XX-XXI веков перестает быть просто физическим пространством, и в свете технологического прогресса и цифровой революции, она эволюционирует, обретая новое измерение в киберпространстве. Это пространство, которое воссоздает и дополняет реальность, становясь неотъемлемой частью современного мира.

Архитектура и математика, являющиеся основой искусства и наук соответственно, образуют основу для развития цифровой архитектуры. В прошлом, эти дисциплины уже демонстрировали свою совместную эффективность. Современная эра информационных технологий расширяет эту синергию, предлагая новые возможности. Тем не менее, независимо от растущего влияния математики и передовых технологий, значимость интуитивного подхода в художественном процессе не должна быть уменьшена. При условии соблюдения баланса между гуманитарными и техническими аспектами, будущее цифровой архитектуры выглядит обещающим [81, с. 3-7].

В эпоху цифрового «взрыва» возникает потребность в новых методах архитектурного формообразования. Эти методы должны учитывать сложные взаимосвязи, возникающие при взаимодействии цифрового и физического мира, и быть основаны на системе научных познаний. Развитие цифровых технологий в архитектуре приводит к тому, что традиционные формы трансформируются, а их виртуальные «тени» становятся практически неотличимы от реальности. Это переопределение форм и их представления открывает новые перспективы в архитектуре и требует совершенствования методов формообразования [105, р. 17-19].

Николас Негропonte, ведущий пионер в области цифровых технологий и основатель MIT Media Lab, выдвинул прогрессивные идеи о том, как цифровое проектирование может радикально трансформировать практику архитектуры. Исследователь предлагает пересмотреть то, что в будущем здания там, где мы живем или работаем, могут быть не только кирпичные наполнители или стеклянные и бетонные стены. Можно сделать умным и адаптивным, то есть

способным изменять и реагировать на происходящее вокруг. Например, высокая температура снаружи снижает температуру внутри здания. Или, если в помещении много людей, это автоматически улучшит вентиляцию. Такое здание будет взаимодействовать с окружающей средой и людьми, как живой организм. Это будущее, в котором технологии и архитектура объединяются, чтобы сделать нашу жизнь более комфортной и безопасной [12, с. 136-138].<sup>2</sup>

А.Н. Новикова исследует, как архитектурные практики преобразовались из исторических мастерских в современные сетевые организации. Она подчеркивает гибкость и важность совместной работы в этих сетевых структурах, а также использование цифровых технологий для удаленной работы. В таких условиях архитекторы становятся координаторами, объединяющими разные специальности для создания уникальных проектов. Исследование 50 фирм показывает, что многие из них частично используют элементы сетевой работы, но полностью сетевыми можно назвать лишь треть. Новикова также обращает внимание на циклические методы проектирования, которые сочетаются с традиционными линейными подходами для достижения лучших результатов. Важность профессиональных навыков, таких как командная работа, аналитика, владение цифровыми инструментами и организационные способности, подчеркивается для архитекторов в сетевых организациях, что заключает автор, гибкие и динамичные методы проектирования важны для современной архитектуры, и архитекторы должны развивать соответствующие навыки для работы в такой среде [157, с. 20-23].

Архитекторы Ф. Герри, З. Хадид, П. Шумахер, Ф. Отто, Т. Ито, Г. Линн и др., являются пионерами в использовании цифровых технологий. Их инструментами всё что на сегодня актуальные программы Rhino, Grasshopper, ArchiCAD, SketchUp и другие. Конечно, впервые были Catia и Gehry Technologies, на чём Ф. Герри создавал известные свои сооружения. Все перечисленные программы позволяют создавать сложные и уникальные формы, оптимизировать процесс проектирования и учесть все параметры объекта. Это свидетельствует о том, что методы проектирования, основанные на использовании цифровых технологий, оказался не просто инструментом, а придал стиль оставаясь на передовом спросе современной архитектурной практике. Собственно, в этом, современная архитектура проходит через период значительных изменений, определяемых прежде всего быстрым развитием цифровых технологий. Параметрическое, алгоритмическое, BIM, VR и AR технологии, использование 3D-печать, цифровая промышленность и другие – все эти подходы и технологии имеют все большее влияние на процессы проектирования и строительства.

Параметрический, алгоритмический, генеративный и другие подходы стали основными методами проектирования в архитектуре, которые позволяют разрабатывать сложные и адаптивные геометрические расчеты путем

---

<sup>2</sup> По мнению Николаса Негропonte: «Цифровая жизнь будет все меньше и меньше зависеть от пребывания в определенном месте в определенное время, и станет возможной передача самого места». Николас Негропonte, дата неизвестна. Цитата Николас Негропonte. <https://list-quotes.com/ru/кавычки/николас-негропonte-1437996/> 27.08.22.

комбинирования алгоритмов и взаимосвязанных параметров. Эти методы основаны на математических формулах, позволяющих создавать динамические, гибкие модели, в которых каждый параметр коррелирует с другими. Такое взаимодействие параметров позволяет не только создавать уникальные формы, но и оптимизировать их с учетом разных условий и требований.

Технологии VR и AR погружают пользователя ещё глубже в виртуальный мир. В этом контексте обучение становится более наглядным, а взаимодействие с проектом - более интенсивным. Однако есть и «обратная сторона медали» - виртуализация, являясь одним из элементов синтеза, может привести к совершенно неожиданным отрицательным результатам. Но, как любой тренд, эти технологии отвечают на определённые потребности, как и прошлые инновации. Актуальность и спрос на технологию 3D-печати также находят своих пользователей и потребителей. В этой технологии привлекает возможность с легкостью воплотить в жизнь самые сложные и необычные идеи [143, р. 285-287]. В исследовании «Феномен "виртуальности" в архитектуре» Савельева Л.В. рассматривает использование голографии в архитектуре, переходя от декоративного к функциональному применению. Она указывает на отсутствие полностью реализованных проектов из-за технических и экономических барьеров, примером чего является проект виртуального музея русского авангарда в Москве от мастерской Асадова. Савельева подчеркивает риски информационного перегруза от неконтролируемого использования голографии в городах и изменение архитектурных тенденций под воздействием современных технологий, смещающих фокус на создание временных и динамичных образов. Автор призывает к междисциплинарному изучению влияния этих инноваций, вовлекая специалистов из различных областей [85, с. 202-204].

Параметрическое моделирование с помощью компьютеризации открыло перед архитекторами новые горизонты и привлёк собой инновационный подход к архитектурному проектированию. В центре этого подхода - встроены создание адаптируемых, динамических моделей, в которых каждый параметр взаимосвязан с другими. Это взаимодействие параметров выстроены не только в случайном формализации - оно может определено через математические формулы и алгоритмы, что позволяет архитекторам в точности создавать сложные вычислительные и уникальные геометрические формы и конструкции.

Это гибкое взаимодействие параметров дает архитекторам невиданные возможности для экспериментирования с формами и адаптации проектов к изменяющимся условиям и требованиям. Кроме того, параметрическое моделирование автоматизирует и ускоряет процесс проектирования, обеспечивая быстрое создание детализированных проектных документов и вычислений. Такой подход не только экономит время, но и улучшает качество архитектурных решений, делая их более точными, эффективными и адаптированными к специфическим условиям использования. В то время как параметрическое моделирование затрагивает технологическую сторону архитектурного проектирования, цифровизация в более широком контексте охватывает глобальные изменения в бизнес-моделях и методах управления организацией, вызванные внедрением цифровых технологий. Этот процесс

включает в себя не только прямое применение новых технологий, но и переосмысление, адаптацию и оптимизацию бизнес-процессов, создание новых цифровых продуктов и услуг, улучшение операционной эффективности и конкурентоспособности организации. В этом смысле, цифровизация и алгоритмическое проектирование являются современными трендами, обеспечивающими прогресс в архитектуре и других сферах деятельности [69, с. 165-166].

Параметризм стал ключевым направлением в архитектуре начала XXI века, представляя собой результат исследований и экспериментов ведущих мировых архитекторов. Это направление характеризуется уникальной теоретической платформой, сформулированной Патриком Шумахером, и акцентирует внимание на взаимосвязях архитектурной формы и функции в контексте постфордизма - экономической системы, определяющей современные запросы общества. Кроме того, параметризм предлагает новый взгляд на традиционные архитектурные категории, такие как масштабность и тектоника. Несмотря на критику, связанную с жесткостью формообразования, направление подчеркивает адаптацию архитектуры к изменяющимся общественным условиям, используя современные методы проектирования [33, с. 2-9].

Заха Хадид и ее бюро Zaha Hadid Architects стали известными в применении параметрического проектирования для создания сложных и уникальных форм. Впервые этот подход применён в Центре современного искусства Розентал в США, но наиболее полно раскрыт в проекте музея «MAXXI» в Риме. В этом лауреат Премии Прицкера, сделала прорывом представления о современной архитектуре, сделав свои сооружения функциональными и художественно выразительными. Параметрический дизайн открыл для архитектурного бюро Zaha Hadid Architects новые горизонты в создании уникальных, сложных и в то же время функциональных форм. Они успешно внедряют эту технику во многих своих проектах, продолжая вдохновлять и изменять понимание современной архитектуры.

Создание формы в архитектуре привлекает множество обсуждений и дискуссий относительно того, как правильно подходить к проектированию, сочетая такие параметры как функция, форма, эстетика, стоимость и потребности пользователей. Внедрение вычислительных технологий и методик, таких как генеративный и параметрический дизайн, коренным образом меняет подход к архитектуре, переориентируя усилия с прямого создания формы к её поиску. Несмотря на инновационность этих методов, они сталкиваются с критикой за их возможное отдаление от реальных потребностей и контекста. Вместе с тем, интересно отметить, что некоторые из представленных «новых» методов имеют корни в прошлом. Это поднимает вопрос о том, что в современных подходах действительно ново и какова суть критики «цифровой архитектуры» [103, р. 15-19]. В этом алгоритмическое проектирование представляет собой инновационную методологию, основанную на использовании специализированных алгоритмов для создания, адаптации и оптимизации архитектурных форм. В контексте данного подхода, уникальность и гибкость архитектурного решения обеспечивается благодаря разработке параметрических

и генеративных моделей, основанных на установленных правилах и входных данных. Эти модели представляют собой системы, где архитектурные решения генерируются и трансформируются с использованием заданных параметров и алгоритмов [132, р. 1-3].

Алгоритмическое проектирование — это процесс создания архитектурных форм и структур с помощью алгоритмов, которые автоматически генерируют и оптимизируют дизайн на основе заданных параметров. Суть этого подхода заключается в том, чтобы использовать математические модели и программирование для создания и оптимизации архитектурных объектов.

Основные аспекты алгоритмического проектирования можно рассмотреть, как параметрическое моделирование, которое позволяет архитекторам задавать определенные параметры, и в зависимости от этих параметров, алгоритм автоматически меняет дизайна.

Оптимизация, алгоритмы могут автоматически оптимизировать проекты, чтобы достичь определенных целей, будь то экономия материалов, энергоэффективность или структурная прочность.

Сложные формы: - с помощью алгоритмического дизайна можно создавать сложные и органичные формы, которые раньше были трудно достижимы или даже невозможны с традиционными методами проектирования. Происхождение термина «алгоритмическое проектирование» связано с развитием вычислительной техники и программного обеспечения. С развитием САД-систем и специализированных программ, таких как Grasshopper для Rhino, архитекторы стали иметь возможность применять сложные алгоритмы в своем проектировании. В контексте архитектуры, этот подход стал популярен в начале 2000-х, когда архитекторы, такие как Грег Линн, начали экспериментировать с программированием и использовать компьютеры не только для визуализации, но и для активного участия в процессе дизайна<sup>3</sup>.

Применение алгоритмического проектирования охватывает все этапы жизненного цикла архитектурного объекта. На стадии предпроектного исследования оно позволяет быстро исследовать большое количество различных вариантов дизайна, проводя быстрый анализ влияния различных параметров на конечный результат. В процессе производства, алгоритмическое проектирование обеспечивает беспрецедентную точность и предсказуемость, оптимизируя процессы изготовления и сборки. Наконец, на стадии эксплуатации, алгоритмические методы могут использоваться для мониторинга состояния объекта и адаптации его к изменяющимся условиям окружающей среды.

Преимущества алгоритмического проектирования раскрываются в двух основных аспектах. Во-первых, данный подход расширяет творческие возможности дизайнеров, обеспечивая пространство для генерации и исследования широкого спектра проектных решений. Это позволяет профессионалам оценивать различные варианты исходя из множества

---

<sup>3</sup> Грег Линн подчеркивает значимость этого подхода, заявляя: «Без компьютера каждая точка конструкции должна рассчитываться относительно всего остального. Но с помощью ПК я могу создавать сложные кривые без радиусов и центров». Грег Линн, дата неизвестна. Цитата Грега Линна. <https://list-quotes.com/ru/кавычки/грег-линн-320162/>

параметров, включая эстетические, функциональные, экономические и экологические. Во-вторых, алгоритмическое проектирование ускоряет и оптимизирует процесс вычислений, позволяя архитекторам и дизайнерам принимать обоснованные и информированные решения. Наконец, стоит отметить, что этот подход активно интегрируется не только в практику современных архитектурных студий, но и применяется в других областях искусства и дизайна, где он позволяет решать сложные и инновационные задачи.

Более того, алгоритмическое моделирование способствует автоматизации процесса проектирования, снижая необходимость в ручном вводе данных и повышая точность проектирования. Оно также позволяет генерировать детализированные проектные документы, которые могут содержать всю необходимую информацию, от общих планов и эскизов до спецификаций материалов и расчетов стоимости.

Таким образом, алгоритмическое моделирование является важной частью цифровой трансформации в архитектуре, обеспечивая новые и эффективные способы создания архитектурных проектов. Этот подход представляет собой не только технологическое новшество, но и новую философию проектирования, где программируемые алгоритмы становятся неотъемлемыми партнерами архитектора [30].

Процесс формообразования является основным инструментом архитектора по решению творческих задач. Изучение вопросов архитектуры в цифровой культуре становится крайне актуальным в связи с нелинейностью и специфичностью процессов. Данная тема пересекает области социокультурного развития современного общества, где меняющиеся эстетические образы формируют новые требования, предъявляемые и к материальной, и к духовной культуре в целом. В создании культурно-эстетической среды, отвечающей этим требованиям, важную роль играет исследование процессов формообразования и стилеобразования объектов пространственной среды в рамках проблематики цифровой архитектуры [118, p. 157-159].

Стремительный прогресс в сфере компьютерных технологий подразумевает глобальное внедрение инновационных методов и инструментов в процессы архитектурного формообразования. Глобальная компьютеризация привносит в профессиональное образование и архитектурное проектирование новую методологию, базирующуюся на инженерном подходе. Появляется все больше различных компьютерных программ, позволяющих ускорить и облегчить процессы конструирования. Меняются эстетические и функциональные требования к архитектуре. Однако несмотря на то, что цифровые технологии решают ряд проблем традиционного проектирования, по мере внедрения новых компьютерных средств архитекторы сталкиваются с новыми вызовами, которые необходимо преодолеть в ближайшем будущем. Целью данного исследования является рассмотрение основных проблемных аспектов внедрения цифровых средств в процессах архитектурного формообразования.

В ходе исследования изучен опыт применения средств компьютерного программирования в структуре архитектурного формообразования. Произведен

анализ проектов по применению цифровой архитектуры в современных реалиях. Были рассмотрены примеры проектов параметрического формообразования, на основании которых были обозначены основные проблемы данного стиля. Раскрыты причинно-следственные связи возникновения проблем цифрового формообразования в процессах градостроительства.

Цифровые возможности нелинейной архитектуры определенно совершенствуются, что становится революционным фундаментом новейшей индустрии дизайна, но параллельно возникает угроза для традиционной архитектуры. «Проектный процесс может легко привести к ряду различных пространственных решений с помощью замены параметров». В современной архитектуре использование концепции нелинейной динамики в рамках цифровых методов раскрывает перспективы архитектурного формообразования для развития нашей цивилизации [151, р. 34-35]. Современная тенденция внедрения цифровых технологий расширилась. Такое положение вещей в значительной степени изменяет и продвигает восприятие человеком окружающей среды и пространства.

Вместе с возрастающим уровнем технологического развития, в частности направлений параметризма и генеративной архитектуры, можно наблюдать радикальные изменения в представлении существующих методов дизайна особенно в их творческой составляющей. Проблема полного внедрения компьютерных программ в процессы синтеза архитектурных объектов заключается в непонимании вычислительными машинами специфичных композиционных нюансов и в отсутствии у них мышления как такового. Считается, что крупные, многоуровневые проектные задачи не могут быть реализованы без прямого участия человека, его творческих навыков, непрерывной эстетической оценки и последующей корректировкой. Обычно, применение искусственного интеллекта в архитектуре не характеризуется созданием принципиально новых форм, а решаемые данным подходом задачи строго ограничены определенным набором правил. Таким образом, на сегодняшний день перед архитекторами стоит глобальная задача: поиск новых архитектурных форм и методов их реализации, применяя и адаптируя непрерывно развивающиеся технологические средства.

Необходимость пересмотра привычного представления о форме.

Синтез архитектуры оказывает влияние на образ и уникальность композиции. Современная тенденция к расширению и стремительному развитию городов ведет к усложнению создаваемых форм. Улучшение технических возможностей сделало возможным создание принципиально новых архитектурных форм, отходящих от традиционных представлений. Дизайн становится более гибким, стремящимся к непрерывным изменениям облика. Внедрение инновационных IT-технологий сегодня наблюдается в виде самых разнообразных видах архитектурного синтеза: цифровое искусство, медиа-арт, световая графика и др. [136, р. 2-5]. Такое разнообразие инструментов, создающих архитектурную форму, ведет к расширению предметного ряда объектов городского дизайна. Помимо этого, наблюдаются значительные изменения в традиционном взгляде на архитектурный фасад, его стилистике и

композиции. Все это создает необходимость пересмотра привычного представления о материальной концепции формы [58].

Изменение места ручного моделирования в создании архитектурной формы. Несомненно, с появлением новейших цифровых методов формообразования традиционное ручное моделирование стало применяться все реже. К преимуществам цифрового метода можно отнести реалистичность и удобство работы со сложными многослойными моделями. Помимо этого, цифровая графика способна точнее транслировать настроение архитектурного объекта и имитировать присутствие наблюдателя, благодаря возможности воссоздавать окружение, особенности погодных условий и освещения. Создание модели архитектурного объекта преследует цель погружения архитектора или заказчика в возможный сценарий реального восприятия объекта. Несмотря на то, что и ручное и цифровое моделирование выполняет одинаковую задачу воплощения и визуализации модели, создаваемые с их помощью объекты имеют существенные различия. Данные методы моделирования способны совершенно по-разному раскрывать художественное качество одной и той же формы. Также, в процессе создания модели одним из описанных способов архитектор переживает различный опыт. В процессе ручной разработки поискового макета автор испытывает помимо зрительного еще и телесный опыт, а преобразование и наращивание формы становятся подобными росту биологических объектов [25, р. 63-67]. В связи с особенностями используемых материалов, а также длительностью процесса ручное моделирование располагает автора к художественной импровизации и видоизменению начальной идеи.

Еще одним распространенным видом ручного проектирования является создание графических эскизов. Данный метод незаменим при выполнении работ с приоритетом формы над функцией и обычно применяется в связке с компьютерным моделированием. Комбинированный метод моделирования обладает очевидными преимуществами. Созданная вручную модель может являться результатом импровизации и быстро презентует модель, в то время как цифровая модель предоставляет собой подробную и точную репрезентацию формы.

Главным минусом ручного изготовления архитектурных макетов является высокая трудоемкость, поэтому, на сегодняшний день около половины архитектурных компаний мира применяют трехмерное моделирование (BIM). Следующим логичным этапом в использовании данной технологии является 3D-печать архитектурных макетов, обладающей рядом преимуществ: лучшая презентация проекта в понятной для заказчика форме, исключение риска ошибок и неверного истолкования заказчиком проектируемой формы, экономия, скорость, доступность и повышение эффективности всего архитектурного процесса в целом [137, р.129].

На рисунке В.1 на а) представлены виды ручной и цифровой презентации проектируемой формы. С появлением цифровых методов представления проектов появился ряд вопросов касаемых места ручного моделирования в современном проектировании. Как будут взаимодействовать между собой ручное и цифровое проектирование? Станут ли данные методы применяться

комбинированно или же цифровое проектирование и 3D-печать полностью заменит ручное моделирование? И наконец, как это повлияет на творческие процессы, оригинальность и разнообразие формы.

Переосмысление роли архитектора.

В первой половине XX века роль архитектора в процессах проектирования была достаточно четко определена. В зависимости от той или иной образовательной концепции специалист в области архитектуры воспринимался либо как гуманист с техническим образованием, либо как опытный строитель с эстетическим образованием [59]. Практически такое же восприятие архитектора используется и по сей день, однако становится очевидно значительное несоответствие нынешнего состояния образовательной системы и степени развития цифровых технологий, а также связанных с ним социальных изменений. Отсюда возникает резкая необходимость пересмотреть роль архитектора в рабочих процессах формообразования и проектирования и, вместе с этим, обозначить новые области знаний, в которых можно было бы применить специфические склад ума и компетенции архитектора. Таким образом, встает задача фундаментальной переоценки основ профессии архитектора. Необходима переоценка взаимосвязи между видимой, созданной творчески архитектурной формой и ее вычислительным основанием.

В целом, программы для проектирования архитектуры и строительства играют ключевую роль в современной архитектурной практике, обеспечивая эффективность и точность проектирования, а также позволяя создавать более инновационные и сложные формы. Цифровые методы в проектировании и создании архитектурных форм повышает их эффективность, точность и экономичность. Это является ключевым моментом в контексте современного развития архитектуры и городского строительства. Лидирующие архитектурные студии, такие как Zaha Hadid Studio, NBBJ, Kokkugia, Arup, UNStudio и Nervous System, активно применяют алгоритмические методы проектирования. Это позволяет им создавать сложные архитектурные формы и обеспечивает более высокую точность в реализации проектов.

Проблема отсутствия холизма в современной архитектуре.

В рамках упомянутых архитектурных подходов происходит сплетение искусства с рядом социальных, естественных и точных наук. Междисциплинарность - новый эволюционный этап архитектуры, которая сегодня ведома множеством факторов и не подчиняется одним лишь веяниям в искусстве. Применение новых технологий и современных материалов в строительстве, внедрение параметрических и алгоритмических – все это многообразие методов и инструментов призвано для решение специфических задачи нашего времени. Однако, попытка эффективного использования технологий привела к появлению ряда трудностей, возникающих работе архитектора с новыми инструментами [141, p. 3198].

Создание архитектурной формы включает в себя несколько ключевых процессов: исследование задания по проектированию, преобразование задания в соответствующую архитектурной форме структуру и, наконец, синтез конечного объекта. В ходе выполнения данных процессов возникает проблема разработки

необходимых языков для преобразования архитектурного пространства. Поскольку новейшая архитектура подразумевает применение комбинированных методов моделирования сложных элементов, от архитектора, помимо понимания алгоритма действия и представления конечного результата, требуется определенный уровень компетенций и опыта в области компьютерных технологий.

Помимо этого, разнообразие существующих на сегодняшний день подходов может внести некоторую путаницу в понимании архитектором порядка его действий и усложнить ход его работы. На данный момент не существует цельного подхода проектирования, который бы объединял существующие методики в общую структуру. Такая задача представляется крайне сложной и ее еще только предстоит решить специалистами в будущем.

Проблема отсутствия идентичности городов.

Архитектурный стиль в истории искусства всегда представлял собой нечто масштабное, целостное и, как правило, повсеместное. На протяжении десятков, а то и сотен лет, стиль прошлого мог преобладать в формах городского пространства, очень медленно эволюционируя. Взглянув на сохранившиеся архитектурные сооружения прошедших веков, можно отследить характерные признаки и черты, присущие обществу в конкретное время и место. Конечно, исторически не все архитектурные стили развивались последовательно, некоторые, к примеру барокко и классицизм, все же сосуществовали и взаимодействовали между собой одновременно [43, с. 3-8]. Однако, ни в одну эпоху прошлого общество не сталкивалось с таким многообразием совершенно не схожих сооружений.

Появление новых технологических инструментов проектирования расширяет диапазон доступных архитектурных форм и материалов. Все это приводит к координатным изменениям внешнего вида зданий, того, как они вписываются в окружающую среду и какое впечатление создают у человека. В связи с перечисленными изменениями современная архитектура способна более точно отразить состояние общества и повлиять на социальное мышление и культуру. Дигитальная архитектура стремится к разнообразию сооружений, их необычности и непохожести к разрушению ряда консерваторских взглядов на архитектурную эстетику формы. Примечательной характеристикой новейшей архитектуры является именно ее чрезмерная многоликость, обусловленная развитием множества различных технологических методов и инструментов формообразования. С таким огромным количеством стилей существует некое ощущение потерянности и неопределенности в архитектуре. Большой объем разнообразных дизайнерских решений может породить развитие у людей отличных друга от друга вкусовых и эстетических предпочтений, что может привести к некоторой разобщенности общества.

Описанное можно трактовать как проблему поиска механизмов и средств, наделяющих городское пространство идентичностью, предающей ему некий смысл. Возникновение новейших архитектурных форм приводит к появлению композиционного хауса, в сочетании старого и нового.

В прошлом, архитектура выражала больше ценности и идентичность жителей через символы и монументы. Современные города, наоборот, часто лишены централизации и отличительных элементов, делая их обезличенными и хаотичными. Несмотря на поликультурность цифровой эпохи, современная архитектура редко отражает идентичность региона. Вместо этого, акцент делается на поверхностные декоративные элементы, не меняя при этом основную форму зданий [142, p. 36].

Как должен выглядеть современный город.

Современные IT-технологии играют большую роль в проектировании городского пространства. Сегодня любой крупный город обладает информационно-технологической структурой различной степени развития и влияния на социально-общественные процессы. Вместе с эволюцией городского пространства непрерывным внедрением в его структуру инновационных технологий появляется все большая необходимость в переосмыслении существующей концепции города. Городское пространство, ранее воспринимаемое просто как пространство обитания или же как некая декорация, сегодня обретает более одушевленное значение. Город становится гибким, начинает реагировать на действия человека, а его вычислительные процессы становятся все больше уподобляются процессам человеческого мышления. В то же время представление о современном мегаполисе все чаще ассоциируется с термином «smart city», подразумевающим городскую среду, ориентированную на следующие аспекты: достижение наибольшей эффективности в использовании ресурсов, снижение экономических трат, повышение качества жизни, а также снижение негативного влияния человеческой деятельности на окружающую среду [120, с. 13-17]. Исследование данных целей в процессе проектирования города однозначно транслирует общие ценности и стремления общества, что может в некоторой степени наделять город собственной идентичностью. К настоящему моменту ряд авторов отмечают преимущества системы устройства городской среды. Однако, на пути внедрения и последующего развития данной «smart-системы» проектировщики сталкиваются с серьезными трудностями. Главной из них видится необходимость определить, какой из сценариев появления «умного» города (рисунок В.1, Приложение Б) окажется наиболее эффективным: внедрение IT-технологий в структуру существующих городов или же возведение «умного» города с нуля. В рисунке В.1 на б) приведено сравнение возможных сценариев проектирования «умного» города [141, p. 3203].

Структурированное внедрение IT-технологий, обоснованное наибольшей эффективностью  
Плотная высокая застройка с озелененными пространствами.  
Кристаллическая структура города

Для выявления метода формообразования «умного» города, обладающего наибольшим потенциалом устойчивого развития, необходимо исследовать существующие примеры реализованных проектов, а также проанализировать большой массив сложных данных. Это представляется крайне сложной задачей, поскольку на данный момент сложно в полной мере проанализировать подобные города-эксперименты ввиду молодости данной концепции, получившей

развитие относительно недавно. Помимо этого, у исследователей возникает ряд других вопросов. Как повлияет внедрение различных информационных технологий на условия жизни? Какие комбинации технологических средств наиболее выгодно применять в различных ситуациях? И множество других вопросов, возможность ответить на которые представится только в будущем.

Цифровые технологии, такие как параметрическое и алгоритмическое проектирование, BIM, 3D-печать, виртуальная и дополненная реальность, все больше применяются для решения сложных архитектурных задач, создания инновационных форм и пространств, а также для повышения эффективности и качества строительных работ [74, с. 7].

Скорость и масштаб этой трансформации ожидаются только увеличиваться в ближайшем будущем по мере развития технологий и их более широкого применения. По мере того, как технологии будут продолжать эволюционировать и совершенствоваться, архитектура, вероятно, столкнется с еще большей степенью интеграции цифровых инструментов.

Это, в свою очередь, будет влиять на форму, функцию и эстетику зданий, на то, как они проектируются, строятся и используются. Эти изменения не только улучшат качество и эффективность архитектуры, но и обеспечат возможности для новых, еще неизведанных форм архитектурного выражения.

В рамках исследования «Базы данных анализа примеров зданий, которые отражают влияние цифровой технологий», мы углубились в изучение современных архитектурных достижений, которые демонстрируют влияние цифровых технологий на процесс архитектурного проектирования. Данное исследование фокусируется на анализе 38 значимых современных архитектурных объектов, спроектированных ведущими мировыми архитекторами. Эти здания являются не только символами архитектурных достижений нашего времени, но и отражают глубокое влияние высоких технологий и сложных вычислительных процессов на архитектурное формообразование. Например, Музей Гуггенхайма в Бильбао [248], созданный Фрэнком Гери, демонстрирует использование программного обеспечения из аэрокосмической отрасли; Олимпийский стадион в Пекине, известный как «Птичье гнездо» [249], представляет сложные геометрические формы, созданные благодаря компьютерному 3D-моделированию. Центр Гейдара Алиева в Баку, Азербайджан, спроектированный Захой Хадид<sup>4</sup>, использовал компьютерные алгоритмы для создания своей криволинейной и потоковой формы. Также, такие объекты, как «The Edge» в Амстердаме [250], спроектированный PLP Architecture, известный как одно из самых умных зданий в мире, в котором используются передовые цифровые технологии; Chicago Aqua Tower в Чикаго, разработанный Studio Gang Architects [251], примечательный своей волноподобной структурой; Talan Towers в Астане и Park View Office

---

<sup>4</sup>Как описала архитектор Заха Хадид: «...о 3D-моделировании. Это позволяет делать предметы в единичном экземпляре с минимальными затратами. Здания так делать нельзя, потому что они требуют инженерной проектировки — но думаю, это тоже вопрос времени. Уже сейчас никто не распечатывает чертеж, все делается по электронной почте. Это исключает ошибки, неизбежные при работе вручную. Фактически эта технология эквивалентна тем, что использовались в автомобиле- и авиастроении». Наоми. (2013). Интервью с гениальной архитекторшей Захой Хадид. <https://arbatovagidepar.livejournal.com/988314.html>

Tower в Алматы, оба проекта Skidmore, Owings & Merrill, демонстрирующие устойчивые технологии и энергосбережение; и One Central Park в Сиднее, разработанный Ateliers Jean Nouvel, известный своими вертикальными садами. Особое внимание уделяется работам Захи Хадид, таким как Лондонский Акватический центр и Центр Гейдара Алиева в Баку, которые показывают уникальное использование компьютерного моделирования для создания волноподобных и потоковых форм.

Это лишь некоторые из проанализированных нами зданий, демонстрирующих разнообразие и инновационность современной архитектуры. Полный перечень изученных объектов, включая дополнительные здания, в прилагаемой таблице (таблица В.1, [252-285]; Приложение В), которая детально иллюстрирует уникальные характеристики каждого проекта и их вклад в развитие архитектурного искусства.

Подытожив, можно сказать цифровые технологии становятся все более необходимостью для современной архитектуры, и ожидается, что их влияние будет только увеличиваться в будущем. Они преобразуют традиционные подходы, увеличивают скорость и точность работы, предоставляют больший контроль над процессом и открывают новые горизонты для творческого выражения. Таким образом, с использованием цифровых технологий в архитектурном формообразовании порождает новые вершины и вызовы, делая архитектуру интерактивным и устойчивым.

### **3.2 Влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование**

В эпоху компьютеризации и интернета меняется и архитектура. Теперь важно, чтобы здание было не только красивым и удобным, но, и чтобы оно хорошо работало с новыми технологиями. Это добавляет новые задачи архитекторам, такие как создание здания, которое легко адаптируется к изменениям. Все это возможно благодаря компьютерам, которые помогают в проектировании и строительстве.

Цифровизация требует не только технических инноваций, но и изменений в культуре организации, таких как гибкость, инновационность и способность адаптироваться к быстро меняющейся среде. Она также подразумевает активное использование цифровых платформ, аналитики данных, искусственного интеллекта, облачных сервисов и цифровых каналов коммуникации [50, с. 831-382].

В целом, цифровизация отличается от традиционной автоматизации тем, что она представляет собой более широкий и глубокий процесс, который включает изменение бизнес-моделей, управленческих практик и культуры организации.

Мир информационных технологий вносит свою лепту в развитие современной архитектуры, создавая новые перспективы взаимодействия человека с пространством. Одним из наиболее перспективных направлений является создание интерактивных пространств и различных приложений, которые обеспечивают уникальные возможности для пользовательского взаимодействия с архитектурой и окружающей средой.

Жан Бодрийяр исследовал концепции симуляции и гиперреальности, подчеркивая, что в современном мире моделированные изображения и виртуальные пространства могут стать «реальнее», чем их физические аналоги. Он утверждал, что технологии и медиа создают окружение, в котором границы между реальностью и ее представлением становятся размытыми. Эта идея прямо относится к цифровой архитектуре, где виртуальные модели и симуляции становятся интегральной частью процесса проектирования и могут влиять на восприятие и взаимодействие с реальным архитектурным пространством [8, с. 163-171].

Пьер Леви поднимает концепцию коллективного интеллекта, рассматривая способы, которыми информационные технологии расширяют и усиливают человеческое мышление на коллективном уровне. Он также исследует виртуальные миры как пространства для совместной деятельности и обмена знаниями. В контексте эволюции цифровой культуры в архитектуре, идеи Леви указывают на потенциал создания архитектурных пространств, которые поддерживают этот коллективный обмен и взаимодействие в виртуальном контексте [13, р. 44-46].

В эпоху цифровой мобильности и глобальной связанности, концепция интерактивного пространства предполагает создание среды, которая адаптируется и реагирует на действия и потребности пользователей. Это достигается благодаря внедрению современных технологий, таких как сенсоры, алгоритмы искусственного интеллекта и облачные сервисы, которые обеспечивают динамичное и персонализированное взаимодействие с пространством.

Мобильные приложения становятся эффективным инструментом взаимодействия пользователей с архитектурными объектами и пространствами. Они могут предоставлять пользователю информацию о здании, включая историю его создания, архитектурные особенности, функции и услуги. Кроме того, мобильные приложения могут стимулировать пользователей к активному участию в интерактивных играх, художественных и образовательных проектах, связанных с архитектурой и пространством. Таким образом, применение интерактивных пространств и мобильных приложений в архитектуре открывает новые перспективы для создания гибких, адаптивных и пользовательских пространств, которые обогащают жизненный опыт и повышают качество окружающей среды.

Карлос Л. Маркос исследует трансформацию архитектурных методов под влиянием цифровых инструментов. Он подчеркивает, что многие проектировщики ограничиваются традиционным использованием этих инструментов, игнорируя их потенциал открывать новые подходы к дизайну. Маркос акцентирует внимание на росте сложности цифровых проектов, возможностях открытых форм, таких как параметрическое проектирование, и роли компьютеров как активных партнеров в процессе творчества. Он завершает анализ диалогом между сложностью и простотой в современной архитектуре.

Наступление цифровой эры в архитектурном дизайне привнесло новые возможности и изменения в самом языке архитектуры. Тем не менее,

действительно существенное воздействие компьютера ощущалось лишь небольшим количеством архитекторов, в основном теми, кто осознал революционные изменения, которые цифровое проектирование может принести в творческий процесс. По этой линии, Митчелл отнес к разным категориям архитекторов на тех, кто использует цифровые инструменты для повышения эффективности своей работы, и тех, кто осознает и применяет уникальные характеристики этих инструментов для изменения своего подхода к дизайну.

Цифровые технологии, включая параметрическое, алгоритмическое моделирование, существенно расширяют творческий потенциал в области архитектуры. Эти инструменты позволяют реализовать трудоемкие проекты, оптимизируют сам процесс проектирования, принося эффективность в расходовании времени и ресурсов. В результате этих инноваций возникают новые стили и формы в архитектуре. Следует отметить, что цифровая культура и социально-культурные факторы тоже влияют, способствуя интеграции архитектуры с другими областями знаний.

Важной частью влияния цифровой культуры на архитектуру является возможность визуализации проектов. Современные программные решения позволяют архитекторам визуализировать свои идеи в высоком качестве, делая их более понятными и доступными для заказчиков и общественности.

Программы, предназначенные для проектирования архитектуры и строительства, стали важными инструментами в архитектурной практике. Они предоставляют архитекторам широкие возможности для создания, анализа и оптимизации проектов, а также для визуализации архитектурных идей. Среди таких программ можно выделить системы параметрического моделирования, 3D-моделирования и компьютерного проектирования, которые позволяют создавать более сложные и инновационные формы, управлять различными параметрами проекта и выполнять точные расчеты.

Такие программы также включают в себя инструменты для анализа и оптимизации проектов с точки зрения различных параметров, таких как энергоэффективность, устойчивость и функциональность. Это позволяет архитекторам принимать более обоснованные и информированные решения на всех этапах проектирования и строительства. Кроме того, современные программные решения обеспечивают эффективную визуализацию архитектурных проектов, что позволяет архитекторам лучше представить свои идеи заказчикам и общественности. Они также способствуют автоматизации процесса проектирования и созданию детализированных проектных документов.

Это дает возможность получать обратную связь и принимать корректировки еще до начала строительства. Цифровые технологии, применяемые в современной архитектуре, охватывают разнообразие уровней и сфер деятельности. Они используются для оптимизации процесса проектирования, обеспечивают более высокую точность выполнения работ и способствуют лучшему взаимодействию между архитектурой и ее потребителями.

Донна Харауэй, известная своей концепцией киборгов, представляет взгляд на гибридность человека и машины в современном обществе. Её идеи

подчеркивают размывание границ между биологическим и искусственным, предлагая новые пути понимания взаимодействия человека с технологией. В контексте архитектуры и цифровой культуры, это может указывать на новые подходы к проектированию пространств, где человеческие и технологические агенты сосуществуют и взаимодействуют на равных [11, с. 8-9].

Применение цифровых технологий не ограничивается созданием моделей и планов зданий. Они также включают в себя разработку интерактивных приложений, которые облегчают взаимодействие пользователей с архитектурой. Это может включать в себя программы для виртуальных туров по зданиям, обучающие приложения и многое другое [147, р. 35-38].

Таллиннская архитектурная биеннале является платформой, ориентированной на дискуссии о современной архитектуре и городе. Это мероприятие проводится раз в два года и предоставляет возможность молодым архитекторам и дизайнерам разработать павильон, демонстрирующий новые инновации в отрасли. В 2019 году павильон был спроектирован совместной командой, включающей Гвиллима Яна, Кэмерона Ньюнхэма (голограмма), Soomeen Nahm Design и Игоря Пантича, с тесным сотрудничеством с инженерами формата.

В процессе создания и проектирования павильона не использовались традиционные чертежи или программирование с использованием компьютерных числовых систем управления (ЧПУ). Вместо этого команда применила экспериментальный подход, полностью ручное изготовление, используя информацию о дизайне, предоставляемую через голографическую платформу Fologram в дополненной реальности. Это требовало тесного сотрудничества между всеми членами команды. Инженеры и дизайнеры вместе работали над разработкой и оптимизацией геометрии, а также конструктивных характеристик и возможностей сборки павильона. Павильон сконструирован из деревянных планок, формованных с применением паровой гибки и голографических методов. Используемые материалы и методы обеспечили дополнительную прочность конструкции. Разработкой занималась команда мастеров Sean Guy, Xavier Madden, Nick van den Berg и многие другие [150].

Архитектурная биеннале в Таллине фокусируется на исследовании и дискуссии проблем архитектуры и городского пространства. Это двухгодичное событие дает возможность молодым архитекторам и дизайнерам создать павильон, демонстрирующий инновационные подходы в архитектуре. Павильон, созданный в 2019 году, был результатом совместной работы Гвиллима Джана, Кэмерона Ньюнхэма (Fologram), Soomeen Nahm Design и Игоря Пантика в тесной кооперации с Format Engineers. В процессе его разработки и изготовления отказались от привычных чертежей или ЧПУ-программирования. Напротив, команда использовала экспериментальный подход, полностью ручного исполнения, основываясь на информации о дополненной реальности, представленной производителями через голографическую платформу Fologram.

Это подразумевало необходимость тесного взаимодействия между всеми членами команды. Инженеры из Format Engineers сотрудничали с дизайнерами в процессе разработки и оптимизации геометрии, структурных характеристик и

возможностей сборки установки. Павильон представляет собой сложный комплекс скрученных деревянных полос, которые сочетаются в динамичном движении, исследуя идеи внутреннего и внешнего пространства, поверхности и объема. Основной задачей было создание такой конструкции, используя только стандартные доски размером 100x10 мм. Деревянные полосы были индивидуально формируемы с помощью пара- и адаптивных форм, основанных на голографических моделях. Скручивание деревянных элементов обеспечивает дополнительную прочность и устойчивость к сжатию в этой композитной конструкции из дерева и стали.

Визуализация и коммуникация - в цифровой эпохе архитекторам и клиентам предоставляются более точные и реалистичные средства визуализации проектов. 3D-моделирование, виртуальная реальность и дополненная реальность позволяют лучше представить и оценить архитектурные решения, а также обеспечивают более эффективное взаимодействие между всеми участниками проекта [154]. В рамках исследования цифровизации и его влияние на формообразование в архитектуре показывает, что алгоритмическое и генеративное проектирование, цифровое производство (3D-печать, CNC) и интернет вещей (IoT) могут иначе влиять на представления о проектировании. Можно сказать, что цифровая культура не только радикально изменяет инструментарий, доступный архитекторам, но и расширяет философские рамки, в которых они работают, внося элементы устойчивого развития, эффективности и интерактивности в процесс формообразования.

В контексте изучения технологического прогресса и его влияния на архитектуру, мы можем рассмотреть размышления известного архитектора Захи Хадид.<sup>5</sup> В одном из своих интервью она сравнивает влияние технологий на архитектуру с революционными идеями супрематизма, подчеркивая трансформацию, вызванную компьютерным прогрессом. Она утверждает, что технологическая революция коснулась всех аспектов архитектуры, особенно процесса формовки, делая его бесшовным и устраняя любые препятствия между концепцией и её реализацией. Эти наблюдения Хадид можно рассматривать в контексте нашего исследования перспектив развития цифровой культуры в архитектуре Казахстана. Проекты, такие как описанный ею проект в Баку, демонстрируют, как цифровые технологии обеспечивают целостность и когерентность архитектурных форм, что соответствует глобальным тенденциям, но также открывает дискуссию о региональных особенностях их применения. В рамках диссертации мы анализируем, как такие подходы можно адаптировать и интегрировать в архитектурную практику Казахстана, учитывая местные

---

<sup>5</sup> Как отмечала выдающаяся архитектор Заха Хадид: «...когда я только начинала работать, то понимала, что грядет технологическая революция, но не знала, где именно она случится. В результате компьютерный прогресс поменял все вокруг. Это касается и архитектуры — особенно формовки, которая стала совершенно бесшовной. Я имею в виду не только то, что современное здание буквально сливается с землей, но и то, что отсутствует всякий зазор между идеей и ее производственным воплощением. Например, сейчас мы делаем потрясающий проект в Баку, где как раз используется эта технология, для того чтобы добиться целостности. Все стало гораздо проще. Вместо того чтобы производить стулья в Лондоне и потом переправлять их в Америку, можно просто доставить это устройство в нужное место». Наоми. (2013). Интервью с гениальной архитекторшей Захой Хадид. <https://arbatovagidepar.livejournal.com/988314.html>

культурные, социальные и экономические условия. Это дает основу для обсуждения в разделе о технологических инновациях, где мы рассматриваем влияние цифровизации на процессы проектирования и строительства, а также возможности, которые она открывает для создания более устойчивых и адаптируемых к окружающей среде архитектурных решений.

В этом цифровая культура оказывает значительное влияние на архитектурное формообразование, обогащая его новыми формами и идеями. Функциональные возможности цифровой культуры в архитектурном формообразовании на современном этапе включают в себя улучшенное моделирование, визуализацию и коллаборацию, а также высокий уровень автоматизации и оптимизации процесса проектирования [47, с. 43-44].

Например, 3D-моделирование радикально меняет подходы к дизайну, позволяя архитекторам визуализировать сложные концепции и экспериментировать с формами в трехмерном пространстве. Это открывает новые перспективы для творчества, которые были недоступны при работе только с двумерными планами.

Алгоритмическое или генеративное проектирование, привносящее в архитектуру силу компьютерных алгоритмов. Эти технологии способствуют созданию уникальных форм и структур, которые были бы невозможны при использовании исключительно традиционных методов проектирования. Это направление открывает новые возможности для инноваций и дает архитекторам инструменты для реализации самых смелых идей.

Виртуальная реальность (VR) добавляет еще один уровень взаимодействия с архитектурными проектами. Она позволяет архитекторам и клиентам погружаться в создаваемые пространства, предлагая более полное и объемное восприятие архитектурных форм и концепций, что существенно отличается от традиционного взгляда через двухмерные чертежи.

Технологии цифрового производства, такие как 3D-печать и CNC-фрезерование, открывают новые горизонты в создании сложных архитектурных элементов и деталей. Эти методы позволяют материализовать сложные проекты с высокой точностью и детализацией, что раньше было трудно достижимо.

Искусственный интеллект и машинное обучение приносят в архитектуру элемент автоматизации и оптимизации. Они могут анализировать большие объемы данных, помогая архитекторам принимать решения, основанные на сложных аналитических данных, что повышает эффективность и точность проектирования.

Интернет вещей (IoT) трансформирует архитектурные пространства, делая их более адаптивными и интерактивными. Внедрение датчиков и устройств, подключенных к сети, позволяет собирать данные и управлять пространствами в реальном времени, что делает архитектуру более отзывчивой к потребностям и поведению пользователей.

В контексте развития цифровой культуры в архитектуре была разработана теоретическая модель, представлена в виде рисунка, демонстрирующей взаимосвязь между ключевыми факторами и механизмами цифровых технологий. В ее основу легли алгоритмы и программное обеспечение, а также

большие данные и облачные технологии, каждый из которых играет свою роль в этом процессе.

Алгоритмы и программное обеспечение служат фундаментом для создания и реализации цифровых проектов в архитектуре. Они обеспечивают необходимую автоматизацию и помогают архитекторам воплощать в жизнь сложные дизайнерские идеи. Интеграция этих инструментов с другими областями знаний, такими как инженерия и экология, открывает новые возможности для создания более комплексных и устойчивых проектов.

Большие данные играют важную роль, предоставляя архитекторам информацию для лучшего понимания потребностей пользователей. Анализ этих данных позволяет оптимизировать проекты на основе реальных потребностей и поведения. Облачные технологии, в свою очередь, поддерживают совместную работу, обеспечивая доступ к проектным данным в реальном времени для всех участников проекта, что существенно улучшает координацию и эффективность.

Не менее важным является учет социальных и культурных факторов. Они оказывают значительное влияние на архитектуру, подчеркивая необходимость учитывать общественные ценности, историю и культурный контекст в проектировании. Пересечение всех этих аспектов в центральной части модели подчеркивает необходимость комплексного подхода для развития цифровой культуры в архитектуре. Такой подход открывает новые горизонты для междисциплинарного взаимодействия, делая процессы проектирования и строительства более адаптивными к потребностям современного общества (рисунок В.2, Приложение В).

Эта диалектика взаимодействия приводит к кардинальному изменению принципов архитектурного формообразования, акцентируя внимание на таких факторах как интерактивность, адаптивность и гибкость. Цифровая культура в архитектуре порождает новые направления и инструменты, включая алгоритмы и программное обеспечение, большие данные, облачные технологии, а также интеграции с другими областями знаний. В этом контексте особое место занимают законодательство и регулирование, а также социальные и культурные факторы. Изучение этих механизмов и взаимодействий является актуальным направлением современной архитектурной науки и практики. Изучая применение современных технологий, предоставляют архитекторам возможность создавать более сложные и инновационные формы (рисунок В.3, Приложение В).

В рамках исследования были опрошены специалисты в области цифровой архитектуры. Участники опроса поделились своими представлениями о цифровой культуре, применении цифровых технологий в архитектуре и о том, как цифровая культура влияет на формирование форм, вопросы о роли «цифровой культуры» в философии архитектуры и её влиянии на архитектурное формообразование, а также о влиянии цифровых технологий на взаимодействие с архитектурой и необходимых навыках современного архитектора, подчеркивают комплексное влияние цифровизации на архитектурную практику. Респонденты обращают внимание на то, как цифровая культура влияет на форму,

функцию, эстетику зданий и взаимодействие людей с архитектурой, подчеркивая роль сетевых взаимодействий, размывание границ и интеграцию информационных технологий в архитектурное проектирование. Акцентируется значимость алгоритмического проектирования, 3D-моделирования и виртуальной реальности в создании сложных форм и обогащении взаимодействия с проектами. Одновременно, подчеркивается необходимость владения современными программами, понимания искусственного интеллекта, культурных особенностей и принципов устойчивого развития, а также ценность непрерывного обучения и командной работы. Эти ответы свидетельствуют, что цифровая культура представляет собой не только техническое новшество, но и глубокое философское и культурное влияние на современную архитектурную практику и образование. Также, выявлены преимущества и недостатки цифровизации, включая обучение и развитие навыков в области цифровых технологий. Кроме того, участники выразили свои предположения и прогнозы относительно будущего архитектуры в контексте всеобщей цифровизации. Результаты развернутого интернет-опроса, направленного на определение современных представлений профессионалов о влиянии цифровой культуры на архитектуру указаны в таблице В.3, с I по VI раздела).

В части исследования, которая касается осмысления цифровой культуры, респонденты выразили свои взгляды на все увеличивающуюся роль этого явления в нашей жизни, в частности, в области архитектуры (таблица В.3; 1-ый раздел опроса №1-5).

В разделе по применению цифровых инструментов речь шла о том, как эти технологии влияют на создание зданий. Особое внимание уделялось тому, как 3D-моделирование и компьютерный дизайн меняют способы проектирования (таблица 3.5; 2-ой раздел опроса №1-6).

В третьем разделе рассматривались плюсы и минусы использования цифровых технологий в архитектуре. Обсуждались темы, по улучшению качества проектов, доступ к образованию и проблемы неравенства в доступе к цифровым ресурсам. Также поднимался вопрос о том, какие навыки и умения нужны для работы с новыми архитектурными программами (таблица В.3; 3-й раздел опроса №1-8).

По результатам анализа Результаты развернутого интернет-опроса, направленного на определение современных представлений профессионалов о влиянии цифровой культуры на архитектуру дали следующие выводы.

В связи с развитием цифровизации профессия архитектора в настоящее время претерпевает значительные изменения и выходит другой уровень. В будущем, цифровая культура приведет к тому, что архитектура будет тесно связана с IT и искусственным интеллектом, появятся новые методы и материалы для строительства [64]. Однако у всего есть последствия, и за всеми реализованными возможностями следуют новые вызовы. Здесь появляется проблема необходимости обучения и развития новых навыков, вопросы

безопасности и конфиденциальности, а также необходимость адаптации к новым ролям и процессам в связи с проникновением цифровых технологий в область архитектуры. При использовании цифровых технологий, к примеру, в случае создания «умных» зданий и городов, у владельцев могут появиться новые риски безопасности. Здесь также потребуется разработка новых стратегий и механизмов, которые будут обеспечивать защиту данных и информации. Третий вызов рассматривает адаптацию к новым процессам проектирования. Поскольку профессия архитектора под влиянием цифровой культуры означает, что архитекторы будут сталкиваться с новыми задачами и ответственностями, это может потребовать изменения установившихся процессов работы и взаимодействия.

Таким образом, цифровые технологии кардинально меняют архитектуру во многих аспектах, начиная от концепции и идеологии здания до того, как они могут повлиять на общество. В этой связи актуальность дальнейших исследований влияния цифровых технологий на архитектуру становится очень важной. Они помогут нам понять, какие возможности и проблемы могут возникнуть, когда эти две области начинают переплетаться, чтобы мы могли лучше планировать и строить будущие пространства.

Модель «Влияние цифровых технологий на стили и процесс формообразования в архитектуре» иллюстрирует пересечение цифровых технологий, социальных и культурных факторов в архитектурном дизайне. Она показывает, как взаимодействие этих трех аспектов приводит к созданию новых форм и стилей в архитектуре, а также влияет на процесс формообразования.

1. Социальные и культурные воздействия вносят вклад в архитектуру, влияя на создание дизайна, который отражает текущие тренды, общественные ценности и культурные особенности.

2. Цифровые технологии предоставляют инструменты и методы, которые позволяют архитекторам воплощать в жизнь инновационные идеи, отвечающие современным техническим и функциональным требованиям.

3. Архитектура представляет собой конечный продукт, который объединяет социальные и культурные аспекты с возможностями, предоставляемыми цифровыми технологиями, для создания физических структур и пространств.

Пересечение всех трех сфер подчеркивает, что новые формы и стили в архитектуре возникают на стыке инновационных технологий и социокультурных трендов. Это подтверждает то, что процесс архитектурного формообразования является мультидисциплинарным и интегрированным, требующим учета как технологических инноваций, так и социально-культурных факторов для создания значимой и релевантной архитектуры (рисунок В.4, Приложение В).

Согласно результатам интернет-опроса в формате гугл-формы, большинство респондентов, а именно 73,3%, считают, что использование цифровых технологий в архитектуре способствует появлению новых архитектурных стилей и направлений. В то время как 16,7% не согласны с этим

утверждением, и 10% воздержались от ответа. Большая часть участников опроса, 86,7%, убеждена, что цифровая культура оказывает активное влияние на современную архитектуру, в то время как всего 3,2% не считают это значимым, и 10% не высказали своего мнения. Относительно влияния цифровых технологий на качество традиционной архитектуры мнения респондентов неоднозначны: 32,1% считают, что цифровые технологии могут ухудшить качество традиционной архитектуры, в то время как 46,4% не согласны с этим и считают, что они не оказывают негативного влияния, а 21,4% воздержались от ответа. На рисунке В.5 представлены результаты опроса по вопросам влияния цифровой культуры на современную архитектуру.

### **3.3 Проблемы архитектурного цифрового формообразования**

Стремительный прогресс в сфере компьютерных технологий подразумевает глобальное внедрение инновационных методов и инструментов в процессы архитектурного формообразования. Глобальная компьютеризация привносит в профессиональное образование и архитектурное проектирование новую методологию, базирующуюся на инженерном подходе. Появляется все больше различных компьютерных программ, позволяющих ускорить и облегчить процессы проектирования. Меняются эстетические и функциональные требования к архитектуре. Однако, несмотря на цифровые технологии решают ряд проблем традиционного проектирования, по мере внедрения новых технологий архитекторы сталкиваются с новыми вызовами, которые необходимо преодолеть в ближайшем будущем.

Создание архитектурной формы включает в себя несколько процессов. Исследование задания по проектированию, преобразование заданного в аналогичную структуру «выходного языка», и, наконец, синтез конечного объекта по заданной структуре. В ходе выполнения данных процессов возникает проблема разработки необходимых языков для преобразования архитектурного пространства. Поскольку новейшая архитектура подразумевает применение комбинированных методов моделирования сложных элементов, от архитектора, помимо понимания алгоритма действия и представления конечного результата, требуется определенный уровень компетенций и опыта в области компьютерных технологий.

В условиях глобализации и ускоренных социальных изменений архитекторы все чаще работают в международных и мультидисциплинарных контекстах, что требует от них не только технической грамотности, но и гибкости, адаптивности и способности к быстрому обучению. Сегодня архитектору приходится в значительной степени менять отношение к компьютерным технологиям. Требуется глобальное переосмысление роли человека-архитектора в процессах строительства и проектирования объектов искусственного окружения. Цифровое сознание определяется как проектировочная стратегия, при которой архитектор или дизайнер рассматривает компьютер не только как инструмент, но и как участника команды. Вопрос сложности был в центре обсуждений на протяжении всей

истории компьютерного проектирования в архитектуре. Митчелл привлекал внимание к понятию сложности как количеству проектных решений в контексте общего масштаба проекта. В этом контексте, чем больше информации или параметров необходимо для определения конкретной геометрии, тем выше ее сложность. Также, количество операций, требуемых для создания архитектурного элемента, также указывает на его сложность. Примером такого сложного дизайна может служить C\_Wall от MATSYS, который демонстрирует высокий уровень дизайнерского контента при относительно небольшом строительном объеме [113, p. 81-86].

Проблемы в формообразовании параметрической архитектуры.

Параметрическая архитектура уже более десятилетия успешно развивается в рамках авангардного дизайна, однако только с недавних пор данное направление стало претендовать на роль ведущего стиля «цифровой» эпохи [73, с. 54]. Являющийся ответом на затянувшийся кризис модернизма параметризм создает многоуровневую, непрерывно и плавно развивающуюся городскую среду.

Однако, не смотря на безграничный потенциал можно несколько важных проблем параметрического формообразования в современной архитектуре. В отношении данного стиля сегодня существует явная проблема взаимосвязи функции, формы и взаимодействия с окружением [152, p. 135]. Зачастую параметрические проекты характеризуются главенством формы над функциональностью сооружений. Большинство зданий напоминают абстрактный арт-объект, в них не ощущается ориентированность на человека, на его физический и психологический комфорт. Помимо этого, являясь в некотором роде экспериментами с формой здания в стиле параметризм зачастую проектируются с пренебрежением эргономическими нормативами, а также нерациональным использованием пространства и материалов. В качестве примера скудной функциональности сооружения можно отнести конструкцию Метрополя Парастоля, расположение и перерасходы в строительстве которого явились предметом общественной критики. Другим примером является небоскреб Sunrise Tower в Куала-Лумпур, конструкция которого жертвует частью площадей в пользу скульптурной формы. Также, чаще всего параметрические здания не кажутся привязанными к окружению и его контексту. Параметрические формы обладают некой концептуальной агрессивностью, притягивая все внимание на себя и не являясь частью архитектурной композиции.

Итоги анализа указывают на динамичное развитие архитектурной теории, опережающее адаптационные возможности образовательных институтов и профессиональной практики. Проблематика затрагивает не только сферу образования, но и фундаментальные аспекты архитектуры как научной дисциплины, особенно в контексте функциональной роли теории в процессе формообразования. Наблюдается диссонанс между скоростью структурных изменений в программировании и способностью архитектурной отрасли к адаптации. Результаты развернутого интернет-опроса и анализа текущего материала демонстрируют, что цифровая культура в архитектуре сталкивается с

целым рядом проблем, которые можно классифицировать как культурные и технологические. Сюда входят трудности интеграции, отсутствие стандартизации, высокие затраты на внедрение новых технологий, нехватка квалифицированных специалистов и вопросы, связанные с безопасностью данных.

В процессе исследования исторических объектов архитектуры ученые сталкиваются с проблемами при работе с виртуальными моделями архитектурных сооружений. Основная сложность заключается в сборе достаточного объема данных для точного моделирования. Иногда удается облегчить эту задачу, преобразуя данные в формат, который можно использовать в компьютерных программах, но это не всегда возможно, что увеличивает время работы над моделью. Также важно правильно выбрать программное обеспечение для моделирования и демонстрации результатов. Этот выбор влияет на качество модели и скорость её создания. Еще один аспект – это проверка достоверности моделей, что важно для точности воссоздания исторических объектов.

Автор Н.А. Рочегова подчеркивает, что, несмотря на глобальную смену парадигмы в архитектуре и возрастающий потенциал новых технологий, в современных проектах ощущается недостаток глубоких предпроектных исследований. Экономические проблемы ограничивают инвестиции в начальные этапы проектирования, что приводит к парадоксу: несмотря на развитие цифровых инструментов, многие проекты выполняются традиционными методами [81, с. 1-10].

Набирающая все большее распространение технология ИИ также связана с рядом трудностей, возникающих на пути ее внедрения в процессы цифровой архитектуры. Здесь можно отметить сложность применения ИИ в реалиях существующей архитектуры, вопросы о конфиденциальности данных и объективности систем. Также, на сегодняшний день ведется серьезное обсуждение того, насколько глубоко ИИ интегрируется в жизнь человека и как именно будет взаимодействовать с ним в будущем. Еще одна группа проблем, возникающих в современной практике, связана с запросом к изменению самого объекта архитектуры, а именно, пространства города, в котором обитает человек. Специалисту-архитектору приходится учитывать укрепление связей между реальным и виртуальным мирами, в условиях которого окружающая среда быстро трансформируется.

Несмотря на огромные преимущества нестандартных объектов современной архитектуры, множество молодых архитекторов сталкиваются с трудностями на пути реализации своих проектов. Академический стиль в высших архитектурных кругах все еще остается эталоном, а экспериментальные инициативы зачастую не поддерживаются и могут не пройти этапы согласования. Такое положение сдерживает естественное развитие дисциплины и ограничивает творческий потенциал архитекторов, стремящихся выходить за рамки привычных подходов [43, с. 2]. С целью решения ряда проблем, существующих сегодня в архитектурном сообществе, в Европе по инициативе Хелен де Мандро был создан «Международный Конгресс Современной Архитектуры». Своими задачами участники конгресса ставят достижение

свободы архитектурной концепции, а также профессиональную поддержку архитекторов разных стран и предоставления им некой идеологической основы. В результате обсуждений было определено одно из возможных решений сдерживающего фактора промышленной стандартизации – комплексное градостроительство, суть которого заключается в рассмотрении города как единого комплекса со своими индивидуальными потребностями. Позднее конгрессом был создан «Международный Комитет по решению современных архитектурных проблем», ставящий перед собой следующие подлежащие к выполнению задачи:

- создание новой архитектурной программы;
- определение современной архитектурной идеи;
- введение данной идеи в технические, социальные и экономические области;
- предоставление решений архитектурных проблем.

Создание мировой организации, адресующей проблемы современной архитектуры является вдохновляющим примером и позволит в будущем справляться с новыми вызовами быстрее и эффективнее благодаря объединению опыта архитекторов разных стран.

Исходя из вышеизложенного составлена теоретическая модель, которая отражает проблемы, возникающие при интеграции цифровых технологий в архитектурное формообразование. Модель дифференцирует эти проблемы на культурные и технологические аспекты.

Культурный аспект подчеркивает, что внедрение цифровых технологий может привести к унификации культурной идентичности, поскольку технологии могут ассимилировать уникальные региональные стили в архитектуре. Это может привести к потере культурного разнообразия и идентичности, что является значительным социокультурным вызовом.

С технологической стороны, модель указывает на сбои в технологических системах, которые могут привести к зависимости от определенных платформ и ориентации на клиента в ущерб проекту. Также поднимается вопрос о конкуренции и возможной унификации проектных процессов.

Среди других технологических проблем модель выделяет сложность интеграции новых технологий из-за необходимости адаптации к текущим процессам, отсутствие стандартизации, создающее проблемы совместимости и сотрудничества, а также высокие затраты на внедрение, включая программы, оборудование и обучение. Кроме того, указывается на нехватку квалифицированных специалистов для работы с новыми инструментами и повышенный риск кражи интеллектуальной собственности.

Результаты исследования проблемы цифровой культуры в архитектурном формообразовании выявило в двух ключевых направлениях. В этом модель акцентирует внимание на необходимости более глубокого и критического подхода к интеграции цифровых технологий в архитектурное проектирование, что подчеркивает необходимость комплексного взгляда на возможные проблемы и их решения (рисунок В.6, Приложение В).

Таким образом, определено как цифровая культура повлияла на изменение подходов в архитектурном формообразовании, в том числе и в формулировании принципов проектирования. В целом, третий раздел представляет собой исследование цифровых технологий в архитектуре, подчеркивая их влияние на современные подходы к проектированию, освещает диалектические взаимоотношения между архитектурой и цифровой культурой, подчеркивая взаимное «сращивание», обмен и обогащение между специфическими «предметами» этих областей.

#### **Выводы по третьему разделу**

1. Проведенный развернутый анализ влияния цифровых технологий на современные тенденции в архитектурном формообразовании, включая детальное изучение конкретных примеров зданий, показал, что цифровизация открывает новые горизонты в дизайне и планировании архитектурных пространств. Использование инновационного арсенала 3D-моделирования и виртуальной реальности позволяет создавать более сложные и вместе с тем функциональные формы, что в значительной степени обогащает архитектурный ландшафт.

2. Исходя из проанализированных данных, можно сделать вывод, что систематизированные ключевые направления цифровизации в архитектуре и их влияние на формообразование подчеркивают значимость алгоритмического и генеративного проектирования. Эти подходы способствуют созданию инновационных и функционально обоснованных архитектурных решений, что демонстрируется на примерах современных зданий с уникальной геометрией и функциональной структурой.

3. Исследование показало, что разработанная модель, описывающая факторы и механизмы цифровой культуры в контексте архитектуры, эффективно иллюстрирует взаимосвязь между технологическими инновациями и эволюцией архитектурных форм. Это демонстрирует то, как интеграция цифровых технологий способствует адаптации и росту архитектурного искусства.

4. Созданная модель, иллюстрирующая влияние цифровых технологий на стилистические и формальные аспекты в архитектуре, демонстрирует переход от традиционных методов к новаторским технологическим подходам. Она отражает, каким образом инновации в области искусственного интеллекта и машинного обучения приводят к появлению новых архитектурных стилей и форм, обогащая архитектурный ландшафт и предлагая новые возможности для экспериментов.

5. На основе вышеизложенного, исследование проблем и негативных последствий, связанных с применением цифровых технологий в архитектуре, выявляет важные аспекты, связанные с устойчивостью, этикой и доступностью технологий. Это подчеркивает необходимость баланса между инновациями и сохранением традиционных архитектурных ценностей, а также акцентирует внимание на потенциальных рисках и сложностях, с которыми может столкнуться архитектурная сфера.

## **4 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В данном разделе освещаются актуальные методы архитектурного проектирования в эпоху цифровизации. Подраздел 4.1 посвящен обзору инструментов цифрового проектирования, применяемых в современной архитектуре, и их роли в формировании архитектурного облика. Подраздел 4.2 рассматривает специфику применения BIM-технологии в архитектуре, её преимущества и особенности работы с ней. Подраздел 4.3 уделён VR-технологиям и их вкладу в процесс архитектурного проектирования, а также возможностям, которые они предоставляют профессионалам. Выводы по разделу интегрируют полученные знания, подчеркивая значимость и актуальность современных методов проектирования в архитектуре.

### **4.1 Инструментарий цифрового проектирования в современной архитектуре**

В современной архитектуре цифровое проектирование стало неотъемлемой частью процесса создания зданий. Различные инструменты и программные средства помогают архитекторам визуализировать, анализировать и оптимизировать проекты. CAD-программы позволяют архитекторам создавать и редактировать двухмерные и трехмерные модели зданий. Они предоставляют широкий спектр инструментов для рисования, создания объектов, настройки размеров и масштабирования моделей. CAD-программы также обладают возможностями импорта и экспорта данных, что облегчает совместную работу с другими специалистами и инженерами.

Прогресс в инженерных технологиях, связанных с архитектурой и строительством, предоставляет современным архитекторам уникальные возможности для проектирования объектов с большими по размерам и массе консольными элементами. Анализ архитектурных объектов, в которых акцент сделан на использование консольных конструкций, позволяет прийти к выводу, что визуальное представление зданий, пренебрегающих статическими принципами, становится преобладающим в объемно-композиционном планировании многих современных архитектурных объектов. Такое объемно-композиционное планирование направлено на инновационный поиск в архитектуре, включающий в себя применение новаторских конструктивных идей. Вместе с тем, реализация этих инновационных концепций связана с использованием современных проектных технологий и «вычислительного» проектирования, включая передовые программные продукты, такие как Rhino и Grasshopper. Эти инструменты обеспечивают возможность моделирования сложных архитектурных форм и одновременного расчета оптимизации конструктивных элементов здания [53, с. 7-14].

Над концепцией альтернативного цифрового мира человечество размышляло уже довольно давно. К ранней аналогии данной технологии можно отнести панорамную живопись, в которой зачастую изображались пейзажи или

знаменательные исторические события. Данный формат изобразительного искусства был крайне популярен еще в XIX веке в Европе и США, а в Китае на протяжении многих веков выполнял ключевую культурную роль и встречался повсеместно в формате древних свитков. Такое широкоформатное отображение сюжетов на полотнах позволяет наблюдателю не только погрузиться в конкретный момент сюжета, но и предоставляет возможность взглянуть на изображенные события так, как будто он вглядывается в окружающее, плавно ведя фокус своего взгляда по всей протяженности видимого пространства. Это дает человеку, рассматривающему такое произведение, чувство некоего погружения в мир, описанный на полотне.

Сложность выполнения нелинейных по форме зданий связана со множеством аспектов. Здания в виде сложных геометрических фигур могут требовать применения особых по свойствам материалов и в целом быть трудно реализуемыми ввиду несовершенства традиционных инструментов строительства и несоответствия техническим требованиям. Решение данного вопроса заключается в применении инновационных проектировочных инструментов и новых методов, в том числе цифровой архитектуры.

3D-печать является частью цифровой трансформации в промышленности, внедрив более эффективные и гибкие методы создания деталей. В отличие от традиционных методов, материал наносится слой за слоем по данным из конвертированного формата. Данный подход не только улучшает эффективность, но и позволяет создавать более легкие и прочные конструкции [137, p.130].

В первой половине XX века роль архитектора в процессах проектирования была достаточно четко определена. В зависимости от той или иной образовательной концепции специалист в области архитектуры воспринимался либо как гуманист с техническим образованием, либо как опытный строитель с эстетическим образованием [152, p. 231]. Практически такое же восприятие архитектора используется и по сей день, однако становится очевидно значительное несоответствие нынешнего состояния образовательной системы и степени развития цифровых технологий, а также связанных с ним социальных изменений. Отсюда возникает резкая необходимость пересмотреть роль архитектора в рабочих процессах формообразования и проектирования и, вместе с этим, обозначить новые области знаний, в которых можно было бы применить специфические склад ума и компетенции архитектора. Таким образом, встает задача фундаментальной переоценки философских и антропологических основ профессии архитектора. На сегодняшний день, трудно представить каким образом будет решен данный вопрос и как именно выстроится взаимосвязи между видимой, созданной творчески формой и ее вычислительным основанием.

С повышением технологического уровня развития наблюдается кардинальное изменение взгляда на существующие методы проектирования, в том числе на его творческую составляющую. Проблема полного внедрения компьютерных программ в процессы синтеза архитектурных объектов заключается в непонимании ими специфических композиционных нюансов, отсутствии мышления как такового. Считается, что машина не может в полной

мере использовать тот обширный объем знаний из смежных гуманитарных дисциплин, получаемых обучающимся в ходе изучения творческого проектирования. Также, одной из задач, стоящих на данный момент перед научным сообществом, представляется эффективное внедрение появляющихся технологий в структуру архитектурного образования. Стремительная компьютеризация, и, как следствие, появление нелинейной архитектуры приводит к тому, что классическое образование оказывается не способно также быстро приспособиться к резкой смене привычных инструментов и методов. Логично и то, что архитекторы с уже имеющимся традиционным образованием сталкиваются с множеством трудностей на пути эффективного применения в своей работе быстро развивающихся и изменяющихся техник. А поскольку, прежняя профессиональная культура практически не конвертируется в появившиеся форматы, опытные специалисты старой школы в таких условиях должны изменить свой подход ко множеству вопросов, касающихся создания и преобразования архитектурных форм. Таким образом, современная тенденция внедрения цифровых технологий оказывается значительно более стремительной, чем скорость перемен в образовательной практике. Именно поэтому, структура и методы, применяемые на сегодняшний день в процессах архитектурного проектирования, способны отвечать новым технологическим веяниям лишь в ограниченной степени. Решение данной проблемы должно фокусироваться вокруг основной глобальной цели – адаптация образовательной структуры к текущему состоянию развития современных технологий. Некоторые авторы предлагают альтернативные методы обучения, суть которых заключается в усилении педагогических инструментов, а также корректировке образовательной программы с фокусом на творческие процессы, которые, по мнению исследователей, будут иметь решающее значение в будущем. Помимо этого, предлагается расширить понятие «среда», которое в настоящее время с появлением виртуального пространства значительно расширилось [76]. Такое положение вещей в значительной степени изменяет и продвигает восприятие человеком окружающей среды и пространства.

С развитием технологии, коммерческой доступности и возросшим интересом к бетонной печати стоит проблема отсутствия удобных инструментов для проектирования форм. Главное условие для печати геометрии заключается в том, что каждый новый слой материала должен корректно и последовательно сочетаться с предыдущим. Whooshan и его коллеги в 2018 году рассмотрели этот аспект, предложив использовать функциональное представление для дизайна форм. В данной публикации автор дополняет предыдущие наработки, предлагая новые методы параметризации форм и интерполяции для создания оптимальных и физически реализуемых структур в 3D-печати бетона [112, p. 81-87]. Michael Hansmeyer, активно использующий компьютерное моделирование для создания сложных архитектурных форм. Его подход к архитектуре центрируется вокруг применения итерационных алгоритмов для создания уникальных, сложных морфологий. В рамках проекта «Computational Architecture» Hansmeyer продемонстрировал свои инновации, создавая детализированные колонны, что отражает его стремление интегрировать цифровые технологии в традиционные

архитектурные формы. Его работы, объединяющие науку, дизайн и искусство, признаны в мировом масштабе [124, p. 70-71].

В этом Sina Mostafavi исследует динамику взаимодействия между пользователем и окружающей средой в современной архитектуре. Он утверждает, что качество архитектурных объектов не должно определяться исключительно их внешним видом, но и тем, как они отвечают на потребности и ожидания людей. Mostafavi акцентирует внимание на значимости адаптивных и устойчивых архитектурных практик, подчеркивая, что дизайн должен быть направлен на улучшение качества жизни пользователей, учет их индивидуальных потребностей и вовлечение их в процесс формирования пространства [27, p. 81-87].

В своей книге «The Diagrams of Architecture», Марк Гарсия пишет о том, как схемы стали важным инструментом для архитекторов с 1980-х годов. Он считает, что эти схемы не просто красивые картинки, а ценный метод для размышления, объяснения и показа архитектурных идей. В книге представлены разные примеры схем в архитектуре – от старинных до современных, включая работы известных экспертов. Это показывает, как разнообразны и полезны могут быть эти схемы в современной архитектуре [122, p. 9].

Philippe Morel, активно использующий принципы вычислительной математики и алгоритмического дизайна в своей практике. Его подход к архитектуре акцентируется на интеграции научных исследований, компьютерного моделирования и современных производственных технологий, таких как 3D-печать, с целью создания новых, инновационных архитектурных форм и структур, которые ранее были недостижимы для традиционного дизайна [138, p. 14]. В этом топологическая архитектура представляет собой метод поиска формы, центральным компонентом которого является идея непрерывного преобразования упруго деформируемых структур без потери их основных качеств. Исследуя формы, которые остаются стойкими к изменениям, таким как растяжение или скручивание, этот подход направлен на создание сложных и гибких структур. Эссе Грега Линна выделило эту концепцию, предложив переход от деконструктивизма к более непрерывным и связанным формам. Инструменты, такие как NURBS, позволяют дизайнерам манипулировать и преобразовывать эти формы путем регулировки контрольных точек и других параметров, открывая возможности для создания множества уникальных дизайнов. Визуально это может быть представлено как преобразование базовой формы, например прямоугольника, в сложные топологические структуры [144, p. 3-11].

Аналитические программы и симуляции являются важным инструментарием цифрового проектирования в современной архитектуре. Они позволяют архитекторам проводить различные анализы и симуляции, чтобы оценить и оптимизировать различные аспекты здания. Цифровые технологии и кодирование вовлеклись в центр современного архитектурного дизайна, вдохновляясь природными процессами и поведением, такими как стая птиц или формирование уникальных узоров в природе. Архитекторы используют эти принципы, изучая генетические структуры и применяя их для создания

новаторских дизайнерских решений. При помощи методик, таких как «скриптинг», создается новое поколение структур, которые опираются на компьютерные технологии не только как на инструмент черчения, но и как на активное средство дизайна. Хотя представленные проекты цифровых башен и остаются на бумаге, они отражают активное использование цифровых методик в современной архитектурной практике. Это подчеркивает перемещение цифрового дизайна из ниши экспериментов в основное течение архитектурного производства, формируя новый язык архитектурных форм, основанных на алгоритмических возможностях [141, p. 3204].

Такое углубленное исследование открывает перед нами необходимость создания новой дисциплины – «теории цифрового дизайна». Эта теория предложит систематический подход к изучению взаимодействия между традиционным дизайном и цифровыми технологиями, раскрывая новые горизонты для инноваций. Чтобы действительно понять глубину этой взаимосвязи, нам нужно заглянуть внутрь машины, понимая не только ее поверхностные возможности, но и то, как она может быть использована для переосмысления самых основ дизайна. Многие авторы, такие как Костас Терзидис и Ривка Оксман, уже погрузились в эту область, давая ценные наработки и направления для исследований. Наша цель – собрать, анализировать и дополнять эти знания, формируя карту новых цифровых стратегий в архитектуре. Эти стратегии станут ключом к пониманию, как цифровые технологии могут улучшить и расширить наш подход к созданию пространств [127, p. 14].

Специализированные программы позволяют оценить энергетическую эффективность здания, рассчитать его потребление энергии и оптимизировать системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Такие программы проводят симуляции работы здания в различных условиях и предоставляют рекомендации по улучшению энергетической эффективности. Симуляционные программы позволяют архитекторам анализировать и оптимизировать освещение внутри и вокруг здания. Они позволяют моделировать различные источники света, расположение окон и просчитывать распределение света в помещении. Это помогает достичь оптимального комфорта и эффективности освещения, а также минимизировать использование искусственного освещения.

Программы для анализа являясь из последних трендов могут проверить, как будет работать система вентиляции в здании. Они учитывают много разных факторов, например, где и как расположены вентиляционные трубы, сколько воздуха они пропускают и как хорошо воздух очищается. Это помогает сделать воздух в здании здоровым и комфортным для людей. Кроме того, эти программы помогают архитекторам понять, насколько прочным получится здание, какие материалы лучше использовать и как сделать конструкцию здания оптимальной.

Строительство в условиях сурового арктического климата требует инновационных технологий для устойчивости и функциональности зданий. В качестве примера можно рассмотреть Северный морской путь в России, который требует уникальных строительных решений, адаптированных к экстремальным

условиям. Применение алгоритмических методов и современных технологий производства, включая 3D-печать, играет ключевую роль в разработке архитектурных решений для таких климатически сложных регионов. Эти наработки можно использовать и в архитектуре некоторых регионов Казахстана, особенно на севере и востоке республики. Так, в пос. Орловка в Восточном Казахстане температура опускается до – 55 градусов С. В то же время, эти места обладают высоким туристическим (оз. Маркаколь) и горнодобывающим (золото, железная руда в местности Таскайнат – «кипящий камень») потенциалом.

Также, специальные программы могут сделать здания более экономичными в эксплуатации. С помощью программ они могут проверить, как много электроэнергии будет потреблять здание, и снизить её потребность. Это касается систем отопления, кондиционирования воздуха и даже освещения. Кроме того, можно посчитать из каких материалов лучше построить здание, чтобы минимизировать вред для природы. Они смотрят, как эти материалы производятся, сколько вредных веществ при этом выбрасывается и можно ли их потом переработать. Также важно понять, как здание будет использовать воду. В этом можно рассмотреть систему сбора дождевой воды, системы полива и очистки сточных вод. Это помогает сделать здание не только комфортным для жилья, но и полезным для окружающей среды.

Специализированные программы для проверки устойчивости зданий нужны, чтобы понять, как сооружение будет реагировать на разные экстремальные ситуации, к примеру, во время землетрясения. Это особенно актуально в местах, где такие природные явления часто случаются. В этом можно использовать программы для того, чтобы улучшить конструкцию здания, сделав его более устойчивым к подобным воздействиям. Где можно на основе 3D-модели симулировать, как здание будет вести себя при землетрясении. Это помогает выявить слабые точки в здании и исправить их еще на этапе проектирования. Они также проводят разные расчеты, чтобы понять, какие нагрузки может выдержать здание и какие материалы лучше использовать, чтобы здание лучше сопротивлялось землетрясениям. Если старые здания не соответствуют новым требованиям к безопасности, в этом может помочь «цифровой двойник» здания, для оценивания текущего состояния здания, проверка на дефекты, обновления и укрепления их конструкции.

Исходя из актуальности графических программ, среди архитекторов, преподавателей и исследователей, проведен интернет-опрос. На предоставленной рисунке показаны результаты опроса об использовании компьютерных программ для архитектурного проектирования.

На вершине списка использования находится AutoCAD 2D с показателем примерно 61,3% опрошенных, что указывает на его широкую популярность для выполнения базовых задач черчения. За ним следует 3ds Max, который используют 67,7% участников опроса и который является избранным инструментом для 3D-моделирования и визуализации. Также стоит отметить SketchUp, которым пользуются 48,4% участников, что говорит об удобстве его использования для создания 3D-моделей.

Программы вроде Revit Architecture и Lumion также имеют значительную базу пользователей — 41,9% и 54,8% соответственно, что подчеркивает их важность в современном процессе архитектурного проектирования. Интересно, что также есть категория «другие программы/технологии», выбранная 19,4% опрошенных, что может указывать на разнообразие специализированных инструментов или внедрение новых технологий в области.

Менее используемые программы, но все же важные для определенных задач или пользователей, включают Tekla Structures и сочетание Rhinoceros 3D с Grasshopper, каждая с использованием около 9,7%. Из рисунка ясно, что, хотя существуют стандартные программные инструменты отрасли, архитекторы и дизайнеры также полагаются на разнообразие программ для удовлетворения конкретных потребностей проектов (рисунок Г.1, Приложение Г).

Статистика из опроса по использованию компьютерных программ для создания сложных архитектурных форм показывает предпочтения пользователей в выборе программного обеспечения для проектирования. Согласно рисунку, самой популярной программой является 3ds Max, ее используют 58,1% респондентов. Это мощное решение для 3D-моделирования, анимации и рендеринга, широко применяемое в архитектуре для создания визуализаций и сложных форм.

SketchUp, с 38,7% пользователей, также популярен благодаря своей интуитивно понятной модели и функциональности, которая позволяет легко создавать детализированные 3D-модели. Rhinoceros 3D в сочетании с Grasshopper, используемые 35,5% респондентов, предоставляют гибкие инструменты для параметрического проектирования и сложных геометрических операций.

Revit Architecture, выбранный 32,3% участников, является ключевым инструментом в BIM-проектировании, облегчая создание детализированных архитектурных моделей и их управление. Другие упомянутые программы включают Blender и Cinema 4D, каждая с 6,5% пользователей, что отражает их важность в специализированных областях моделирования и анимации.

Наличие категории «другие программы/технологии», выбранной 3,2% участников, подчеркивает, что архитекторы и дизайнеры ищут индивидуальные решения, которые соответствуют уникальным требованиям их проектов.

Эти данные дают представление о том, какие программы являются наиболее предпочтительными среди специалистов в области создания сложных архитектурных форм и подчеркивают разнообразие доступных инструментов, обеспечивающих творческую свободу и техническую точность в современной архитектуре (рисунок Г.2, Приложение Г).

Гибкие соединения используются для разделения и изолирования различных частей здания, позволяя им двигаться независимо друг от друга во время сейсмических событий. Это могут быть гибкие соединения между стенами и перекрытиями, гибкие швы в стенах и фундаменте, а также гибкие металлические элементы, которые поглощают деформации и перекосы. Активные системы контроля и регулирования используются для

непосредственного мониторинга сейсмического воздействия и активного управления поведением здания в режиме.

Софткультура по архитектуре такие как CAD, и 3D-моделирование, стали неотъемлемой частью современной архитектуры, обеспечивая точность, эффективность и гибкость. Программное обеспечение в архитектуре представляет собой обширную сферу с множеством инструментов, каждый из которых служит определенной цели в процессе проектирования (рисунок Г.3, Приложение Г).

Один из ключевых аспектов современного программного обеспечения для архитектуры — это возможность аналитической обработки данных. Программы, такие как LIRAsoft и Dlubal, выполняют критически важный структурный анализ, который помогает обеспечить безопасность и устойчивость проектируемых зданий. Эти инструменты позволяют архитекторам и инженерам проверять нагрузочные характеристики и другие важные параметры на начальных этапах проектирования, что сокращает риски и стоимость строительства.

Технологии 3D-моделирования также оказали значительное влияние на индустрию. Программы, как Tekla Structures и Autodesk Revit и др., позволяют создавать детальные трехмерные модели зданий, что стало стандартом в современном архитектурном проектировании. Эти модели не только облегчают визуализацию и понимание проекта всеми заинтересованными сторонами, но и упрощают процесс взаимодействия с подрядчиками и строителями (рисунок Г.4, Приложение Г).

Средства визуализации и виртуальной реальности, включая Unity и Unreal Engine, позволяют архитекторам превращать статические проекты в динамичные и взаимодействующие визуализации. Это не только помогает клиентам лучше понять предложенное пространство, но и предоставляет возможность для интерактивной работы над проектом, внося коррективы в реальном времени.

Координационные платформы, такие как Grasshopper и Autodesk Navisworks, усиливают междисциплинарное взаимодействие и интеграцию различных аспектов проекта, что особенно важно в больших и сложных архитектурных объектах. Они способствуют более тесной координации между архитекторами, инженерами, строителями и другими участниками проекта.

Языки программирования, как Python, открывают новые возможности для автоматизации проектирования и создания пользовательских решений. С их помощью разрабатываются специализированные плагины и скрипты, которые могут взаимодействовать с другими архитектурными программами и дополнять их функциональность.

В целом, разнообразие доступного программного обеспечения значительно облегчает работу архитекторов и инженеров, позволяя им выбирать наиболее подходящие инструменты для реализации их творческих и технических замыслов. Это способствует непрерывным инновациям и повышению эффективности в архитектурном проектировании.

В рамках исследования были проведены практические эксперименты с использованием программы Autodesk Revit, в которых участвовали студенты.

Целью этих экспериментов было изучение инструментов и возможностей программы на примере создания аналогов нескольких известных зданий: Штаб-квартиры Центрального телевидения Китая, Торнадо-Тауэра, «Хан Шатыр» и «ЭКСПО-2017» в Казахстане, отеля «Шератон» в Хучжоу, здания в форме розы «ROSE», «Бурдж-эль-Араб», и других [286-297]. В ходе экспериментов было выявлено, что создание сложных архитектурных форм в Revit может быть затруднительным, особенно без прямого использования плагина Dynamo для визуального программирования и выполнения сложных вычислений. Многие сложные формы оказались труднореализуемыми из-за ограниченного функционала инструментов самой программы Revit. Это показывает, что использование плагина Dynamo может значительно упростить задачу создания криволинейных и сложных геометрических форм, облегчая процесс архитектурного проектирования и расширяя творческие возможности архитекторов. Эксперименты с формообразованием в рамках изучения инструментов программы Ревит (таблица Г.1 составлена автором на основе материалов, сделанных студентами из архитектурного факультета МОК, под руководством автора диссертации).

В рамках исследования процесса цифровизации в архитектуре была разработана концепция программного продукта для архитекторов, охватывающего пять ключевых разделов. Данный концепт, вдохновленный возможностями софта «SketchUp», «FormIt», «Revit», «3Ds Max», «Lumion» и др. программ, предлагает уникальный набор функций для архитектурного формообразования в цифровую эпоху (рисунок Г.5, [298-311]; Приложения Г).

Основой схемы является раздел «Файл», обеспечивающий поддержку множества форматов, включая IFC, RVT, DWG, и интеграцию с облачными хранилищами, а также стандартные функции настройки и сохранения проектов. В разделе «Редактирование» предусмотрена группировка объектов и история изменений для удобства работы. Раздел «Вид» включает в себя разнообразные проекционные виды и инструменты для разрезов и виртуальной реальности. «Инструменты» облегчают создание геометрических форм, включая геометрические инструменты и смарт-линейки.

Особое внимание уделено «Формообразованию», где акцентированы функции генеративного дизайна и фрактального моделирования в региональном стиле. Использование искусственной нейронной сети и паттернов позволяет оптимизировать формы, а симуляция агентов и скриптинг автоматизируют задачи. Раздел «Искусственный интеллект» направлен на оптимизацию пространства и анализ пропорций, в то время как «Модификаторы» предлагают динамические изменения и множественные слои для гибкости проектирования.

«Анализ» включает экологическую оценку, анализ затрат и климатические исследования. В «Визуализации» акцент на 3D-рендеринг, материалы и настройки камеры. Раздел «Документация» автоматизирует создание чертежей и спецификаций. ИИ для оптимизации проектов, а также технологии VR и AR. «Автоматизация чертежей» - быстрое создание технических документов.

Спецификации – детализированный перечень материалов, размеров и других параметров.

В процессе профессиональной трансформации, культура цифровизации меняет требования к архитекторам, делая необходимым знание от 2D CAD до алгоритмического проектирования, а также стилевые направления. Ожидается, что архитекторы крупных компаний уже в ближайшем будущем будут широко внедрять машинное обучение и искусственный интеллект для оптимизации проектов, технологии виртуальной и дополненной реальности. Навыки в работе с новыми методами требуют углубленного изучения, чтобы понимать их влияние на качество проектирования и эффективно использовать в проектах.

## **4.2 BIM технология в архитектуре**

Предпосылки появления BIM технологии

BIM-технология представляет собой комплексный подход к проектированию, в котором все данные и информация о здании собраны и интегрированы в единую модель. BIM-программы позволяют создавать трехмерные модели здания, включающие в себя геометрическую информацию, конструктивные элементы, системы вентиляции, электричества и другие аспекты. Это обеспечивает более эффективное управление проектом, обмен данными между различными участниками и анализ различных аспектов здания.

Сегодня все большее число проектировщиков соглашается с тем, что привычные CAD инструменты достигли предела своих возможностей. Такие компьютерные средства больше не справляются с вызовами современной архитектуры и, поэтому, появляется острая необходимость в разработке инновационных инструментов. Новые технологические средства должны воплощать в себе новые оригинальные подходы, решая ряд ключевых задач [94, с. 211]:

- конструирование зданий в условиях плотной застройки;
- строительство в сжатые сроки;
- быстрая и качественная реконструкция;
- выполнение расчета эксплуатационных параметров на начальном этапе проектирования.

Помимо перечисленных выше задач в архитектурной практике существует проблема потери большого количества информации в ходе разработки проектов. Необходимые данные о сооружении могут находиться на разных носителях и существовать в несовместимых форматах, что значительно усложняет работу проектировщиков.

Понятие BIM проектирования

BIM проектирование является одним из самой развивающихся на сегодняшний день CAD системой, основанной на информационном моделировании зданий. В архитектурной деятельности под методом с использованием BIM технологии понимается подход в проектировании зданий, в ходе которого создается трехмерная виртуальная модель. В состав такой модели, как правило, входят все

необходимые для проектирования цифровой модели данные, причем эти данные могут быть извлечены на любом этапе создания здания. Применение BIM-технологии предполагает переход от двухмерного представления проекта к более наглядному и понятному для человека трехмерному представлению, заменяя привычный макет здания на его цифровой аналог.

#### Краткая история развития BIM-инструментов

Данная концепция берет начало своего существования с 70-х годов XX века. Первым BIM инструментом считается программа ArchiCAD [84], разработанная венгерской фирмой Graphisoft и размещаемая на персональном компьютере. Далее в 2000 году кембриджской компанией Charles River Software была разработано программное обеспечение «Revit», которое имело повышенную функциональность в сравнении с существующими на тот момент BIM-инструментами и стало продуктом прорыва. В этом Revit стал первым в использовании времени как четвертого измерения в моделировании, расширяя возможности BIM. На сегодня Revit, InfraWorks, Civil 3D и Navisworks и др. позволяют не только создавать более динамичные и параметризованные модели зданий, но и точно прогнозировать этапы строительства [94, с. 174].

Во взаимодействии различных программных продуктов, центральным соединяющим элементом является продукт с аббревиатурой «BIM» - Building Information Modeling ("Информационное моделирование зданий"). Вокруг BIM размещены логотипы разных программ с соединительными линиями, указывающими на их связь с BIM. В схеме присутствуют известные программы, такие как Microsoft Word, Excel, Adobe Acrobat, 3DS Max, AutoCAD и многие другие, специализированные на разных аспектах проектирования, моделирования и документирования в строительстве и архитектуре. Каждая программа соединена линиями с другими, указывая на возможность обмена данными и интеграцию между различными платформами и инструментами. Красные стрелки между логотипами указывают на направление потока данных или интеграции между приложениями. Такая схема полезна для понимания того, как инструменты могут взаимодействовать в рамках BIM-процессов.

Централизация данных является одним из ключевых принципов работы BIM. Все информационные данные о проекте собираются в одной цифровой модели. Это включает в себя архитектурные решения, конструктивные элементы, инженерные системы и многие другие аспекты. Интерактивность и многопользовательский режим также важны в процессе BIM. В модели могут работать разные специалисты, включая архитекторов, инженеров, заказчиков и подрядчиков. Изменения, сделанные одним участником, автоматически отображаются для всех остальных, что упрощает координацию. BIM не ограничивается трехмерным моделированием и может включать в себя такие параметры, как время (4D), стоимость (5D) и устойчивость или жизненный цикл (6D). Эти дополнительные измерения позволяют более глубоко анализировать проект на различных этапах. Анализ и оптимизация становятся намного проще с

использованием BIM. Цифровая модель позволяет легко проводить различные анализы, от расчета освещенности и теплообмена до оценки стоимости и потребности в материалах. Генерация документации также является одним из преимуществ BIM. Из модели можно автоматически создавать рабочую документацию, такую как планы, разрезы и спецификации. В области управления BIM, ответственность часто лежит на BIM-менеджере или BIM-координаторе. Эти специалисты следят за тем, чтобы все изменения соответствовали установленным стандартам, и чтобы информация была актуальной для всех участников проекта. Растущее количество организаций интегрирует технологии информационного моделирования в свои рабочие процессы. Это приводит к увеличению спроса на квалифицированных специалистов в области BIM. На диаграмме BIM расположен в центре, к нему направлены красные стрелки от различных программных инструментов, используемых на разных этапах архитектуры, инженерии, строительства и эксплуатации. К этим инструментам относятся Rhino, Grasshopper, Tekla, Revit, Allplan, ArchiCAD, 3DS Max, Civil 3D, Navisworks и Solibri, среди прочих. Каждое программное обеспечение имеет свое конкретное применение, например, Rhino используется для сложного 3D моделирования, Revit — для архитектурного проектирования и строительства, Tekla — для инженерных расчетов конструкций и т.д.

Стрелки предполагают поток данных и взаимодействие между BIM и этими другими программными инструментами, указывая на то, что BIM действует как центральная платформа, где собирается вся информация из различных этапов проектирования и строительства здания. Такая интеграция позволяет более эффективно работать, когда изменения в одном программном обеспечении могут быть обновлены в BIM-модели, обеспечивая доступ всех участников к самой актуальной информации (рисунок Г.6, Приложение Г).

Особенности BIM технологии.

Прежние компьютерные средства на базе геометрии сменяются более современными и сложными программами информационного моделирования. Методология двух этих подходов в значительной степени различается, что приводит к необходимости в масштабных переменах в процессах и структуре проектирования, поскольку прежнее устройство архитектурных процессов оказывается слабо применимым к современным компьютерным средствам. Одно из главных изменений заключается в переходе от двухмерного отображения внешнего облика будущего здания, к подробной трехмерной модели, на основе которой, при необходимости, могут быть получены любые двухмерные виды и разрезы сооружения на плоскости. Описание объектов посредством графической абстракции сменяется цифровой моделью, включающую не только геометрическую информацию, но и атрибуты данных [121, р. 75-76]. Такие массивы данных несут в себе важную информацию о составных компонентах здания и материалах, из которых они изготовлены (физические свойства,

стоимость и другие релевантные характеристики). Помимо этого, параметрами обозначается расположение того или иного компонента, а также его связь с другими элементами в общей структуре сооружения. В результате проектирования получается точная трехмерная модель, связанная с массивом необходимых в конструирование и последующем строительстве данных, которые при необходимости можно извлечь на любом этапе работы над проектом. В дальнейшем, эту информацию можно использовать, в том числе, и на постстроительном этапе, способствуя разработке более эффективных систем автоматизации и управления сооружением. Данные касательно планового объема материалов, необходимого для будущего строительства здания значительно упрощают работу подрядчиков и позволяет на начальных этапах проектирования оценить стоимость архитектурного объекта.

Таким образом, проекты, разрабатываемые с применением BIM-технологий, включают в себя следующие по типу данные:

- согласованные чертежи (в т.ч. планы, виды, разрезы);
- модели визуализации и анимационные файлы;
- информация о необходимом количестве материалов;
- точное представление строительных объектов для изготовления и строительство;
- количества материалов для более ранней заготовки материалов из продукта поставщики и субподрядчики;
- электронные таблицы точных ведомостей объемов работ для сметы затрат;
- данные для оценки эффективности.

BIM (Building Information Modeling), или информационное моделирование зданий, меняет строительную отрасль через четыре уровня зрелости. На Уровне 0 - чертежи из примитивов и тексты, используются 2D чертежи без обмена данными. Уровень 1 - модели, объектно-ориентированные взаимодействие - вводит 3D моделирование, но участники работают отдельно. Уровень 2 - модели, объектно-ориентированные взаимодействие - развивает BIM's подход, позволяет совместно использовать отдельные 3D модели. На Уровне 3 интегрированные и доступные данные, включая себе iBIM, IFC, ISO, BIM и другие участники проекта совместно работают над единой моделью в реальном времени, что обеспечивает максимальную согласованность и эффективность (рисунок Г.7, Приложение Г).

В России системы «Технологии информационного моделирования, (ТИМ)» и в Казахстане «Цифровая трансформация строительной отрасли, (ТИМСО)» набирают обороты. Если описать временную шкалу основных этапов развития BIM в Казахстане, то начиная с 2015 года инициативу проявляет КазНИИСА (Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры) о переходе отрасли на BIM, далее следует разработка концепции применения BIM в 2016 году, пилотный проект в Autodesk

Revit в 2017 году, и далее различные этапы внедрения и стандартизации работы с BIM, включая требования об использовании информационных моделей строительства сложных объектов в 2022 году и требование о передаче исполнительных моделей в эксплуатацию в 2023 году (рисунок Г.8, Г.9, Приложение Г).

Замечая значительные улучшения в протекании процессов проектирования, множество государственных и частных компаний стремятся задействовать BIM-инструменты в своей работе, и тем самым улучшить эффективность своего предприятия. В сравнение с ранними инструментами САПР процессы проектирования становятся более автоматизированными, сокращая время работы архитектора на решение множества задач. Однако, поскольку технология еще относительно нова, а быстрый переход к инновационному инструментарию не всегда представляется возможным, сегодня разрабатывается и внедряется ряд программ, способных объединять в себе функции AD и BIM [146]. Данную технологию принято обозначать аббревиатурой A-BIM. Такой метод информационного моделирования подразумевает алгоритмический подход к BIM технологии и пока только набирает свою популярность [4].

Поскольку для реализации метода A-BIM нужно разработать новый подход в архитектурном программировании, ряд ученых сегодня работают над решением этой задачи. В исследовании [45, с. 105] авторы предложили свою методологию технологии A-BIM, адаптированную под парадигму метода BIM, а также включающую элементы прежней геометрической САПР. В работе рассматривался проект Absolute World – архитектурная конструкция, состоящая из двух небоскребов.

#### Преимущества BIM-технологии

BIM подход эффективным и рентабельным в строительной отрасли, их применение практикуется в архитектуре. Однако, проблема синхронизации между файлами BIM и AutoCAD часто приводит к потере времени и ресурсов.

Основная выгода от использования BIM в архитектуре заключается в улучшении координации и коммуникации между профессионалами. Недостаток координации файлов в текущих рабочих процессах приводит к несоответствиям в проектах и потере важной информации. С применением BIM оба типа архитекторов получают возможность работать в синхронизированной среде, что ускорит процессы и сделает их более гибкими, минимизируя необходимость в последующих корректировках [45, с. 106-107].

Одним из главных стремлений архитектуры на протяжении всего ее существования было желание соответствовать ритму и потребностям общества, для которого она возводит сооружения и обустроивает окружающее пространство. Однако, до недавнего времени добиться высокой адаптивности архитектуры не представлялось возможным ввиду множества конструктивных и технологических ограничений. Изменение готовых проектов, ровно, как и

создание новых требует крупных финансовых вложений и занимает большое количество времени. В то же время мы живем в эпоху стремительных изменений, когда информация трансформируется и перемещается с одного конца планеты в другой за доли секунды, а запросы и вкусовые предпочтения человека меняются ежедневно. В таких условиях кажется очевидным глобальное несоответствие инертной архитектуры и стремительно меняющихся общественных потребностей. Сегодня, в попытке соответствовать этим изменениям применяется множество передовых технологий, однако, ни новейшие методы цифрового формообразования, ни улучшенные технические средства воздвижения сооружений не могут в полной мере добиться того, чтобы скорость протекания строительных процессов приблизилась к скорости изменяющихся контекстов современного общества.

Все эти подходы и технологии уже оказывают большое влияние на современную архитектуру и, безусловно, стоит подчеркнуть, что технология всегда играла и будет играть важную роль, являясь одним из ключевых аспектов в развитии цивилизации человечества. В этом контексте можно рассмотреть концепцию «цифрового производства», предлагающую новые методы и материалы для строительства. Она является одним из сегментов BIM-технологии, так как BIM становится всё более важным инструментом для координации и управления строительными проектами в целом.

BIM является прорывом в подходе «параллельности». Построив один объект, мы можем видеть из разных ракурсов чертежей, виды, самое главное информацию получить, начиная характеристики материала с анализом его срок пригодности, и это вполне может быть интегрирован с производственными процессами, особенно в рамках модульного и предварительно изготовленного строительства, где нужна высокая степень координации между раскроем и производством. При правильном подходе, BIM может служить связующим звеном, обеспечивая бесшовный переход от проектирования к производству. Это помогает не только в вопросах эффективного использования материалов, но и в планировании рабочей силы, определении времени сборки и выявлении потенциальных проблем еще на этапе проектирования.

Однако, есть несколько проблем, которые сейчас ограничивают эффективную интеграцию BIM с производством. Во-первых, часто отмечается несовместимость данных между системами BIM и системами управления производством, что требует дополнительных усилий для синхронизации и конвертации данных. Во-вторых, отсутствие унифицированных стандартов и протоколов может затруднить этот процесс. В-третьих, переход на BIM-технологии требует не только внедрения новых программных решений, но и формирования квалифицированных команд специалистов, где в состав такой команды входят: BIM-менеджер проекта, который отвечает за общее управление BIM-процессом, координацию работы всех участников проекта и соблюдение BIM-стандартов (рисунок Г.10, Приложение Г). Инженеры ПТО (производство работ), которые вносят в модель актуальные данные по ходу строительства и контролируют соответствие выполненных работ проекту. Главный инженер, играющий ключевую роль в техническом контроле и интеграции всех аспектов

проекта в единую BIM-модель. Подрядчики с узкой специализацией, такие как BIM-авторы по разделам Механические, электрические и сантехнические работы (MEP) - ответственные за разработку и интеграцию в модель всех инженерных систем и оборудования. Наличие таких специалистов в штате увеличивает операционные расходы компании. Требуется не только найти достойных кандидатов с соответствующими навыками и опытом, но и обеспечить их постоянное переобучение для поддержания актуальности их знаний в быстро меняющейся области BIM-технологий. В этом инвестиции в BIM — это вложения в будущее, уменьшающие расходы и ошибки в строительстве. Однако эти затраты могут быть совсем невыгодны для малых и средних предприятий. В-четвертых, переход на новые технологии может потребовать значительных начальных капиталовложений в программное обеспечение и оборудование. Культурные и организационные проблемы, такие как сопротивление изменениям со стороны сотрудников, привыкших к старым методам и подходам, могут замедлить или даже остановить процесс внедрения BIM в производство. Несмотря на эти проблемы, многие организации активно ищут пути их решения для успешной интеграции BIM в производственные процессы.

Таким образом, BIM-технология в архитектуре существенно улучшает процесс проектирования и строительства, обеспечивая совместимость данных и интеграцию всех этапов проекта. Но наряду с преимуществами, необходимо решение и некоторых вопросов. Выделены ключевые проблемы и вызовы, с которыми сталкивается индустрия в процессе внедрения BIM (Building Information Modeling).

### **4.3 VR- технологии в архитектуре**

На сегодняшний день существует множество определений термина VR. Поскольку для такой новой технологии еще нет четких принципов и границ ее существования, практически каждый автор в своих исследованиях по-своему представляет данное понятие. В текущей работе под термином VR будет пониматься синтетическая информационная среда, реализуемая при помощи разных технических инструментов и призванная заменить привычное восприятие окружающего пространства информацией [96, с. 12-14]. Само словосочетание «виртуальная реальность», семантически включающее в себя два противоположных понятия, наводит на мысли о невозможности описываемого явления, о чем-то, чего не может быть в физической реальности. В данном контексте подразумевается некое пространство, находящееся вне естественного мира и которое состоит не из реальных физических объектов, а из огромного объема циркулирующих внутри этого пространства данных. Существующий разрыв слишком велик, и именно поэтому необходим новый кардинально новый взгляд на решение данной проблемы. Именно для этого многие исследователи предлагают сфокусировать свое внимание на технологиях виртуальной реальности (VR). Технология VR, находясь в стадии развития, не имеет строгих стандартов, но ключевыми элементами являются иммерсивность и интерактивность. Эти характеристики важны в эпоху постмедиаальности, когда

в искусстве и архитектуре происходит слияние стилей и жанров. Это делает актуальным использование понятий иммерсивности и интерактивности для описания и организации виртуальных пространств [102, с. 251-257; 6, с. 10-12].

Уже значительно позднее, преследуя ту же цель, начали появляться различные визуальные иллюзии. В 1838 г. физик Сэр Чарльз Винстон описал стереоскоп – оптический прибор для объемного просмотра изображений. Далее, с приходом новых цифровых инструментов стали появляться трехмерные динамические изображения, была разработана и реализована концепция кругорамного кино. Эти и многие другие примеры визуальных методов прошлого говорят о существовавшей еще тогда потребности общества в технологиях виртуального погружения, которые будут способны менять человеческое восприятие.

Иммерсивные пространства VR являются попыткой интеграции реального и виртуального миров, используя технологии для создания убедительных визуальных и сенсорных ощущений. Эта концепция не нова и находит свои корни в искусстве, литературе и музыке, где глубина восприятия всегда ценилась. Современные применения включают кино, театр и виртуальные сообщества. Основная сложность в оценке и разработке иммерсивных пространств заключается в нечетких границах человеческого восприятия и взаимодействия с виртуальным окружением. Научные исследования в этой области в основном фокусируются на технологических аспектах, таких как моделирование человеческого сознания и визуализация искусственных сред, как показано на рисунке Г.11, а), б) [312, 313].

Интерактивное воздействие также создает у человека ощущение присутствия в синтезированных пространствах и событиях, которых не существует в реальности. Однако, под интерактивностью обычно подразумевают такой принцип организации системы, при котором цель достигается посредством обмена информацией между элементами системы [129, р. 168]. Исходя из данного определения интерактивная среда характеризуется не столько высокой степенью погруженности пользователя, сколько взаимодействием объектов системы между собой, пространством и человеком. Такая среда способна практически мгновенно трансформироваться не только по внутренним запрограммированным сценариям, но и под воздействием внешних факторов.

Основная задача данного технологического инструмента – отображать так, чтобы человек воспринимал проецируемые динамические изображения как целостную картину реального пространства. Данный эффект может быть достигнут при помощи множества аспектов:

- свободное движение камеры и возможность управляемого перемещения пользователя внутри виртуального пространства;
- реакция цифрового окружения на действия человека;
- дополнение симуляции звуковым сопровождением;
- повышение реалистичности за счет улучшения графического представления.

Чаще всего архитектура довольно быстро адаптирует новые научные разработки под свои нужды, и рассматриваемая в данной главе технология не является исключением. Под виртуальной архитектурой понимается дисциплина, образуемая посредством применения компьютерных программ, цифрового формообразования и формообразования и оперирующая понятиями информации и виртуальных объектов [49, с. 32-35]. Современная архитектура благодаря внедрению виртуальных инструментов обретает принципиально новую форму носителя информации. Главная отличительная черта виртуальной архитектуры заключается в свободе объектов, которые больше не связаны понятиями пространства и времени. Оно может трансформироваться и перемещаться вследствие взаимодействия с человеком.

Согласно последним опубликованным данным крупного статистического портала «Statista» объем рынка устройств виртуальной и дополненной реальности за период с 2018 по 2019 год включительно составил 22,6 миллиарда долларов [110].

Все чаще отмечается польза использования гарнитуры VR для более эффективной работы с проектами. Самыми распространёнными функциями, выполняемыми сегодня VR в проектировании, являются:

- презентация объекта в виде виртуальной модели;
- координирование процессов проектирования;
- мониторинг процесса строительства;
- обучение и тренировки.

На рисунке Г.12 представлена показатель процентного распределения различных областей применения VR в проектировании [110].

Помимо гарнитурного формата, существует возможность реализации VR в виде проекционных систем и комнат VR. Стоит также отметить метод виртуального голографического макета, который значительно упрощает презентацию проекта и подготовку к ней благодаря своей компактности, проработанности и способности при необходимости легко видоизменяться. Данный инструмент визуализации прекрасно вписывается в формат выставок и подходит как более наглядный способ предоставления информации об объекте заказчику. Быстрое создание будущих трехмерных объектов VR возможно благодаря программам фотограмметрии. Цифровые копии в этом методе генерируются на основе предоставленных компьютеру фотографий и изображений, что кардинально сокращает время создания виртуальных моделей визуализации и повышает их точность.

Технологии VR усиливают образовательный и культурный потенциал музеев, делая информацию нагляднее и доступнее. Они позволяют визуализировать экспонаты, которые физически невозможно представить, и создают интерактивные опыты для посетителей. Основным препятствием является высокая стоимость технологии, но её плюсы и коммерческий интерес делают VR привлекательным для музеев [148, р. 1-5; 61, с. 115]. В целях культурного просвещения VR позволяет ученым привлечь большее внимание к результатам своей работы, что особенно актуально для археологических исследований [135, р. 7-8]. Технологии VR предоставляют уникальную

возможность для музеев, позволяя посетителям не только ознакомиться с археологическими находками, но и погрузиться в контекст их происхождения. Примером успешного применения VR является греческий «Фонд эллинского мира», где объединены усилия археологов, историков и IT-специалистов для создания трехмерных реконструкций и интерактивных экспонатов. С помощью специализированных VR-систем и устройств для взаимодействия, посетители могут свободно передвигаться и взаимодействовать с виртуальным пространством, что делает их участие в музейном пространстве более активным и познавательным.

Формат виртуальных выставок также становится все более популярен. Данный метод визуализации позволяет получить знания и опыт в виртуальном формате. Виртуальные выставки способны погрузить человека в конкретный контекст без необходимости посещения ими выставочного помещения. Так, в 2020 году в связи с тяжелой эпидемиологической ситуацией в мире постоянная выставка «Искусственного интеллекта и архитектуры» в Париже была переведена в онлайн-формат виртуальной экскурсии [108, p. 76].

Автор работы считает, что в будущем основным аспектом архитектуры станет так называемое «электронно-биоморфное» пространство, совмещающее в себе реальное и виртуальное. В то же время, здания, как и вся городская среда в целом, перевоплотятся в некие аналоги живых организмов, постоянно изменяющихся, приспособляющихся к окружению и реагирующих на воздействия человека.

На основании вышеизложенного можно заключить, что возможно уже в ближайшем будущем технологии VR будут распространены в архитектуре повсеместно в качестве различных инструментов визуализации, оценки и коммуникаций. Эти технологии обещают преобразить различные индустрии, от ритейла до строительства, предлагая новые способы визуализации и взаимодействия с данными и пространством [116, p. 179]. VR и AR технологии позволяют архитекторам и клиентам взаимодействовать с моделями зданий в виртуальной среде. Это позволяет пользователям пройтись по зданию, рассмотреть детали и пространство, а также оценить освещение и атмосферу еще до начала строительства. VR и AR также позволяют проводить визуализацию различных дизайнерских вариантов и сравнивать их эффекты [38].

В современных информационных технологиях феномен «виртуальной реальности» играет важную роль и становится неотъемлемым аспектом развития. Развитие виртуальной реальности продолжает набирать обороты, и его перспективы позволяют предположить, что она будет оказывать все большее влияние на различные сферы жизни человека. В частности, она будет иметь значительное влияние на архитектурное параметрическое проектирование, виртуальное макетирование и другие области [41, с. 162-163].

Архитектура, меняясь под влиянием цифровизации, в том числе виртуальная реальность (VR) создает более интуитивный интерфейс и «эффект погружения», делая виртуальное пространство почти таким же реальным, как и физическое [66, с. 34]. По словам Браславского П. И. из его научного труда, цель

разработчиков VR – создать интерфейс, максимально приближенный к естественному, и убрать «разрыв» между человеком и компьютером, с помощью симуляции чувственных данных, формирующих «виртуальный, но кажущийся реальным» опыт. Не смотря на многообразие VR-систем и технологий, общим для всех является «эффект погружения» (англ. «immersion effect»), когда пользователь перестает быть «внешним наблюдателем» и начинает воспринимать окружение виртуального мира как реальность благодаря стимуляции чувственных ощущений.

Виртуальная реальность предполагает получение опыта погружения и проживания опыта «от первого лица», помещая человека в интерактивную виртуальную среду. Такое знакомство с объектом способствует исследованию дизайна, визуализации, моделированию благодаря тому, что создаваемая виртуальная модель хоть и абстрактная, но достаточно похожа на реальный мир [95, с. 74]. Иван Сазерленд, один из пионеров в этой области, уже в 1965 году подчеркивал многочувственный характер VR, включая зрение, слух и другие ощущения [96, с. 13]. Восприятие человеческим мозгом аналогично компьютерной обработке данных: оба процесса включают в себя восприятие, обработку информации и реакцию на неё. Это особенно актуально в контексте виртуальной реальности и компьютерных игр, как показано на рисунке Г.11, в), г) [314, 315]. Следует учесть, что гуманоидный мозг представляет собой сложную систему, и перцептивные функции основаны на многочисленных сенсорных каналах. Эти каналы обеспечивают визуальное, слуховое, ольфакторное и тактильное восприятие текущего состояния виртуальной реальности или игрового процесса.

В классических игровых приложениях активны только два сенсорных канала - визуальный и аудиовизуальный. Однако приложения и игры виртуальной реальности обеспечивают полную иммерсию пользователя, что обусловлено их иммерсивными атрибутами. Дополнительно, в этом контексте активируются и другие компоненты восприятия, такие как вестибулярные, ответственные за перцепцию ускорения, и проприоцептивные, отвечающие за способность оценивать положение тела в пространстве.

Несмотря на все усилия инженеров в области виртуальной реальности, восприятие виртуального окружения не полностью воспроизводит человеческое восприятие реального мира. Это справедливо даже в случае полной имитации реального пространства. Одним из факторов, влияющих на это, является пространственная ориентация, включающая такие параметры, как восприятие размеров объектов, дистанции до них, скорости движения и прочее. Большинство исследователей и разработчиков виртуальной реальности признают значительные различия в восприятии расстояний и скоростей в виртуальной симуляции по сравнению с реальным опытом. Существуют несколько гипотез, которые могут логически объяснить этот феномен [75].

Способность ориентироваться в пространстве предполагает создание ментальной модели виртуального мира. На основе исследований было установлено, что навигационные навыки улучшаются, если субъект самостоятельно исследует окружающий мир. Иммерсивные устройства для виртуальной реальности не в состоянии полностью передать такие параметры, как скорость передвижения и расстояния до объектов, что влияет на качество пространственной ориентации [29, с. 46].

Компьютер, созданный человеком, служит инструментом, а не превращает человека в машину. Виртуальная реальность представляет собой компьютерно-созданное окружение, которое позволяет пользователю взаимодействовать с визуальными и аудиальными стимулами. Это окружение не полностью соответствует реальности и зависит от интерпретации и мировоззрения пользователя. Тем не менее, накопленный виртуальный опыт может влиять на восприятие реальности пользователя, так как виртуальные изображения не всегда адекватно отражают реальный мир. При этом виртуальная реальность может стать столь привлекательной, что пользователи иногда предпочитают ее реальным социальным контактам. Важно осознавать границы между этими двумя мирами и не позволять виртуальной реальности доминировать над реальной жизнью [100, с. 67-69].

Технология виртуальной реальности (VR) перед архитекторами и дизайнерами открывая новые горизонты, как и любая технология, имеет свои ограничения и вызовы. К примеру, технологические барьеры включают в себя высокие системные требования и проблемы совместимости с архитектурным программным обеспечением, что может затруднить интеграцию VR в текущие рабочие процессы. Экономические затраты могут оказаться существенными, особенно для малых фирм, поскольку оборудование и программы для VR часто требуют значительных инвестиций. Ограничения взаимодействия с VR могут возникнуть, так как технология не всегда может полностью воссоздать ощущения реального физического взаимодействия с материалами и пространством. Социальные и этические проблемы включают риск социальной изоляции при чрезмерном погружении в виртуальные миры и проблемы доступности технологии для всех участников процесса (рисунок Г.13, Приложение Г). Таким образом, VR в архитектуре предоставляет возможности для революционных изменений, но также имеет ряд вышеописанных недостатков.

#### **Выводы по четвертому разделу**

1. Выявлена актуальность и важность применения компьютерных программ в архитектурном проектировании, в том числе для создания сложных архитектурных форм. Программы такие как Autodesk Revit, Rhino и SketchUp, позволяют архитекторам экспериментировать с нестандартными формами и структурами, открывая новые горизонты в архитектурном дизайне.

2. На базе анализа собранных данных приходится констатировать, что систематизированные основные направления цифровизации в архитектуре и их влияние на процесс формообразования обогащают практику проектирования новыми методами и техниками. Особое внимание уделено алгоритмическому и

генеративному дизайну, которые позволяют создавать инновационные и функциональные архитектурные объекты.

3. Разработанная концепция программного продукта для архитекторов отражает требования и потребности современной архитектурной практики. Этот программный продукт предлагает инструменты для оптимизации проектирования, управления проектами и взаимодействия с заказчиками, что способствует повышению эффективности и качества архитектурных проектов.

4. Исследование показало, что разработанная модель, описывающая проблематику внедрения BIM-технологии в индустрии, подчеркивает как её возможности, так и вызовы. BIM-технология обеспечивает улучшенное сотрудничество между участниками проекта, но в то же время представляет собой вызовы в виде необходимости обучения и адаптации рабочих процессов.

5. Созданная модель, демонстрирующая области применения VR-технологий в архитектурном проектировании, раскрывает их роль в улучшении процессов разработки и визуализации. VR-технологии позволяют архитекторам и клиентам глубже понимать и оценивать архитектурные проекты, предоставляя иммерсивный опыт взаимодействия с виртуальным пространством.

6. На основе предоставленной информации, разработанная модель выявляет ключевые трудности и ограничения, связанные с использованием технологий виртуальной реальности (VR). Эти сложности включают в себя необходимость значительных инвестиций и ресурсов для разработки и реализации проектов в области VR. Кроме того, выявлены потенциальные проблемы, связанные с пользовательским интерфейсом и восприятием виртуальной среды, что может затруднить эффективное использование этих технологий.

7. Проведенные практические эксперименты с использованием программы Autodesk Revit для исследования формообразования, включая работу со студентами на примере объектов, таких как Хан-Шатыр и ЭКСПО-2017, демонстрируют практическое применение теоретических знаний в области архитектуры. Эти эксперименты показали, как цифровые технологии могут быть интегрированы в учебный процесс, обеспечивая студентам ценный опыт работы с современными архитектурными инструментами.

## **5 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

В пятом разделе рассматриваются перспективы формообразования в контексте цифровой архитектуры. Подраздел 5.1 посвящен влиянию концепции Индустрии 4.0 на архитектурную практику, а также рассматриваются прогностические возможности, которые она может предоставить для будущего дизайна и строительства. Подраздел 5.2 акцентирует внимание на нейросетях, рассматривая их как передовое направление в архитектурном проектировании, которое может кардинально изменить подходы к созданию зданий. Подраздел 5.3 освещает прогнозируемое развитие цифровой культуры в архитектуре Казахстана, акцентируя внимание на инновационных подходах и методах. Выводы по разделу обобщают рассмотренные тенденции, подчеркивая их важность для будущего архитектурного проектирования.

### **5.1 Индустрия 4.0 в архитектуре и её прогностические возможности**

Цифровая культура в архитектуре во многом связана с развитием технологий, и Индустрия 4.0, может стать одним из важных аспектов в развитии технологии на другой уровень. Индустрия 4.0, известная как Четвертая промышленная революция, представляет собой интеграцию цифровых технологий в различные отрасли, включая архитектуру и строительство. В архитектуре она предлагает множество прогностических возможностей, которые могут привести к значительному развитию и совершенствованию процессов проектирования, строительства и эксплуатации зданий. Индустрия 4.0 рассматривает включение использования роботов и автоматизированных систем, с применением множества других технологий. В частности, одной из ключевых составляющих Индустрии 4.0 является интернет вещей (internet of things, IoT), концепцией сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Данное технологическое направление предполагает создание сети физических объектов, которые снабжены сенсорами, программным обеспечением и прочими технологиями для обмена данными с другими устройствами и системами посредством интернета.

На инфографике, представленной на рисунке Д.1, а) [316], последовательно изображены четыре этапа развития промышленных процессов, отражающие эволюцию производства от XVIII века до сегодняшнего дня.

Начиная с XVIII века, Промышленность 1.0 символизирует зарождение механизации, где основными движущими силами стали вода и пар, что способствовало переходу от ручного труда к машинному. В 20 веке промышленный ландшафт трансформировался в Промышленность 2.0 с массовым производством, основанным на электричестве и разделении труда, что привело к увеличению производственных мощностей и эффективности. Затем, в 1970-х годах, наступает эра Промышленности 3.0, характеризующаяся началом автоматизации и включением информационных технологий и электроники в производственные процессы, что ещё больше ускорило и упростило

производство. В наши дни, в рамках Промышленности 4.0, мы наблюдаем революцию киберфизических систем, которые интегрируют компьютерные технологии с физическими процессами, включая использование интернета вещей, искусственного интеллекта, и расширенной автоматизации, что предоставляет возможности для создания умных и самоорганизующихся производственных систем, способных к самооптимизации и адаптации.

Представленной рисунке Д.1, б) [317], представляет собой изображение человеческой руки, тянущейся к роботизированной руке, что напоминает знаменитый образ из «Сотворения Адама» Микеланджело на потолке Сикстинской капеллы. В данной интерпретации рука Адама заменена на роботизированную, что символизирует стык человечества и технологий. Изображение часто вызывает ассоциации с темами искусственного интеллекта, будущего робототехники, взаимодействия человека и робота, а также философские вопросы о том, что значит быть живым или обладать сознанием. Также это можно интерпретировать как современный взгляд на мотив создания, предполагающий возрождение новую эпоху, в которой люди являются не только созданием, но и создателями, формирующими интеллектуальные машины, которые однажды могут достичь или превзойти человеческие способности.

Выставка «Искусственный интеллект и архитектура», разработанная архитектором и исследователем Станиславом Шайю, представляет основные этапы развития в области архитектуры, начиная с исследований по модульности, компьютерному проектированию (CAD), параметрике и заканчивая искусственным интеллектом. Выставка исследует возможные пути применения ИИ в разных аспектах архитектуры, от планировок до структур, и представляет конкретные примеры, результаты исследований из различных университетских лабораторий и международных операторов, чтобы продемонстрировать слияние технологии и дисциплины в этой сфере [114]. В сфере архитектуры, это влияние проявляется через такие направления, как создание умных зданий и адаптивной архитектуры, а также проектирование на основе данных.

Современная вычислительная архитектура, направляя проектирование через динамично взаимодействующие агенты, требует переосмысления, пересмотра и перепроектирования привычных подходов к созданию архитектурных структур. Это стимулирует критический анализ понятия обратной связи, идущий за рамки обожаемого эволюционного алгоритма, который воспринимается больше, как технический инструмент, нежели культурный феномен архитектуры. «CYBERNETICS FEEDBACK NETGRAFT» представляет кибернетические принципы в качестве основы для вычислительной архитектуры, предлагая системный подход к перепроектированию архитектурной культуры. Автор обращается к закону Росса Эшби о необходимом разнообразии и идеи самоорганизации в цифровой среде, одновременно предлагая критику био-цифрового и чрезмерно фантастического. Текст подчеркивает необходимость «архитектурной лаборатории», основанной на системном подходе к возникновению неожиданных элементов и подкрепленной кибернетическими принципами, которые в конечном итоге могут направлять и обратно влиять на практику и искусство архитектуры [153, р. 58].

В эпоху цифровизации роль архитектора претерпевает заметные изменения, трансформируя профессионала из прежнего художника-инженера в информационного дизайнера менеджера, организатора или интегратора множества дисциплин. В киберфизическом пространстве как будут работать архитекторы, какие перспективы будет, свидетелем будет технология.

Умные здания интегрируют в себя сенсоры и устройства IoT для сбора данных о различных параметрах - температура, освещенность, влажность, энергопотребление и др. Это позволяет осуществлять более гибкий и эффективный контроль над работой здания, реагируя на изменения внешней и внутренней среды. Адаптивная архитектура использует IoT для обеспечения способности здания реагировать на потребности и предпочтения пользователей, обеспечивая максимальный комфорт и удобство. В этом системы автоматизированного сбора и анализа данных может предоставить средства для непрерывного мониторинга различных параметров здания, таких как температура, освещённость и качество воздуха. В режиме реального времени роботизированные датчики собирают эту информацию, которая затем используется для улучшения энергоэффективности и общей работы систем здания. В контексте «Индустрии 4.0», эти технологии не только оптимизируют существующие здания, но и вносят элементы предиктивной аналитики и автоматизации в проектирование и строительство, увеличивая при этом их устойчивость и эффективность.

Использование технологии «Интернета вещей» (IoT) может помочь в синхронном проектировании и управлении зданиями. Создавать более точные компьютерные модели зданий ещё на этапе их проектирования. Это позволяет специалистам заранее понять, как сделать здание более энергоэффективным, удобным для людей и безопасным для окружающей среды. Технология построена, чтобы собирать информацию с различных датчиков, которые могут отслеживать всё - от температуры и влажности до потребления энергии. Эти данные могут помочь архитекторам создать здания, которые лучше подходят для эксплуатации, делая их не только комфортными, но и энергоэффективными.

Индустрия 4.0 привносит в архитектуру новые технологии - анализ больших данных и машинное обучение. В частности, эти инструменты помогают обрабатывать огромные информации от различных сенсоров и «умных» устройств. Эта информация может помочь, например, улучшить планировку здания или сделать его более энергоэффективным и т.д. Машинное обучение может автоматизировать рутинные задачи, связанные с проектированием и анализом зданий. Это экономит время и позволяет специалистам сконцентрироваться на более сложных аспектах работы. Также, на этапе проектирования можно использовать компьютерные модели для тестирования разных вариантов конструкции и другие расчеты проектирования. Это дает возможность увидеть возможные проблемы еще до начала стройки и внести необходимые коррективы [128, р. 983-991]. В этом контексте, Индустрия 4.0 может представлять собой важный аспект изучения цифровой культуры в архитектуре, поскольку она включает в себя применение различных инновационных технологий, таких как Интернет вещей (IoT), машинное

обучение, большие данные, робототехника и другие. Эти технологии могут иметь значительное влияние на процесс формообразования в архитектуре, преобразуя способы проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

Роботы и автоматические системы становятся ключевыми участниками в современных архитектурных и строительных процессах, дополняя и иногда заменяя человеческий труд в ряде операций. От проектирования до строительства и обслуживания, роботизированные решения увеличивают скорость и точность работы, обеспечивая при этом экономию ресурсов. Они участвуют в всём: от создания прототипов и кастомных конструкций, выполняя задачи по резке и сварке, до фактического строительства, где могут быть применены для установки фасадов, укладки кирпичей и других монтажных работ. Даже после завершения строительства, роботы остаются активными, управляя инфраструктурой зданий и выполняя разнообразные обслуживающие функции, включая уборку, мониторинг систем и даже внутреннюю логистику, что минимизирует необходимость рутинного человеческого вмешательства.

Использование роботов и автоматических систем на стройке и в управлении зданиями делает работу быстрее и точнее. Строить, класть кирпичи, устанавливать фасады, собирать конструкции, устанавливать разные части здания и заниматься его техническим обслуживанием. Это не только ускоряет работу, но и сокращает расходы на рабочую силу, и дает возможность экспериментировать с новыми материалами и формами. Также могут прослужить для автоматизации в эксплуатации здания. Это делает здание более эффективным и уменьшает необходимость в ручной работе. В этом IoT тесно связан на системном уровне, для получения информации о том, как эффективно работает здание.

Индустрия 4.0 взаимосвязана с новыми технологиями промышленности и не только. Нагрузки как анализ больших данных, защита в интернете, интернет-соединение разных устройств, 3D-печать и новые материалы с использованием роботов. Всё это может помочь делать архитектуру и строительство зданий более современными и эффективными. Также позволяют лучше защищать данные и делать процесс строительства безопаснее. Однако, рост зависимости от автоматизированных и роботизированных систем в архитектуре и строительстве сопровождается возрастающими рисками в области кибербезопасности, так как эти технологии могут быть уязвимыми для несанкционированного доступа, хищения данных и других форм киберпреступлений. Эти угрозы особенно критичны для систем, управляющих жизненно важными функциями зданий, от энергоснабжения до безопасности, и требуют комплексного подхода, включая технические меры защиты, обучение персонала, законодательные регулирования и междисциплинарное сотрудничество для минимизации рисков и создания более безопасного киберпространства.

На представленной рисунке Д.2, [318], иллюстрируются ключевые компоненты и технологии, связанные с концепцией Промышленности 4.0, которая характеризует современную эпоху интеграции киберфизических систем, интернета вещей и автоматизированных процессов в промышленности. В основе этой концепции лежит кибербезопасность, обеспечивающая защиту

информационных потоков и производственных баз данных от цифровых угроз, и аналитика больших данных, позволяющая оптимизировать производственные процессы на основе обработки и анализа огромных массивов информации. Сенсоры, расположенные в самом сердце производственных систем, обеспечивают сбор данных в реальном времени, что позволяет отслеживать и контролировать производственные процессы, в то время как 3D-печать и аддитивные технологии революционизируют создание продуктов, позволяя быстро прототипировать и производить сложные детали и изделия. Нанотехнологии и новые материалы предлагают улучшенные свойства и функциональность, тем самым расширяя возможности и применение продукции. Робототехника и автономные транспортные системы, в свою очередь, играют ключевую роль в автоматизации и оптимизации производственных и логистических процессов, обеспечивая бесперебойность и безопасность. Альтернативные источники энергии, такие как ветра, солнечная и геотермальная энергетика, отражают стремление к устойчивому развитию и оптимизации ресурсов. В контексте логистики 4.0 подчеркивается полная интеграция и координация цепочек поставок, в то время как концепция массовой кастомизации подразумевает производство, настраиваемое под индивидуальные потребности каждого клиента, что становится возможным благодаря гибкости современных производственных систем. Эта диаграмма подытоживает синергию между продвинутыми технологиями и производственными процессами, предоставляя комплексный обзор элементов, формирующих промышленность нового поколения.

В эпоху Индустрии 4.0, IFC как основной сетевой формат в BIM может сыграть ключевую роль, упрощая взаимодействие на различных уровнях и значительно облегчая работу архитекторов и строителей. Способность к интероперабельности, позволяющая разным программам и устройствам в строительной отрасли эффективно работать вместе, минимизирует сбои и уменьшает вероятность ошибок, делая процесс более бесшовным. Такой подход обеспечивает плавность в работе и улучшает общую эффективность.

Благодаря возможности работы с данными в реальном времени, процессы могут быть отслежены и контролированы непрерывно, что позволяет оперативно реагировать на любые изменения и вносить коррективы в проектные настройки. Это особенно ценно в динамичной и изменчивой среде строительства.

Облачные технологии добавляют еще один уровень удобства, облегчая совместную работу и предоставляя доступ к проектным данным в любое время и из любой точки мира. Это позволяет командам, расположенным в различных местах, работать вместе как единое целое.

Стандартизация процессов и методов в рамках IFC и BIM способствует унификации рабочих процедур, что обеспечивает более скоординированную и эффективную работу всех участников проекта. В этом, IFC в BIM является технологическим решением, форматом для повышения эффективности и качества в строительной индустрии.

Таким образом, новые технологии промышленности открывают путь для автоматизации и повышения качества работы в строительстве, но стоит

подчеркнуть, там, где новая изобретения есть и новые вызовы (рисунок Д.3, Приложение Д)

## **5.2 Нейросети как перспективное направление в архитектурном проектировании**

Цифровизация началась в эпоху компьютеризации и постепенно перерастает в использование искусственного интеллекта в различных областях, однако его комплексное применение пока не реализовано. В архитектуре одним из наиболее перспективных направлений является использование нейронных сетей. Эти технологии способны произвести революцию в проектировании, поскольку они обучаются на основе данных предыдущих проектов и предлагают решения, оптимизированные с точки зрения энергопотребления, воздействия на окружающую среду и стоимости. Нейронные сети не только облегчают создание новых форм зданий, но и улучшают процесс визуализации и планирования, предоставляя архитекторам мощные инструменты для анализа и прогнозирования. Обученные анализу движения людей и транспорта, они могут помочь оптимизировать распределение пространства и ресурсов в городской среде. Это может полностью изменить подход к архитектурному проектированию и привести к более обоснованному и эффективному дизайну.

В современной архитектуре нейросети открывают обширные возможности, начиная от демократизации технологии, что делает высокоэффективные инструменты доступными не только для крупных корпораций, но и для малых предприятий. Эта тенденция стимулирует инновационные процессы, делая архитектуру более доступной и разнообразной. Интеграция нейросетей с другими технологиями, такими как интернет вещей, может привести к созданию «умных» зданий и городских пространств, которые адаптируются к потребностям человека в реальном времени. Однако применение искусственного интеллекта также поднимает ряд этических и социальных вопросов, в том числе потребность в доступности этих технологий для всех слоёв населения. С другой стороны, возможность персонализации и улучшение качества и надежности проектов делают нейросети весьма привлекательным инструментом. В этом контексте они могут способствовать созданию экологически устойчивых решений и требуют пересмотра образовательных программ, чтобы подготовить новое поколение архитекторов, способных эффективно использовать эти инновационные технологии.

Интеллектуальное управление зданием, основанное на использовании нейронных сетей, становится важным элементом современной архитектуры. Эти технологии могут автоматически регулировать различные строительные системы, такие как отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха (HVAC), освещение и контроль шума, чтобы повысить комфорт людей и эффективность использования ресурсов. Нейронные сети можно обучить анализировать большие объемы данных, включая информацию о внешних факторах, таких как потребление энергии, качество воздуха, освещение и погода. Системы, основанные на нейронных сетях, могут адаптировать управление зданием к меняющимся условиям и потребностям пользователей. Вы можете

учитывать индивидуальные предпочтения, такие как температура, уровень шума и света, чтобы создать наиболее подходящее пространство для каждого пользователя. Это включает в себя настройку системы кондиционирования воздуха для каждой комнаты, настройку интенсивности освещения и цветовой гаммы в зависимости от времени суток и преобладающей погоды, а также мониторинг уровня шума с помощью звуковых систем и механизмов шумоподавления. Возможности нейронных сетей также включают интеграцию с устройствами «Интернета вещей» и различными датчиками для сбора и анализа данных в режиме реального времени, что повышает эффективность управления зданием [117, p.81].

В середине XX века, вслед за широким распространением электронных вычислительных машин (ЭВМ), ряд ученых сфокусировал свое внимание на вопросах, связанных с возможностями сведения функций и принципов человеческого мышления к символьным операциям. Концепция ИИ берет свое начало в 1956 г., когда американский математик Джон Маккарти впервые применяет знания о структурном устройстве мозга для создания аналогичной модели на базе машинной логики. В начале XXI века решения, предложенные исследователями в области ИИ, начали широко применяться в различных научных сферах. Затем, вместе с ускорением и увеличением мощности ЭВМ начали улучшаться и алгоритмы ИИ. Смена традиционных процедурных языков программирования на логические и объектно-ориентированные открыла новые возможности в создании более сложных систем ИИ, однако повлекла за собой необходимость изменения привычной архитектуры ЭВМ [32].

Искусственный интеллект в архитектуре используется для автоматизации проектирования и ускорения принятия решений, что повышает эффективность и позволяет специалистам фокусироваться на творческих задачах [123, p. 276]. Основное отличие данного подхода от методов параметрической архитектуры заключается в уходе от привычной детерминированной модели, построенной для заданного числа переменных, правил и ограничений. Вместо этого, по завершении этапа обучения генерируются решения, которые не просто отвечают набору заранее определенных параметров, а создают результаты, имитирующие статистическое распределение полученных во время обучения данных. Именно поэтому, с приходом технологий ИИ компьютер обретает частичную независимость от пользователя за счет способности к самостоятельному пониманию проблемы благодаря анализу огромного набора обучающих примеров. А поскольку на подготовительном этапе не все начальные данные могут быть представлены пользователем в полном объеме, компьютер может определить для себя некоторые базовые явления анализируемых проектов и попытаться имитировать их. Таки образом, ИИ вызвал скачок из мира эвристики, в котором решения принимаются на основании установленных правил, в мир статистического моделирования. Данный метод призван преодолеть ограничения, свойственные параметрической архитектуре, что может привести к наступлению новой эры архитектурного дизайна.

Профессия архитектора уже давно претерпевает фундаментальные изменения: сначала постепенно внедрялись новые методы строительства, затем

стали разрабатываться новые компьютерные программы и, наконец, произошло внедрение статистических вычислительных мощностей, в частности технологий работы с данными и системами ИИ. Хотя методы, базирующиеся на применении нейронных сетей, и не привносят в процессы архитектурного формообразования совершенно новую парадигму, все же, они воплощают собой следующую технологическую волну, дополняя привычную архитектурную практику [138].

Системы, построенные на базе ИИ, относятся к одному из наиболее перспективных и быстроразвивающимся направлений информатики. Развитие теории нейронных сетей, а также их широкое практическое распространение позволило ученым в сфере дизайна разработать богатый набор рабочих концепций. Автор работы [123, р. 278] Джон Джеро отмечает три основные роли ИИ в сфере архитектурного дизайна:

- 1) предоставление базы для исследований идей дизайна;
- 2) определение схемы для моделирования действий человека во время проектирования;
- 3) развитие и улучшение существующих архитектурных инструментов (автоматизация процессов проектирования).

ИИ сегодня сильно трансформирует многие сферы жизнедеятельности человека и закономерно видится внедрение данной технологии в процессы градостроения. Технологии на базе нейронных сетей могут вносить значительный вклад в изменение пространства, окружающего человека, создавая и преобразуя фасады, планы, структуры и перспективы города., существует ряд задач, которые способен решить данный инструмент. Рассматривая город как единый проект, включающую в себя множество подсистем, мы осознаем его как некий проектируемый продукт, разработка которого состоит из нескольких этапов: дизайн, анализ продукта на недостатки, корректировка и последующая поддержка. В попытке проанализировать эффективность разрабатываемого городского пространства, проектировщики сталкиваются с проблемой оценки огромного объема данных неоднородного типа. На данном этапе может помочь внедрение интеллектуальных систем для автономного сбора и анализа большого количества информации. Далее, этот набор данных, по сути, собранная и проклассифицированная статистическая информация, используется для решения общественных, проектировочных и множество других проблем.

Существует классификация, в которой архитектурные проекты разделяются на шаблонные и нестандартные, последние в свою очередь подразделяются на креативные и инновационные. В рамках данного деления возникает вопрос: каковы возможности ИИ в процессах проектирования и способна ли эта технология на создание нешаблонных структур? Уже становится понятным, что с задачами, связанными с копированием и адаптацией проектов, в подавляющем большинстве случаев ИИ справляется отлично. Решая рутинные задачи, ИИ позволяет автоматизировать монотонные действия, находить наиболее выгодные варианты решения, справляясь с этим намного быстрее и зачастую качественнее человека. Участие данной технологии в разработке однотипных проектов крайне полезно для архитекторов, поскольку типовые проекты отнюдь не всегда являются простым в исполнении. Зачастую,

монотонные задачи бывают крайне объемными и утомляющими для человека, поэтому, очень важно автоматизировать выполнение таких задач. Данная технология способна освободить проектировщика от ряда рутинных задач, позволяя ему сосредоточиться на творческих аспектах проектирования. Помимо этого, применение ИИ минимизирует ошибки, связанные с человеческим фактором путем частичного или полного извлечения человека из конкретного процесса. Данный способ применения ИИ возможен при условии, когда известны все необходимые для вычислений данные: переменные величины, уравнения математических моделей создаваемых объектов, ограничения и методы нахождения значений переменных величин. В рассматриваемом контексте примечательна работа М. Рохманийко в рамках «Открытого международного конкурса архитектурного жилья», в которой им была разработана компьютерная программа, генерирующая варианты типовых зданий, определяемые спецификой конкретного участка. Таким образом, учитывая множество факторов, создавался вид проектируемого здания, а также оптимизировалась конфигурация внутреннего оборудования. Все это обеспечивало разумное использование пространства и высокую энергоэффективность проекта.

М.С. Салех в своей кандидатской диссертации исследовала то, как цифровые технологии способствуют созданию архитектурных форм. Особое внимание уделено генеративному дизайну, где формы зданий разрабатываются с учётом заранее установленных правил и ограничений. Работа также затрагивает тему создания гибких пространств, способных к изменению и адаптации со временем. При проектировании учитываются многочисленные факторы, включая социальные, градостроительные, физико-географические и исторические аспекты. Генеративные методы, основанные на начальных данных и правилах, реализуются через компьютерное программирование, что позволяет проектировать здания с нуля. Автор акцентирует внимание на двух основных подходах: создание форм на основе заданных закономерностей и проектирование их таким образом, чтобы они соответствовали определённым функциональным требованиям, например, конструкции или акустике. Описана роль искусственного интеллекта, который на начальных этапах помогает разрабатывать новые формы и языки дизайна, отличные от традиционных эскизов, что приводит к появлению уникальных компьютерно-генерированных форм. Это позволяет архитекторам сосредоточиться на креативной части процесса, в то время как окончательные решения всё равно остаются за специалистами.

Таким образом, генеративные методы представляют собой мощный инструмент в современной архитектуре, который может изменять традиционные подходы к проектированию. Несмотря на технологический прогресс, ключевую роль продолжает играть архитектор, направляющий этот процесс и применяющий свой опыт, и креативность [159, с. 9-18].

ИИ только сравнительно недавно стал применять генеративные методы, когда он не просто анализирует имеющиеся формы, а непосредственно создает их. Генеративно-состязательные сети (ГСС) на сегодняшний день представляют

одно из наиболее перспективных направлений в области цифровой архитектуры. Главная особенность их работы заключается в способности воспроизводить статистически значимые явления, обнаруженные среди предоставленных им данных (рисунок Д.4, Приложения Д). Система объединяет в себе генератор и дискриминатор, работающие по аналогичному принципу, применяемому в модели обсуждения с учителем. Так, генератор создает визуальные образы, а дискриминатор в каждую итерацию алгоритма оценивает сгенерированное изображение на предмет сходства с обучающим набором. Адаптивность такой модели заключается в том, что благодаря обратной связи от дискриминатора к генератору, ГСС модель обучается находить явления и закономерности, присущие предоставляемым ей образам. Стоит отметить недавний проект выпускника Гарвардской высшей школы дизайна, в котором была разработана модель ГСС для автоматической планировки помещений [144, р. 6]. По завершении ряда итераций программа учится генерировать синтетические планы заданных на основании данных о размере, форме и конфигурации окон и дверей. Такой инструмент синтеза формы как ГСС необходимо обучать, поставляя ИИ отобранную для конкретной цели информацию. Этот факт говорит о том, что роль архитектора как руководителя или направляющего будет еще долгое время актуальна, поскольку модель ГСС не будет давать желаемые результаты без ее корректного обучения и последующей оценки результата человеком.

На основании вышеизложенных примеров можно заключить, что возможности ИИ уже довольно широко используются инженерами для решения специфичных задач во множестве областей архитектуры. Поскольку, процессы шаблонного проектирования достаточно просты и понятны, на практике они охватывают большую часть современных проектов с использованием ИИ. Считается, что крупные, многоуровневые проектные задачи не могут быть реализованы без прямого участия человека, его творческих навыков, непрерывной эстетической оценки и последующей корректировкой. Обычно, применение ИИ в архитектуре не характеризуется созданием принципиально новых форм, а решаемые данным подходом задачи строго ограничены определенным набором правил. Инновационный проект возможно воплотить в жизнь лишь при условии выхода за пределы ограниченного диапазона переменных величин. Вследствие этого визуальное представление проекта меняется, хотя и сохраняет привычный формат и будет относиться к тому же классу архитектурных объектов, как и его предшественник. Помимо этого, инновационное проектирование определяется еще одним характерным эффектом: непредвиденное поведение конструкции с механической точки зрения. При использовании значений переменных, выходящих за пределы стандартного интервала, возможно только при условии существования дополнительного математического уравнения, способного описать условия поведения объекта, находящегося в новом диапазоне значений. Креативное проектирование, в свою очередь, требует добавления в вычислительный процесс новой переменной. В связи с наличием описанных запросов в проектировании нестандартных архитектурных проектов, возникает множество вопросов,

касаемых возможности применения технологий ИИ для поиска нетиповых решений. С этой целью проводятся масштабные исследования, результатом которых должна стать система ИИ, способная разрабатывать нестандартные решения задач формообразования.

Впервые алгоритмы ИИ были использованы для автономного проектирования форм в эксперименте американских исследователей Университета Карнеги – Меллона в Питтсбурге [144, р. 7-8]. В данной работе ученые разработали систему, анализирующую действия архитекторов и обученную повторять их, создавая новые структуры и конструкции. Основная отличительная черта такого подхода заключается не в шаблонном повторении существующих проектировочных решений, а напротив, в обучении ИИ самостоятельному решению определенных задач на базе алгоритмов человеческих действий. В результате, разработанная система нейронных сетей позволила с помощью прогнозирования сгенерировать уникальный проект дизайна моста на основании нескольких полученных ею ранее изображений реальных архитектурных сооружений. Описанное исследование, выступающее ярким примером применения вычислительных машин в качестве непосредственных создателей сооружений, побуждает архитектурное сообщество к еще более внимательному рассмотрению вопросов о будущей роли ИИ в архитектурном формообразовании, его значении и возможных путях развития.

Сегодня интеллектуальные системы зарекомендовали себя не только в процессах формообразования, но и в сопутствующих направлениях строительства и эксплуатации. Ряд разработок в области ИИ и архитектурного дизайна направлены на создание прикладных программ со встроенным управляемым обучением. Авторы работ утверждают, что это позволяет проектировщику использовать данные инструменты как средство исследования предметной области, определяемой конкретными требованиями проекта или их индивидуальными запросами [117, р. 82]. Искусственный интеллект же применяется в строительстве для оптимизации проектирования, управления проектами, обнаружения дефектов, оценки стоимости работ, повышения безопасности на объектах и оптимизации логистики. Так, например, с помощью дронов и ИИ можно автоматически выявлять дефекты на сооружениях, а системы на основе ИИ помогают прогнозировать сроки и затраты на проекты. Автономные устройства – дроны, ранее используемые исключительно для съемки, сейчас способны осуществлять сбор данных, наблюдение за которыми гарантирует тщательное инспектирование строительных работ. В России строители начали использовать ИИ для составления технических заданий и расчета затрат. Несмотря на положительные отзывы, неясно, сможет ли он полностью заменить человеческий опыт и экспертизу [54].

В рамках модульной архитектуры предлагается применение самостоятельной 3D-печати составных частей с использованием ИИ. Данная технология объединяет роли строителя и архитектора, позволяя создавать сооружения без участия человека. Так, в 2016 году на выставке передовых технологий в Амстердаме авторы стартапа AI Build представили проект, в

котором были использованы графические процессоры для запуска комбинации алгоритмов, повышающих скорость и точность крупномасштабной 3D-печати [115].

На основании ряда рассмотренных возможностей технологий ИИ в проектировании можно сделать вывод о перспективности данного направления. Вероятнее всего, в будущем распространение данного инструмента будет повсеместным, существующие цифровые методы будут улучшены и автоматизированы благодаря нейронным технологиям.

Управление пространством на основе адаптивных методик предусматривает использование нейронных сетей для анализа данных об использовании пространства и его оптимизации. Эти сети способны предлагать рекомендации по расположению мебели, организации рабочих зон, или даже могут модулировать размещение перегородок для достижения максимального комфорта и эффективности использования пространства. Таким образом, нейросети как перспективное направление в архитектурном проектировании могут революционизировать процесс проектирования, обеспечивая глубокое обучение и автоматическое создание оптимизированных дизайнерских решений. В этом сегодня наша окружающая среда постоянно обрабатывает данные, и многие ее компоненты функционируют в режиме реального времени. По сути, мы живем в мире, где многие вещи роботизированы и автоматизированы. Этот мир формировался тысячелетиями ручным трудом, а затем был автоматизирован с помощью машин и программирования, для «роботизации» означающее машину или систему, которая автоматически обрабатывает информацию и действует в реальном времени. Таким образом, наша реальность - это среда, где люди и роботы тесно взаимодействуют, и где люди становятся частью все более связанной и автоматизированной системы [20].

ИИ на сегодня является началом пути в кибернетику. Применение нейросетей в архитектурном проектировании представляет собой перспективное направление, которое может кардинально изменить подходы к созданию и оптимизации архитектурных объектов. Нейросети способны анализировать большие массивы данных и выявлять в них сложные зависимости, что может быть использовано для автоматического создания проектных решений или предложения оптимизаций существующим. Это открывает возможности для более быстрого и точного проектирования, снижает риск ошибок и позволяет архитекторам сконцентрироваться на творческих аспектах работы. Нейросети могут помочь в интеграции различных систем здания для повышения его энергоэффективности, удобства и безопасности. Также, использование искусственного интеллекта может улучшить междисциплинарное взаимодействие, вовлекая в процесс проектирования специалистов из смежных областей, таких как экология, социология и искусство. Однако, применение нейросетей в архитектурном проектировании не лишено рисков и недостатков. Один из ключевых вопросов касается безопасности данных. Нейросети требуют доступа к большим объемам информации, что может стать уязвимым местом в случае недостаточных мер по защите данных. Автоматизация процесса проектирования может привести к уменьшению количества рабочих мест для

архитекторов и инженеров или к ослаблению роли человеческого фактора и творческого подхода в архитектуре. Есть и технические ограничения, ведь нейросети могут сгенерировать неоптимальные или нереализуемые решения, если они недостаточно хорошо обучены или если их алгоритмы не учитывают всех переменных и ограничений проекта. Также, есть вопросы устойчивости и экологической ответственности, поскольку требования к вычислительной мощности для работы с нейросетями могут быть весьма высокими. Таким образом, несмотря на значительный потенциал, применение нейросетей в архитектуре требует осмотрительного и ответственного подхода.

На рисунках Д.5 представлены серия экспериментов по созданию плана дома и формообразованию: а) формообразование, б) планировка в аксонометрии, в) планировка помещения. В этих нейросетях «Stable difussion» и «Dalle-2» на первый взгляд неплохо справились с задачами, опять же, если это воспринимать как эскизы с неясными деталями. На планах мебель от стены различима. По результатам, представленным в аксонометрии, складывается впечатление, что работа выполнена с использованием специализированных программ. Формообразование, достигнутое с помощью генерации нейросетью, также производит впечатляющий эффект. Все эксперименты проводились на основе бесплатных тарифов, и это видно, что портал еще не для профессиональных целей можно использовать, так как, отсутствуют настройки для точной генерации форм или планов идей. Учитывая это, можно утверждать, что правильно обученная нейросеть позволит создавать профессиональные проекты, совместимые с САД-геометрией. Однако все это потребует дополнительных ресурсов на всех этапах и, вероятно, будет доступно только с подпиской на платной основе.

Интеграция искусственного интеллекта в САД системы ускоряет и оптимизирует проектирование. ИИ автоматизирует рутинные задачи, такие как создание базовых моделей, и анализирует большие объемы данных для выработки оптимальных дизайнерских решений. Это не только повышает эффективность процесса, но и делает его более точным и персонализированным. Современные алгоритмы могут провести симуляции, предсказать поведение дизайнера в различных условиях и оценить его устойчивость. Такая интеграция делает процесс проектирования более коллаборативным и учитывает этические аспекты, такие как доступность и экологичность.

Исходя из анализа раздела, эксперименты с использованием ИИ как инструмент даёт весьма обнадеживающие результаты, поскольку применение нейросетей в архитектуре раскрывает новые горизонты для инноваций, однако встречается с рядом проблем. На технологическом уровне, ограниченность доступных данных для обучения нейросетей и трудности в толковании их выводов ограничивают их применение. Экономически, высокие издержки на оборудование и необходимость в непрерывном обучении персонала ставят под сомнение целесообразность таких инвестиций, особенно для малого и среднего бизнеса. Этические вопросы включают в себя риски, связанные с автоматизацией, возможную зависимость от искусственного интеллекта, проблемы с доступностью технологий и защитой интеллектуальной

собственности. Крупные компании могут позволить себе внедрение и использование нейросетей, тогда как меньшие предприятия сталкиваются с барьерами с финансовой стороны и технологических ограничений, что усиливает технологический разрыв в архитектурной отрасли. Несмотря на потенциальные преимущества автоматизации и оптимизации процесса, ключевым остается вопрос о сбалансированном и осознанном внедрении ИИ. Это требует тщательного анализа не только возможностей, но и вызовов, которые ИИ представляет для архитекторов и не только (рисунок Д.6, Приложения Д).

### **5.3 Перспективы развития цифровой культуры в создании инновационной архитектуры Казахстана**

Государственная программа Стратегия «Казахстан-2050. «Умные» города, которая была утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827, далее с развитием программы «Технологическое обновление и цифровизация» в этом контексте цифровая трансформация в рамках стратегии «Казахстан-2050» [1]. Цель Программы нацелена на ускорение экономического роста Казахстана и улучшение благосостояния его граждан с помощью интенсивной интеграции и широкого внедрения цифровых технологий, причём ключевым приоритетом выступает концепция «умных» городов. Основное внимание в среднесрочной перспективе уделяется оптимизации городских условий через цифровизацию, что ведёт к модернизации городской инфраструктуры и предоставлению качественных услуг для населения. Взгляд в будущее подразумевает переход экономики Казахстана к новой парадигме - к инновационной, устойчивой и цифровой модели развития городов.

Перспективы развития цифровой культуры в создании инновационной архитектуры в Казахстане представляют значительный потенциал для развития современной архитектуры и улучшения городской среды. Внедрение современных цифровых инструментов проектирования, таких как параметрическое моделирование, алгоритмическое проектирование и виртуальная реальность, позволит казахстанским архитекторам более эффективно и точно разрабатывать инновационные архитектурные формы. Это поможет создать уникальные и функциональные здания, соответствующие современным требованиям и потребностям. Внедрение 3D-печати, роботизированного строительства и других технологий цифрового производства позволит реализовать сложные архитектурные формы и конструкции, сократить сроки и стоимость строительства. Это будет способствовать развитию инновационных и экологически устойчивых решений в архитектуре Казахстана.

Ключевым моментом в развитии цифровой культуры в архитектуре Казахстана является ее многоаспектность, отражающая необходимость комплексного подхода к интеграции технологий, образования и переподготовки, государственного участия, культурных и доступных соображений. Такая многогранность позволяет подчеркнуть важность каждого из этих элементов и

их взаимодействия для создания сбалансированной и продуктивной архитектурной среды.

В XXI веке «зеленая архитектура» и цифровизация трансформируют сельскохозяйственное строительство, особенно в малых поселениях. Эти изменения фокусируются на экологически устойчивом использовании ресурсов и влияют на типологию зданий, интегрируя современные технологии для оптимизации и повышения эффективности [57, с. 51]. Авторы Абдрасилова Г.С., Туякаева А.К. и Козбагарова Н.Ж. обсуждают применение современных архитектурных и технологических подходов в аграрном секторе Казахстана<sup>6</sup>, подчеркивая их важность для развития эффективного сельского хозяйства и улучшения качества жизни. Авторы рассматривают международный опыт и подходы к проектированию агропромышленных объектов, подходящих для казахстанских условий, и предлагают новые типы аграрных сооружений для достижения этих целей. В этом внедрение таких технологий, как ГИС-программы для глубокого анализа региональных особенностей, САД и ВМ для проектирования и строительства, Python для обработки данных и прогнозирования, а также BMS – (англ. «Building Management System» — «Система управления зданием») для автоматизации управления зданиями, может значительно расширить возможности аграрной архитектуры в Казахстане, способствуя формированию инновационной архитектуры, соответствующей современным трендам цифровой культуры и требованиям развития страны [98].

Развитие интерактивных и интеллектуальных систем в архитектуре Казахстана будет способствовать созданию более благоприятной и комфортной городской среды. Использование датчиков, Интернета вещей и сетей искусственного интеллекта приводит к созданию адаптивных и интеллектуальных зданий, способных удовлетворить потребности пользователей и оптимизировать использование ресурсов.

Цифровая эволюция, от компьютеров до ИИ и 3D-технологий, налаживает свои корни в архитектуре и сопутствующих дисциплинах. Это воздействие ощущается в учебных заведениях, хотя здесь интеграция новых подходов не всегда последовательна, что может сдвигать фокус с креативности на технические детали. В рабочей практике, цифровые методы обещают делать строения более экономичными, устойчивыми к изменениям климата и отзывчивыми к потребностям людей. Они также открывают новые способы аналитической работы и предварительного планирования, облегчая процесс

---

<sup>6</sup> По словам Абдрасиловой Г.С., Туякаевой А.К., и Козбагаровой Н.Ж.: «Для решения проблем, стоящих перед аграрным хозяйством Казахстана, необходимо создать современную материально-техническую базу, отвечающую технологическим требованиям жителей комфорта и условий производства.», «В эпоху индустриальных технологий невозможно представить аграрное производство без специализированного предприятия, включающего архитектурные здания и помещения, обеспечивающие технологическое внедрение в процесс производства готовой к переработке продукции. Типологический перечень объектов агропромышленной архитектуры для условий Казахстана должен включать не только отдельные объекты (сеянцы, теплицы, вертикальные фермы и т.д.), но и многофункциональные агробазы - комплексы, объединяющие в себе укладку, переработку, внедрение и реализацию продукции.» - перевод с казахского языка на русский язык. Абдрасилова Г.С., Туякаева А.К., Козбагарова Н.Ж. Проблемы формирования агропромышленной архитектуры в Казахстане // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия Технические науки и технологии. – 2020. - №4 (133) - С. 92-99. <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2020-133-4-92-99>.

создания зданий и улучшая городскую жизнь. Этот переход идет параллельно с бурными изменениями в технологическом окружении, что влияет на наше общее восприятие реальности [80, с. 22-24].

Развитие технологий идет с такой скоростью, что сложно сказать, как это скажется на архитектуре в ближайшие годы. Переплетение виртуального и реального может принести с собой значительные изменения в архитектурной области, и эти изменения могут быть как благоприятными, так и не очень. Так, новые технологии могут предоставить архитекторам уникальные способы для создания более устойчивых и инновационных проектов. Однако есть и риск, что творческий и культурный аспекты могут остаться на втором плане, уступив место техническим новшествам. В итоге, эти кардинальные сдвиги будут иметь долгосрочный эффект на профессию и потребуют тщательного рассмотрения.

В контексте трансформации взаимоотношений архитектуры и компьютерных технологий автор работы [106, р. 153-156] выдвигает три возможных кризисных сюжета, которые в будущем приведут к глобальным изменениям в области архитектуры:

- 1) случайное возникновение формы;
- 2) глобальное изменение масштаба архитектуры;
- 3) тектонические преобразования;
- 4) изменение эстетических воззрений;
- 5) ускорение темпов возведения сооружений.

Первый аспект будущего состояния архитектуры, с которым специалистам возможно придется столкнуться уже совсем скоро, касается преобладания случайных синтетических форм, получаемых в результате выбора из ряда генерируемых вариаций. Формообразование при таком сценарии будет строиться на программном моделировании, вступая в конфликт с традиционным художественным замыслом архитектора. Далее приводится сценарий, в котором произойдет общее изменение масштаба и формы архитектурных сооружений. Данный прогноз появился в результате анализа существующих градостроительных тенденций в крупных мегаполисах, где здания становятся все более высотными и абстрактными. В качестве яркого примера можно привести возникновение так называемой «блоб-формы», создаваемой при помощи компьютерных средств и представляющей собой необычные, иногда бесформенные, геометрические фигуры. Зданием-блоб считается построенный архитекторами Спайбруком Л. И Остерхейсом К. Водный Павильон, который, помимо наличия нестандартной формы, примечателен своей электронно-интерактивной внутренней средой. Радикальные изменения в городской среде могут привести к некоторому отчуждению архитектуры от общества, поскольку существует сложность восприятия человеком сооружений непривычной и нелогичной формы. Тектонический сценарий подразумевает, что в ходе дальнейшего внедрения цифровой культуры изменится привычная иерархия частей сооружения и их значения. Уже сейчас можно заметить распространение непрерывных структур, в которых несколько конструктивных функций выражено одним элементом. В данном контексте популярно монолитное строительство, которое применяется для возведения как типовых застроек, так и

оригинальных архитектурных проектов. Способ строительства с использованием монолитного железобетона расширяет возможности в формировании форм и создает цельные конструкции высокой прочности. На основании этого исследователи приходят к выводу, что в будущем возможно кардинальное переосмысление самого принципа тектоники, или же вовсе замещение его неким новым понятием. Также, существует предположение, что скорость перестройки программного метода в течение следующих лет будет только увеличиваться, снимая множество ограничений в архитектурных экспериментах. Такая свобода в создании форм может привести к быстрым изменениям эстетических воззрений архитектора, результатом которых послужит появление множество разнообразных, быстроменяющихся стилей. Помимо этого, у исследователей есть серьезные опасения касательно укрепляющейся тенденции уменьшения времени строительства. Сегодня можно наблюдать изменения в структуре деятельности архитектурных и строительных команд: большинство видов работ на строительных площадках автоматизированы, застройка не требует много времени и, в подавляющем большинстве случаев, производится по схожим планам с несущественными различиями в дизайне. Крайне вероятно, что в будущем человечество столкнется с так называемым кризисом уникальных городов, когда в окружающем пространстве будут преобладать типовые безликие пространства.

Предложенные варианты возможных сценариев необходимо глубоко анализировать и учитывать в задании вектора развития архитектуры. Также, знание и понимание будущих процессов может помочь подготовиться к данным переломным точкам и при их осуществлении постараться минимизировать негативные последствия и получить больше положительных эффектов.

Современное научное сообщество серьезно обеспокоено текущей экологической обстановкой, обусловленной пагубным влиянием человеческой деятельности на природные процессы. Во всех сферах производители стремятся к производству безопасных для окружающей среды продуктов, дабы снизить скорость происходящих сегодня климатических и экологических изменений. Архитектура также уже давно занимается разработкой сооружений с минимизацией негативных воздействий на природу, умеренным применением материалов, энергии и пространство. Данное направление получило название эко-архитектура, которое с приходом новых цифровых методов получило множество полезных инструментов для реализации идеи экологичного проектирования. Авторы работы [129, р. 171] предлагают довольно многообещающий тандем эко-архитектуры и инструментов САПР, который позволит создать ряд упрощающих проектирование экологичных объектов инструментов. Очевидно, что в будущем данная тенденция в проектировании станет одной из важнейших в вопросах, касаемых оказываемого им влияния на экологическое состояние планеты.

Проф. Е.Г. Лапшина в своих работах акцентирует внимание на сохранении уникальности в новых городах и восприятии архитектурного пространства как живого поля, изменяющегося под влиянием человеческой деятельности. В статье «Новый город: Архитектурный образ, пространственный

символ и миф» она подчеркивает роль традиционных строительных методов в сохранении исторической связи городов, предлагая использовать их не просто как копии, но адаптировать под современные потребности. В «Архитектурном пространстве: новый взгляд» Е.Г. Лапшина исследует то, как архитектурное пространство эволюционирует в ответ на взаимодействие людей, их движения, чувства и мысли, что, по её мнению, присуще современной архитектуре [158].

Технократический мир оказывает значительное влияние на общество. Механические ЭВМ/CAD-системы трансформируются в цифровой подход, в связи с этим, технология выходит на новый уровень взаимодействия с архитектурой и городским пространством. Виртуальная и дополненная реальности, являясь ещё одним направлением, расширяют образовательные и социальные возможности. Концепция смарт-города с «умной» инфраструктурой используют данные для оптимизации городских услуг и улучшения жизни жителей. Эти технологии также позволяют создавать адаптивные архитектурные решения. В этом цифровые технологии и параметрический подход предоставляют возможности для трансформации и развития архитектуры Казахстана, делая её более гармоничной, функциональной и интегрированной с местной культурой и традициями. По словам Патрика Шумахера<sup>7</sup>, будущая архитектура будет органической и интегрированной, создавая единую градостроительную структуру, отражающую многофункциональность и интеллектуальность. В Казахстане, где сочетание глобальных тенденций и местного культурного наследия имеет особое значение, параметризм может стать ключевым инструментом для создания архитектурных форм, которые не только функциональны и эмоционально заряжены, но и гармонично вписываются в региональный контекст. Применение компьютерного интеллекта для разработки точных алгоритмов позволит архитектуре Казахстана соответствовать современным требованиям и в то же время отражать уникальность регионального идентичности.

Будущие перспективы - архитектура в контексте цифровой культуры претерпевает многие изменения, включающие в себя развитие новых материалов, методов проектирования и строительства, и более тесное взаимодействие с ИТ, возможности 3D-печати и других цифровых инструментов в интеграции с информационными технологиями и искусственным интеллектом ведет к появлению «умных» зданий, способных автоматически адаптироваться к изменениям окружающей среды и потребностям пользователей, что в

---

<sup>7</sup> Как отмечал известный архитектор Патрик Шумахер: «Я убежден, что в будущем вся архитектура будет иметь органический характер, когда одна форма будет плавно перетекать в другую и создавать, таким образом, единый градостроительный ансамбль (многофункциональный и интеллектуальный организм). Параметризм в этом плане служит очень действенным инструментом — именно он позволяет создавать функциональные и качественные архитектурные формы. Все это благодаря точности компьютерного интеллекта. Именно компьютер способен создать правильный алгоритм для будущей архитектурной формы». The Architect. (2016) Эксклюзивное интервью с Патриком Шумахером. [https://thearchitect.pro/ru/news/6103-Ekskluzivnoe\\_interview\\_s\\_Patrikom\\_Shumaherom](https://thearchitect.pro/ru/news/6103-Ekskluzivnoe_interview_s_Patrikom_Shumaherom)

перспективе может коренным образом трансформировать будущие города и здания.

Вызовы - культура технократии стимулирует развитие архитектуры, возрождая новые технологии и методы проектирования, однако, эти преобразования несут и определенные вызовы. Для эффективного использования этих возможностей архитекторам требуется постоянное обучение и развитие новых навыков. Вместе с этим возникают вопросы безопасности и конфиденциальности, требующие новых подходов к обработке и хранению данных.

Проф. Э.М. Байтенов в статье "Вызовы современности и контуры архитектуры будущего" описывает эволюцию архитектуры, акцентируя внимание на её адаптации к меняющимся условиям и уменьшении акцента на художественные открытия. Автор предполагает, что будущее развитие архитектуры будет характеризоваться не столько значительными художественными инновациями, сколько способностью к эффективной адаптации к новым вызовам. Это будет достигнуто через малые, но значимые изменения в архитектурной морфологии, что отражает идею самоорганизующейся системы, способной реагировать на будущие тренды и потребности. Также приводит аналогии с биологической эволюцией, обсуждая "пророческую фазу" как метафору для предвосхищения будущих трендов в архитектуре. В целом, работа предлагает переосмысление архитектуры как динамичной, адаптивной системы, способной эволюционировать и отвечать на глобальные изменения, что подразумевает переход к новой эстетике, ориентированной на функциональность и устойчивость в ответ на вызовы современного мира [162, с. 17-24].

Исследование по цифровизации архитектуры Казахстана акцентирует внимание на интеграции технологий, переподготовке специалистов, государственной поддержке и доступности этих технологий для малого бизнеса, а также на сохранении культурного наследия. Эти аспекты служат основой для анализа отраслевого развития. На основе разделов исследования, в том числе результаты развернутого интернет-опроса, направленного на определение современных представлений профессионалов о влиянии цифровой культуры на архитектуру, а также с использованием выводов, содержащихся в трудах ведущих ученых, подчеркивается значимость цифровизации как ключевого фактора в развитии страны. Взаимодействие традиционных методов и современных технологий способствует формированию инновационного будущего архитектуры. В рамках исследования были разработаны теоретические модели, интегрирующие выявленные ключевые направления развития.

В контексте цифровой культуры и технологий в Казахстане, особое внимание уделяется созданию инновационной и устойчивой архитектуры. Современные подходы к проектированию учитывают не только эстетические и функциональные аспекты, но и стремление к энергоэффективности и

экологичности. Как отмечает архитектор К.И. Самойлов, эффективное снижение потребления энергии в жилых секторах возможно при строгом контроле и регулировании энергопотребления на государственном уровне, а также при применении инновационных материалов и учете экологических стандартов в процессе строительства<sup>8</sup>. В этом цифровая культура представляет собой не только новые технологии и инструменты, но и новый взгляд на процесс создания архитектуры, который сочетает в себе современные требования устойчивости и функциональности [87].

Из статьи проф. Г.С. Абдрасилова «Устойчивость архитектуры в условиях пустынных районов: современные тенденции» можно увидеть, что архитектура в экстремальных климатических условиях, как в пустынях Казахстана, должна адаптироваться к природе и климату, используя сочетание традиционных и инновационных подходов. Это включает применение местных строительных материалов, специальные конструктивные решения для адаптации к колебаниям температуры, а также к интеграции зданий в условия пустынь. Такой подход способствует созданию комфортного микроклимата и устойчивости зданий в изменяющихся климатических условиях [161, с. 16-18].

На рисунке Д.5, представлена модель развитие цифровой культуры в архитектуре Казахстана, учитывая текущее состояние отрасли и стремление к созданию устойчивой, инновационной и культурно значимой архитектурной среды. Основываясь на данных аспектах, можно сформировать комплексный подход к развитию архитектуры в Казахстане, который будет отвечать как непосредственным, так и долгосрочным целям страны в области урбанизации и модернизации:

- интеграция технологий, включающая использование BIM, VR, AI и нейросетей, становится основой для ускорения процессов проектирования и снижения затрат. Это подчеркивает трансформационный потенциал высоких технологий в архитектуре, позволяющих создавать более эффективные и инновационные проекты;

- образование и переподготовка становятся важными для повышения квалификации специалистов и адаптации образовательных программ к текущим требованиям рынка, что гарантирует подготовку кадров, способных работать с новейшими цифровыми инструментами;

---

<sup>8</sup> Как описывает архитектор К.И. Самойлов: «Снижение энергопотребления жилых секторов в Казахстане может быть возможно только при условии строгого контроля и регулирования поступления и расхода энергии в зданиях. Потребление энергии должно контролироваться на государственном уровне; необходимо учитывать следующие условия энергоэффективного проектирования – это экологические проблемы, оптимизацию энергопотребления, микроклимат в зданиях, управление отходами и внедрение инновационных материалов в строительство. Главными задачами перед проектированием энергоэффективного жилья для архитекторов является: разработка оптимальной формы и ориентации здания, проектирование функциональной внутренней конфигурации; учет естественной вентиляции, а также конкретных климатических условий места строительства. Также необходимо учитывать, что схемы адаптации энергоэффективных технологий всегда могут обновляться и модернизироваться под новые требования». Нуркеев Ж. Г., Куспангалиев Б. У., Самойлов К.И.: Формирование энергоэффективного жилья в южных регионах Казахстана // Наука и образование сегодня. – 2022. – № 5 (74). – С. 77-81.

- государственная роль подразумевает создание благоприятных условий для стандартизации и финансирования инновационных проектов, что может стимулировать более широкое принятие цифровых технологий в архитектуре.

- культурный аспект важен для сохранения уникального культурного наследия Казахстана при одновременном продвижении современных архитектурных практик. Это включает в себя использование цифровизации для защиты и повышения ценности исторических и культурных объектов;

- доступность технологий обеспечивает расширение возможностей для малых предприятий и индивидуальных архитекторов, что способствует демократизации инноваций в архитектуре.

Таким образом, комплексный подход к развитию цифровой культуры в архитектуре Казахстана, включающий эти аспекты, может обеспечить гармоничное взаимодействие традиционных и новейших практик, способствующее созданию инновационных, функционально и эстетически привлекательных проектов, отвечающих потребностям современного общества и сохраняющих культурное наследие нации.

Разработанная модель «Матрица влияния - интегральный подход в анализе влияния цифровых технологий» (рисунок Д.6, Приложение Д) - отражает множество аспектов, которые цифровизация вносит в архитектурное проектирование и практику. Собранные данные позволяют разложить по полочкам, как цифровые технологии меняют профессиональное пространство архитекторов и общественное восприятие архитектуры.

Развернутый интернет-опрос, направленное на определение современных представлений профессионалов о влиянии цифровой культуры на архитектуру по разделам выявили ключевые темы:

- осознание цифровой культуры — респонденты выразили важность понимания цифровых инструментов и методов, как интегральной части современной архитектурной практики;

- применение цифровых технологий — была подчеркнута их роль в создании новых форм и ускорении проектирования, однако возникает вопрос о влиянии на стоимость и ценность труда архитекторов;

- влияние на формообразование — рассматривается, как инновации вносят изменения в саму суть создания архитектурных форм и пространств;

- преимущества и недостатки — обсуждаются плюсы и минусы цифровой культуры, включая потенциальное сокращение рабочих мест и изменения в профессиональных компетенциях;

- обучение и развитие навыков — поднимается вопрос необходимости обучения и адаптации к новым технологиям для сохранения конкурентоспособности.

Возможные вызовы:

- цифровые технологии в архитектуре приводят к появлению новых форм, но и создают зависимость от программного обеспечения;

- цифровые инструменты, сокращая время проектирования, могут привести к обесцениванию архитектурного труда;

- роль архитектора трансформируется, профессионалам нужны новые навыки, превышающие традиционные пределы профессии.

Выводы отражают широкие общественные и профессиональные последствия:

- многообразие архитектурных форм, как результат инноваций;
- сокращение времени и труда благодаря автоматизации;
- необходимость профессионального развития в ответ на технологические вызовы;

- социальные изменения, возникающие в результате новых способов взаимодействия людей с архитектурой.

В этом данная «матрица» подчеркивает, что архитектурная сфера в Казахстане на пороге значительных изменений, вызванных внедрением цифровых технологий. Результаты анализа развернутого интернет-опроса, направленное на определение современных представлений профессионалов о влиянии цифровой культуры на архитектуру служат основой для разработки стратегий, направленных на адаптацию профессионального сообщества к новым реалиям и на максимальное использование потенциала цифровизации для инновационного развития архитектуры.

В представленной модели «Будущая архитектура Казахстана» (рисунок Д.5, Приложение Д) цифровые технологии выступают как основа для инновационного проектирования в архитектуре. Высокие цифровые технологии предоставляют архитекторам новый инструментарий для проектирования. Например, искусственный интеллект может анализировать большие объемы данных о климате и населении, чтобы создавать более функциональные проекты. BIM позволяет выявлять проблемы до начала строительства и планировать работы, экономя время и ресурсы. 3D печать и VR/AR дают возможность экспериментировать с формами и пространствами, предлагая более динамичные и интерактивные модели. Эти ресурсы, будучи инструментами зеленой технологии, открывают новые перспективы. Зеленые технологии включают в себя использование возобновляемых источников энергии и экологически чистых материалов, что напрямую связано с природными ресурсами региона. Например, в регионах с высоким уровнем солнечного излучения могут использоваться солнечные панели, в ветреных районах — различного рода ветрогенераторы (вертикальноосевые и т.д.). Эти технологии не только улучшают энергоэффективность зданий, но и влияют на формирование в архитектуре.

Социально-экономические и культурно-исторические факторы играют ключевую роль в архитектуре, так как здания должны не только отвечать потребностям общества, но и аккумулировать в своем художественном образе историко-культурное наследие. Цифровые технологии могут помочь визуализировать и интегрировать региональную стилистику в современные проекты, делая их более значимыми в рамках национальной культуры. Природно-климатические условия определяют, какие строительные материалы и технологии лучше всего подходят для определенного места. Цифровые

инструменты помогают анализировать климатические данные для создания эффективных энергосберегающих зданий, приспособленных к местным ландшафтно-климатическим условиям. Все эти элементы объединяются в единую систему, где цифровые инновации облегчают адаптацию архитектуры к локальным условиям и потребностям. Анализ данных о потоках людей может привести к созданию зданий с улучшенной логистикой, а использование традиционных материалов способствует экологичности зданий, поддерживает экономику регионов Казахстана, в том числе и в виде эффективного и рационального использования местных ресурсов. Экологические решения (использование водных ресурсов, особенно малых рек, солнечной энергии, энергии биомассы, низкопотенциальной энергии), учитывающие природно-климатические и социально-экономические особенности каждого региона Казахстана, рассмотренные через "призму" культурного наследия, очевидно, значительно расширят возможности создания будущей архитектуры Казахстана.

Таким образом, модель демонстрирует комплексную взаимосвязь между новыми технологиями и традиционными методами, учитывая экологические, социально-экономические и культурно-исторические аспекты. Она показывает, как цифровая культура может способствовать созданию инновационной архитектуры, гармонично вписывающейся в жизнь общества, окружающую среду и культурный ландшафт Казахстана.

Таким образом, «Будущая архитектура Казахстана» будет результатом комплексного влияния всех этих факторов. Внедрение цифровых и зеленых технологий, учет уникальных природных, социально-экономических и культурных условий каждого региона, а также учет глобальных и местных трендов помогут формировать устойчивое и благоприятное для жизни архитектурное пространство. «Цифровая сфера» Казахстана должна быть коренным образом развернута к архитектурным проблемам. Помимо таких глобальных тем как экология, конструктивные решения, энергосбережение и энергоэффективность, все перечисленные в данной работе составляющие должны синергично работать на архитектурное формообразование еще и в плане контекста региональной идентичности. В данном случае, весь этот арсенал должен быть задействован в векторе, продолжающем все результирующие природно-климатических, социально-экономических и культурно-исторических процессов. Только пропущенные через призму этих факторов, все перечисленные составляющие цифровой культуры смогут адекватно формировать будущую архитектуру Казахстана.

#### **Выводы по пятому разделу**

1. Создана модель возможностей Индустрии 4.0 в архитектуре, которая подчеркивает их значительный вклад в цифровизацию и оптимизацию строительной отрасли. Эта модель иллюстрирует как новые технологии, такие как Интернет вещей и умные строительные материалы, способствуют улучшению эффективности строительных процессов и управления проектами.

2. Основываясь на результатах анализа, становится ясно, что разработанная упрощенная схема работы генеративно-состязательной сети иллюстрирует ее потенциал в архитектурном проектировании. Эта схема демонстрирует, как использование искусственного интеллекта может способствовать созданию инновационных архитектурных форм и структур.

3. Исследование показало, что проведенные эксперименты по созданию архитектурных форм и планировок с использованием нейросетей демонстрируют их возможности в создании дизайна. Эти эксперименты позволили увидеть, как нейросети могут быть использованы для генерации и оптимизации архитектурных решений.

4. Разработанная модель, описывающая проблемы и вызовы, связанные с использованием нейросетей в архитектурном проектировании, подчеркивает необходимость взвешенного подхода к интеграции этой технологии. Основные трудности включают сложности в интерпретации результатов, высокие затраты на оборудование и программное обеспечение, а также потенциальную угрозу сокращения рабочих мест в отрасли.

5. На основе вышеизложенного, проведенный анализ развития цифровой культуры в архитектуре Казахстана выявил ключевые аспекты и направления. Исследование подчеркивает важность интеграции новых технологий для создания устойчивой и инновационной архитектуры, удовлетворяющей современные потребности и стандарты.

6. Созданная модель влияния цифровых технологий на архитектуру Казахстана в будущем представляет интегральный подход в оценке их эффекта. Модель подчеркивает, как цифровизация может способствовать созданию более умных, устойчивых и функциональных архитектурных решений, отвечающих потребностям будущего в разных регионах Казахстана.

7. Модель «Будущая архитектура Казахстана» раскрывает направления интеграции передовых технологий в архитектурное проектирование с учетом природно-климатических, социально-экономических и культурно-исторических особенностей в регионах Казахстана.

Полученные результаты могут способствовать продвижению и развитию цифровой архитектуры. Они также помогут архитекторам-практикам, преподавателям и студентам адаптироваться к меняющимся цифровым методам, что позволит создавать новые, инновационные формы и пространства, в том числе и в архитектуре Казахстана.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования рассмотрено взаимодействие цифровой культуры и архитектуры, выявлены особенности и характер влияния феномена цифровой культуры на архитектурное формообразование.

Первый раздел диссертационной работы фокусируется на всестороннем изучении феномена цифровой культуры в контексте архитектурного формообразования. Основное внимание уделено историческому анализу эволюции цифровой культуры в архитектуре. Автор рассматривает процесс развития от первых шагов в использовании цифровых технологий до современных подходов в архитектурном проектировании. Этот раздел показывает, как со временем, цифровые технологии всё глубже интегрировались в архитектурное творчество, оказывая заметное влияние на процессы проектирования и реализации архитектурных форм. Исследование представляет анализ ключевых моментов в истории архитектуры, когда цифровые инновации начали менять традиционные методы работы. Это включает в себя предпосылки цифровой культуры в архитектуре, начиная со времён Пифагора до современности, что прослежено от рисунков и чертежей, до автоматизированного проектирования САД-систем. Подчеркивается, что эта трансформация не только внесла новые возможности в проектирование и реализацию архитектурных объектов, но и способствовала появлению новых архитектурных форм и концепций.

Во втором разделе диссертации осуществлен анализ механизмов и факторов, влияющих на интеграцию цифровых технологий в процесс архитектурного формообразования. Акцентируется внимание на процессе «встраивания» цифровых технологий в архитектуру, который является ключевым элементом современного архитектурного проектирования. Автор исследует, как это встраивание становится важнейшим фактором в диалектике взаимодействия между архитектурой и цифровой культурой, подчеркивая, что влияние цифровых технологий не просто сохраняется, но и продолжает расти, формируя новые тенденции в архитектурном формообразовании. Это расширение функциональных возможностей цифровой культуры в архитектуре включает в себя разработку теоретических моделей, описывающих механизмы цифрового формообразования. Эти модели, охватывающие алгоритмическое, параметрическое и генеративное проектирование, являются ценным вкладом в понимание того, как цифровизация влияет на архитектурное искусство. Они помогают систематизировать и объяснить изменения, происходящие в процессах проектирования и реализации архитектурных объектов под влиянием передовых технологий. Это стало возможным благодаря комплексному исследованию взаимосвязей между технологическими инновациями и методами архитектурного проектирования, выявившему растущую роль цифровых технологий в архитектуре.

В третьем разделе диссертации проведен подробный анализ влияния цифровых технологий на современные тенденции в архитектурном формообразовании. Основной акцент сделан на детальном рассмотрении конкретных примеров зданий, что позволило выявить ключевые направления цифровизации в архитектуре и их влияние на процессы формообразования, в результате были идентифицированы новые подходы в проектировании, отражающие современные тенденции. Разработана модель, описывающая основные факторы и механизмы цифровой культуры в контексте архитектуры, что помогает понять, как цифровые технологии влияют на стилистические и формальные аспекты архитектурных проектов. Помимо положительных аспектов интеграции цифровых технологий в архитектуру, подчеркиваются потенциальные риски и сложности, связанные с их применением. Кроме того, в исследовании рассматривается, как цифровая культура повлияла на изменения в подходах к архитектурному формообразованию, включая формулирование новых принципов проектирования, использование материалов и технологий, а также взаимодействие с пространством и окружающей средой. В целом, третий раздел представляет собой развернутое исследование влияния цифровых технологий на архитектуру, подчеркивая диалектические взаимоотношения между архитектурой и цифровой культурой и демонстрируя, как эти две сферы взаимно дополняют друг друга.

В четвертом разделе диссертации основное внимание уделено актуальности и значимости использования компьютерных программ в архитектурном проектировании, особенно при создании сложных архитектурных форм. Определяются ключевые направления цифровизации в архитектуре и их влияние на процесс формообразования. Автор представляет разработанные модели, демонстрирующие как возможности, так и сложности, связанные с внедрением BIM-технологий в архитектурную индустрию, что способствует лучшему пониманию динамики и перспектив развития цифровых инструментов в проектировании. Создана диаграмма на основе результатов развернутого интернет-опроса среди активных пользователей компьютерных архитектурных программ, позволяющая оценить их вклад в создание сложных архитектурных форм. Через практические эксперименты с формообразованием в программе Autodesk Revit, в том числе с участием студентов на примере существующих зданий, демонстрируется практическое значение исследования и важность теоретических знаний в архитектурной практике. Дополнительно, раздел освещает использование VR-технологий в архитектуре, анализируя их роль в улучшении процессов разработки и визуализации проектов, а также рассматривает ограничения и отрицательные стороны применения VR, обеспечивая всесторонний обзор этих технологий. В целом, четвертый раздел изучает вклад передовых цифровых технологий в архитектуру, подчеркивая как их значимость в развитии архитектурных практик, так и вызовы, с которыми сталкиваются архитекторы при их использовании.

Пятый раздел работы посвящен разработке новых моделей и концепций в рамках Индустрии 4.0, искусственного интеллекта и развития устойчивой архитектуры Казахстана в контексте цифровизации, объединяющих инновационные идеи с современной архитектурой. В нем представлена модель, акцентирующая вклад тенденций Индустрии 4.0 в цифровизацию и оптимизацию строительной отрасли. Автор также разработал схему работы генеративно-состязательных сетей, анализируя их потенциал в архитектурном проектировании. Вместе с тем, проведена серия экспериментов по созданию архитектурных форм и планировок с использованием нейросетей, подчеркивая их возможности и практическую применимость. Кроме того, разработана концепция программного продукта для архитекторов, отражающая современные требования и потребности архитектурной практики.

В разделе также обсуждаются вызовы и проблемы, связанные с использованием нейросетей в архитектуре, что способствует более глубокому пониманию этих сложных технологий. Проведен анализ развития цифровой культуры в архитектуре Казахстана, выявляя ключевые аспекты и направления ее влияния. Создана модель влияния цифровых технологий на формирование будущей архитектуры Казахстана, она основана на интегральном подходе, учитывающем весь спектр региональных особенностей, определяющихся природно-климатическими, социально-экономическими и культурно-историческими и инновационными факторами. Модель «Будущая архитектура Казахстана» подчеркивает возможности для инновационных разработок в этой сфере. Выводы, полученные на основе этой модели обосновывают необходимость и определяют значимость цифровых технологий в стимулировании развития устойчивой архитектуры Казахстана. Интегральный подход формирует базу для более глубокого понимания и эффективного использования цифровых технологий в архитектуре. При этом, наряду с прогнозированием новых архитектурных форм и стилей, отмечаются и негативные последствия цифровизации.

Государственная программа «Цифровой Казахстан» в области архитектуры, должна развиваться специфическим образом, учитывая весь спектр изложенных выше факторов, гибко реагируя на их динамику. В этом контексте должны быть учтены как общемировые проблемы (экология, энергоэффективность, энергосбережение и т.д.), так и проблемы, обусловленные спецификой региональной идентичности. Только в этом контексте, порождение глобализации - цифровая культура, сможет сбалансировано и адекватно способствовать созданию будущей архитектуры Казахстана.

В целом, результаты пятого раздела способствуют продвижению и развитию цифровой архитектуры, помогая архитекторам, преподавателям и студентам адаптироваться к новым цифровым методам и технологиям, что в свою очередь позволяет создавать новаторские формы и пространства в архитектуре, в том числе и в архитектуре Казахстана.

Таким образом, в результате изучения феномена цифровой культуры в архитектурном формообразовании

1. Проанализирован феномен «цифровой культуры» в архитектуре и этапы его развития. Рассмотрены причины и факторы, которые позволили цифровой культуре интегрироваться в архитектурное формообразование, что обусловило изменения в подходах к проектированию, материалам и взаимодействию с окружением.

2. Определены главные факторы, влияющие на использование цифровых технологий в создании архитектурных форм, на основе этого анализа создана модель, которая показывает, как цифровые технологии воздействуют на процесс проектирования в архитектуре. Исследованы взаимосвязи между цифровой культурой и архитектурой, исходя из их специфики. Проанализировано как цифровые технологии влияют на методы проектирования и изменяют традиционные подходы. Создана модель, которая описывает взаимодействие цифровых технологий с процессом создания архитектурных форм. Исследованы изменения в принципах проектирования, в подходах к созданию архитектурной формы.

3. Рассмотрено влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование, а также обратное воздействие архитектуры на развитие цифровых практик, создана модель этого взаимодействия. Проведены эксперименты по архитектурному формообразованию на примере известных объектов в программе Revit.

4. На основе результатов развернутого интернет-опроса среди активных пользователей компьютерных архитектурных программ, создана диаграмма позволяющая оценить возможности этих программ в создании сложных архитектурных форм. Экспериментами с формообразованием в программе Autodesk Revit, в том числе с участием студентов, продемонстрировано ее значение для архитектурной практики.

5. Систематизированы современные тенденции цифрового формообразования, проанализировано влияние передовых технологий, включая искусственный интеллект на архитектуру. Основываясь на социологическом опросе, представлено отношение в профессиональной среде к влиянию цифровой культуры на архитектурное формообразование. Разработана модель влияния инновационных цифровых технологий на формирование будущей архитектуры Казахстана, учитывающая региональные особенности. Выводы исследования могут быть полезны для архитекторов, преподавателей и студентов, работающих в сфере современной архитектуры.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Стратегия «Казахстан-2050. Государственная программа «Цифровой Казахстан». «Умные» города. Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827. [https://www.akorda.kz/ru/official\\_documents/strategies\\_and\\_programs](https://www.akorda.kz/ru/official_documents/strategies_and_programs) 23.09.2019.
- 2 Государственная программа. «Цифровой Казахстан». <https://egov.kz/cms/ru/digital-kazakhstan> 23.09.2019.
- 3 Об утверждении Государственной программы «Цифровой Казахстан». <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000827> 25.08.2019.
- 4 Международный Инновационный Форум «Цифровой Казахстан: BIM технологии в архитектуре и строительстве». <https://www.normy.kz/index.php/novosti/15-novosti/324-i-mezhdunarodnyj-innovatsionnyj-forum-tsifrovoy-kazakhstan-bim-tehnologii-v-arkhitekture-i-stroitelstve> 23.08.2019.
- 5 Рузавин Г.И. Философия науки: учеб, пособие для студентов высших учебных заведений. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. - 400 с.
- 6 Краусс Р. Путешествие по Северному морю: искусство в эпоху постмедиаальности / пер. с англ. А. Шестаков. - Ад Маргинем, 2017. - 104 с.
- 7 Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура. – М.: ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
- 8 Жан Б. Симулякры и симуляции / пер. с фр. А.А. Качалова. - М.: ПОСТУМ, 2015. - 240 с.
- 9 Манович Л. Язык новых медиа. – СПб.: Академический проект, 2005. – 320 с.
- 10 Харари Ю.Н. 21 урок для XXI века. – М.: Синдбад, 2018. – 432 с.
- 11 Харауэй Д. Манифест киборга: наука, технологии и социалистический феминизм в конце XX века. – М.: Институт экспериментальной социологии, 2010. – 45 с.
- 12 Негропonte Н. Быть цифровым. – М.: АСТ, 2002. – 256 с.
- 13 Levy P. L'intelligence collective: pour une anthropologie du cyberspace // Science et société. – Paris, 1994. - №27. - 252 p.
- 14 Тёркль Ш. Вторая самость: компьютеры и человеческий дух. – М: АСТ, 2011. – 400 с.
- 15 Елькина Е.Е. Цифровая культура: понятие, модели и практики. Университет ИТМО. - 2018. - С. 196-197. <https://openbooks.itmo.ru/ru/file/8471/8471.pdf> 05.03.2022.
- 16 Gere Ch. Digital Culture. – London: Reaktion Books, 2008. – 256 p.
- 17 Charles C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey; John Wiley & Sons, Inc. – 2008. - 624 p.

- 18 Charles M. Eastman. Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction. - 1st Edition. - Boca Raton: CRC Press, 1999. - P. 424.
- 19 Шумахер П. Параметризм: 6 статей Патрика Шумахера / пер. с англ. П. Белого. [https://patrikschumacher.com/Texts/Parametricism\\_Russian%20text.html](https://patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html). 20.01.2019.
- 20 Oosterhuis K. We Robots. Vision paper by Kas Oosterhuis originally written for the CCC Conference Emotive Embodiments at the TU Delft in CCC Conference in 2015. <https://www.oosterhuis.nl/we-robots/> 21.04.2022.
- 21 Oosterhuis K. Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture. – Basel: Birkhäuser, 2003. – 190 p.
- 22 Burry M. Scripting Cultures: Architectural Design and Programming. – London: Wiley, 2011. – 230 p.
- 23 Carpo M. The Alphabet and the Algorithm. – Cambridge: MIT Press, 2011. – 170 p.
- 24 Lynn Gr. Animate Form. – New York: Princeton Architectural Press, 1999. – 224 p.
- 25 Lynn Gr. The Structure of Ornament // Digital Tectonics. - Chichester, West Sussex: Wiley-Academy, 2004. – P. 62-68.
- 26 Menges A. Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. – London: Wiley, 2012. –190 p.
- 27 Mostafavi S. Materially Informed Design to Robotic Production: A Material System of Folded Concrete. – Zurich: ETH, 2016. – 150 p.
- 28 Авдоткин Л.Н. Применение вычислительной техники и моделирования в архитектурном проектировании: учебное пособие для вузов по специальности «Архитектура». – М.: Юрист, 1978. – 255 с.
- 29 Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. - М.: Радио и связь, 1992. – 256 с.
- 30 Алгоритмическое проектирование. - 2017. <http://gipgap.ru/obuchenie/povyshenie-kvalifikacii/algorithmicheskoe-proektirovanie-moskva/> 20.10.2022.
- 31 Алтунян А.О. Методы формообразования в компьютерном искусстве и проектные технологии в архитектуре. <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/2kvart12/altunian/altunian.pdf> 07.12.2022.
- 32 Аналоговый компьютер. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80). 14.08.2021.
- 33 Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // АМІТ. - 2013. - №4(25). - С. 1-19.

- 34 Бензе М. Введение в информационную эстетику // Семиотика и искусствоведение / Ред.- сост. Ю.М. Лотман. – М.: Мир, 1972. – 368 с.
- 35 Браславский П.И. Технология виртуальной реальности как феномен культуры конца XX-начала XXI веков: дис. ... канд. культурол. наук: 24.00.01 / Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького. - Екатеринбург, 2003. - 163 с.
- 36 Веснин А.А. Современность и наследие // Архитектура СССР. - 1940. - №3. - С. 37-39.
- 37 Вильковский М. Социология архитектуры. – М.: Фонд «Русский авангард», 2010. – 592 с., ил. ISBN 978-5-91566-021-1
- 38 Виртуальная архитектура. <http://www.x-4.narod.ru/asp/a5.html> 23.09.2019.
- 39 Воличенко О.В. Концепции нелинейной архитектуры //Архитектон: известия вузов. – 2013. – №4(44). [http://archvuz.ru/2013\\_4/3](http://archvuz.ru/2013_4/3) 07.09.2021.
- 40 Воронина Т.П. Информационное общество: сущность, черты, проблемы. - М.: Проспект, 2011. – 7 с.
- 41 Гаврилов А.А. Основные подходы к определению категории «Виртуальная реальность» в современном философском дискурсе // Молодой ученый. - 2012. - № 9. - С. 162-166.
- 42 Галанин Р. Как Пифагор придумал цифровую Вселенную. – 2020. <https://knife.media/pythagoras/> 05.08.2021.
- 43 Данилов Д.С. Закономерности развития и смены архитектурных стилей // АМГТ. - 2014. - №3(28). - С. 1-9.
- 44 Дедовец Р.В. Деконструктивизм в музеях современного искусства // Строительство и техногенная безопасность. - 2016. - №3 (55). - С. 9-12.
- 45 Демидова М.А., Стерликова А.И. BIM при проектировании объектов ландшафтной архитектуры // Символ науки. – 2020. - №3. - С. 105-107.
- 46 Дженкс Ч. Новая парадигма в архитектуре / пер. с англ. Александр Ложкин, Сергей Ситар. <https://elima.ru/articles/?id=163>. 05.10.2022.
- 47 Добрицына И.А. Новые проблемы архитектуры в эпоху цифровой Культуры // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 4. – С. 42-53.
- 48 Добрицына И.А. От постмодернизма - к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки: дис. ... докт. арх.: 180001 – теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. – М: НИИТАГ РААСН, 2007. – 332 с.
- 49 Емельянова О.И., Гавриленко Т. В. Виртуальная архитектура – новая модель цифрового формообразования // Проблеми архітектури і містобудування. – 2014. – Вип. 2(106). – С. 32-35.
- 50 Иванов В.Ф. Массовая коммуникация: монография. - Киев: Академия Украинской Прессы, Центр Свободной Прессы, 2013. - 902 с.
- 51 Иванова А.С. Феномен виртуальной реальности в архитектурной среде

// Архитектура и дизайн. - 2018. - № 1. - С.1-6. DOI: 10.7256/2585-7789.2018.1.27749 [https://enotabene.ru/arch/article\\_27749.html](https://enotabene.ru/arch/article_27749.html) 06.09.2021.

52 Игумнова А.С. Дигитальная архитектура. Возможности и пространственный опыт // Культура и искусство. – 2018. – № 2. – С. 66 - 73.

53 Исабаев Г.А. Консольные архитектурные конструкции современных зданий и сооружений с уникальной образностью преодоления гравитации // Вестник КазГАСА. – 2022. - №4 (86) - С. 7-18.

54 Искусственный интеллект в строительстве. <https://protim.ru/news/iskusstvennyu-intellekt-v-stroitelstve/> 15.05.2023.

55 История возникновения архитектурной графики. - 2015. <https://helpiks.org/4-115205.html> 16.09.2021.

56 История черчения. <https://kompaswork.ru/stati/12-stati/29istoriya-chercheniya.html> 07.01.2020.

57 Исходжанова Г.Р., Салимбекова С.Н. Влияние устойчивых технологий сельскохозяйственного производства на архитектуру застройки для малых поселений // Вестник КазГАСА. - 2022. - №2 (84) - С. 50-58.

58 Кавтарадзе С. Архитектура как средство коммуникации. Из чего состоят архитектурные стили. <https://arzamas.academy/courses/1093/3> 05.08.2021.

59 Кавтарадзе С. Архитектура как средство коммуникации. Очень краткая история архитектуры. - 2020. <https://arzamas.academy/materials/499?ysclid=lj132eqwxs623427834> 05.08.2021.

60 Калинина Е.Е., Каримова И.С. Психоделика и дизайн среды // 13 международный форум Новые идеи нового века. - 2013. - С. 102-107.

61 Кальницкая Е. Реальное и виртуальное восстановление памятников архитектуры // ИКОМОС. – 2010. – Т. 10. - С. 112-116.

62 Кобзева И.А. Формообразование в архитектуре и ее структурный элемент // ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». – Орел, 2015. - №20(04) <https://sci-article.ru/stat.php?i=1424021124>. 02.04.2022.

63 Колодий В.В. Визуальность как феномен современной культуры // Актуальные проблемы гуманитарных наук: сб. науч. тр. – Томск: из-во ТПУ, 2008. – С. 380–382.

64 Компьютерные технологии создают образ архитектуры будущего. Цифровая архитектура Майкла Хансмейера. <http://trendymen.ru/lifestyle/design/81967/> 02.04.2021.

65 Кондратьев Е.А. Киберархитектура: выразительные возможности и эстетические измерения // Искусствознание. – 2012. - № 3-4. – С. 192-204.

66 Корсунцев И.Г. Проблемы виртуального в философии // Виртуальные реальности и современный мир. Труды лаборатории виртуалистики. – М.: 1997. - Вып. 3. – С. 33-49.

67 Крылов Д.А. Техногенная цивилизация и культура: основные тенденции развития в современном контексте // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16946> 05.08.2021.

68 Арбель О. Архитектурные эксперименты с материалом и формой. <https://www.aedes-arc.de/cms/aedes/de/programm?id=19520170> 05.08.2022.

69 Лурье Д.А. Проблемы виртуализации современного общества и их социологическое осмысление // Философия и общество. - 2009. - № 4. - С. 164-168.

70 Лучкова В.И. Лекции по истории градостроительства доиндустриального периода: учеб. пособие для студентов архитектурных специальностей / Тихоокеанский государственный университет. - Хабаровск: ТОГУ, 2013. - Ч. 2. - 214 с.

71 Меерович М.Г., Иванова А.С. Новая парадигма в архитектуре: от прогноза Чарльза Дженкса к «Виртуальной реальности» // Архитектон: известия вузов. – 2018. - № 3 (63). - С. 1-17.

72 Мокшанцева О.А., Королева О.В., Анализ основных структурных элементов архитектурного формообразования // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства: сб. докладов IV Национальной науч.-практ. конф. – Пенза: ПГУАС - 2021. – Ч. 1. – С. 71-76.

73 Надыршин Н.М. Параметризм как стиль в архитектурном дизайне // Вестник ОГУ. – 2013. - №1 (150). - С. 53-57.

74 Носов Н.А. Виртуальная психология. – М.: Аграф, 2000. – 432 с.

75 Орзунова О.Э. Виртуальная архитектура. Оболочка будущего. [http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz30\\_pril/014/014.htm](http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz30_pril/014/014.htm). 14.03.2022.

76 Общие сведения об архитектурной графике. <https://helpiks.org/4-115205.html> 14.03.2022.

77 Поморов С.Б., Исмаил Халед Д. Альдин. Терминология нелинейной архитектуры и аспекты ее применения // Вестник ТГАСУ. – 2014. - № 3 (44). – С.78-87.

78 Репкин Д. Виртуальная реальность // Виртуальная реальность, тренажеры и киберпространство. [http://www.virtual.ru/virtual\\_reality.html](http://www.virtual.ru/virtual_reality.html) 12.03.2023.

79 Цифровые клоны и 4D ГИС, как основа цифровизации. <https://ru-bezh.ru/press-releases/33820-czifrovyie-klonyi-i-4d-gis-kak-osnova-czifrovizaczii> 14.06.2022.

80 Рочегова Н.А. Компьютерное моделирование в процессе формирования основ архитектурной композиции: начальная стадия высшего профессионального архитектурного образования: автореф. ... к. арх. н.: 05.23.20. – М.: МАРХИ, 2010. – 27с.

81 Рочегова Н.А. На волнах цифровой архитектуры. Опыт отечественной проектной мастерской // АМІТ. - 2013. - №4 (25) - С. 1-10. <https://marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/rochegova/rochegova.pdf> 24.05.2022.

82 Рочегова Н.А., Барчугова Е.В. Двойственный характер цифровой культуры. <https://archi.ru/elpub/92573/dvoistvennyi-kharakter-cifrovoi-kultury> 16.08.2022.

83 Рябова О.В., Друцкая Д.М. Архитектурное проектирование объектов использованием звуковых волн // Строительство и техногенная безопасность. - 2012. №42. - С. 5-10.

84 Савельева Л.В. Современные информационные технологии в образовательном процессе // Международная научная конференция «Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании». - Новосибирск: НГУАДИ, 2016. – С. 188-191.

85 Савельева Л.В. Феномен «Виртуальности» в архитектуре. // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Матер. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – М.: МАРХИ, 2014. – С. 202–204.

86 Самойлов К. И. Архитектура казахстана XX века (развитие формообразования): автореф. ... докт. арх. наук: 18.00.01. – М., 2004. - 53 с.

87 Нуркеев Ж. Г., Куспангалиев Б. У., Самойлов К.И.: Формирование энергоэффективного жилья в южных регионах Казахстана // Наука и образование сегодня. – 2022. – № 5 (74). – С. 77-81.

88 Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. - М.: Архитектура-С, 2005. - 312 с.

89 Сомов Г.Ю., Раппапорт А.Г. Проблемы теории архитектурной формы. – М.: Стройиздат, 1990. - С. 164-334.

90 Социалистическая компьютеризация. <https://museum.dataart.com/ru/history/glava-3-sofialisticheskaya-komp-yuterizafiya> 23.01.2023.

91 Степанов А.В., Мальгин В.И., Иванова Г.И., Кудряшев К.В., Мелодинский Д.Л., Нестеренко А.А., Орлов В.И., Сапилевская И.П. Объёмно-пространственная композиция. - М.: Архитектура-С, 2007. — 256 с.

92 Стерликова А.И. BIM при проектировании объектов ландшафтной архитектуры // Символ Науки. - 2020. - № 3. - С. 105-107.

93 Строительство и архитектура в Древнем Риме. [https://studref.com/570884/kulturologiya/stroitelstvo\\_arhitektura\\_drevnem\\_rime](https://studref.com/570884/kulturologiya/stroitelstvo_arhitektura_drevnem_rime) 02.09.2021.

94 Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. - ДМК-Пресс, 2015. - 410 с.

95 Таратута Е.Е. Философия виртуальной реальности. - СПб.: СПГУ, 2007. – 147 с.

96 Тахиров Б.Н. Понятие виртуальной реальности // Наука, образование и

культура. - 2020. - №8 (52). – С. 12-14. <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-virtualnoy-realnosti> 04.11.2023.

97 Толеп А.Е., Самойлов К.И., Балыкбаев Б.Т. Трансформация и движение в архитектуре: связь между искусством, техникой и технологиями // Наука и образование сегодня. - 2020. - №4 (51). <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-i-dvizhenie-v-arhitecture-svyaz-mezhdu-iskusstvom-tehnikoy-i-tehnologiyami> 08.12.2023.

98 Абдрасилова Г.С., Туякаева А.К., Козбагарова Н.Ж. Проблемы формирования агропромышленной архитектуры в Казахстане // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия Технические науки и технологии. – 2020. - №4 (133) - С. 92-99. <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2020-133-4-92-99>

99 Трамбовецкий В. Электронное моделирование в практике проектирования и строительства. - Строительная газета, 2006. - №11 (9866). <https://www.wikistroi.ru/wiki/informacionnye-tehnologii-v-stroitelstve/elektronnoe-modelirovanie-v-praktike-proektirovaniya-i-stroitelstva>. 04.12.2023.

100 Хуторной С. Н. Киберпространство и реальный мир. // Вестник МГОУ. «Философские науки». – 2011. - №2. - С. 67-71.

101 Черниченко Е.А. Метод преобразования природной формы в ассоциативную модель архитектурного объекта: учебно-методическое пособие по дисциплине Архитектурное проектирование для студентов I курса специальности "Архитектура". - Ростов-на-Дону: Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 2015. - 45 с.

102 Эвалльё В.Д. Интерактивность и иммерсивность в медиасреде. К проблеме разграничения понятий // Художественная культура. - 2019. - №3. - С. 248-271. <https://cyberleninka.ru/article/n/interaktivnost-i-immersivnost-v-ediasrede-k-probleme-razgranicheniya-ponyatiy> 21.10.2021.

103 Agkathidis Ast. Generative Design. – London, 2015. - 160 p.

104 Aiello C. eVolo Skyscrapers 3: Visionary Architecture and Urban Design. - eVolo Press, 2017. - 628 p.

105 Andadari Susetyo, LMF Purwanto, Prasasto Satwiko, Ridwan Sanjaya. Study of digital architecture technology: theory and development // Journal of Architectural Research and Education. - 2021. - Vol 3, №1. - P. 14-21.

106 Angulo A. On the design of architectural spatial experiences using immersive simulation. In Morello, Eugenio & Piga, Barbara (Eds) // Envisioning Architecture: Design, Evaluation, Communication: proceedings of the 11th conference of the European Architectural Envisioning Association. EA EA 11 2013. – Milano: Politecnico di Milano, 2013. - P. 151-158.

107 3D печать Apris Cor. <https://www.apis-cor.com/> 01.08.2021.

- 108 Chaillou S. *Artificial Intelligence & Architecture*. – Birkhäuser, 2020. - 208 p.
- 109 Ascott R. *The Architecture of Cyberception. //Architects in Cyberspace / R Ascott; ed. M. Toy*. - London: Academy Editions, 1995. - P. 38-41.
- 110 Augmented (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) market size worldwide from 2021 to 2024. <https://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/> 10.09.2021.
- 111 Baitenov E. *Modern Challenges and the Outline of the Future of Architecture // Advances in Social Science, Education and Humanities Research: proceedings of the 2nd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations*. - 2020. - Vol. 471.- P. 6-11.
- 112 Bhooshan S., Van Mele T. and Block P. *Morph & Slerp: Shape design for 3D printing of concrete // ACM Symposium on Computational Fabrication (SCF)*. – Cambridge, 2020. - №1 - P. 81-87. <https://doi.org/10.1145/3424630.3425413>
- 113 Carlos L. Marcos. *Complexity, Digital Consciousness and Open Form: A New Design Paradigm / Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante: Spain. ACADIA2010 life in:formation*. – 2010. - №412 - P. 81-87.
- 114 Chaillou S. *AI + Architecture. Towards a new approach / Harvard GSD*. - 2019. <http://stanislaschaillou.com/articles.html>.
- 115 Daedalus pavilion. <https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture#> 05.04.2021.
- 116 Daniela B. *Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality*. - John Wiley & Sons, 1997. - 368 p.
- 117 Duffy Alex H.B., David C. Brown, Mary Lou Maher. *Special Issue: Machine learning in design // Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 1996. – №10 (2). - P.81-82.
- 118 Efanova T.A. *Problems of interaction of digital technologies and modern architecture // Actual problems of regional sociology*. – 2019. – P. 156-160.
- 119 Engelbart D. *Augmenting human intellect: a conceptual framework*. – California: Menlo park, 1962. - 144 p.
- 120 Есаулов Г.В. *Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // ACADEMIA. Архитектура и строительство*. - 2018. - №(4). - С. 12–18.
- 121 Feist S.T. *A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling. Técnico Lisboa*. - 2016. – 77 p.
- 122 Garcia M. *The Diagrams of Architecture*. - John Wiley & Sons LTD, 2010. – 95 p.
- 123 Gero J.S. *Computational models of creative design processes // AI and Creativity/ - Kluwer, Dordrecht, 1994*. - P.269-281.
- 124 Hansmeyer M. *Digital Grotesque: Computation in Architecture*. – Zurich:

ETH, 2015. – 95 p.

125 Hauwa O.Y. The Impact of Digital-Computational Design on The Architectural Design Process / University of Salford School of the Built Environment. - 2012. - 57 p.

126 Iwamoto Li. Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques (Architecture Briefs). - New York: Princeton Architectural Press, 2009 - 144 p.

127 Jon Arteta Grisalena. Digital design strategies ways to think, conceive and implement the digital in architectural design // Adapted abstract of PhD Thesis: «The Paradigm of Complexity in Architectural and Urban Design» / University of Alcalá. - 2017. – Ch. 3. - 19 p.

128 Kaiyang W., Fangyu G., Cheng Zh., Jianli H. Dirk Sc. Digital Technology in Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry: Research Trends and Practical Status toward Construction 4.0 // Construction Research Congress. – 2022. - P. 983-991.

129 Knish V.I. Catharsis or pencils for the dynamic architecture // Journal of ACC. - 2004. - №1. – P. 167-174.

130 Kolarevic B., Malkawi A.M. Performative Architecture: Beyond Instrumentality. - New York, London: Spon Press, 2005. -195 p.

131 Kostas Terzidis. Algorithmic Architecture. - Oxford: Architectural Press is an imprint of Elsevier, 2006. - 159 p.

132 Krawczyk R.J. Experiments in Architectural Form Generation Using Cellular Automata /Illinois Institute of Technology, College of Architecture, 2002. – P. 1-3.

133 Lee J. Digital-Green architecture: a new design process that integrates digital technology and sustainable concepts // Transactions on Ecology and the Environment / Department of Architecture, National Chiao-Tung University. - Taiwan. Eco-Architecture III. - 2010. - Vol 128. – P. 173-184.

134 Malakhov S.A. Manual and digital - two methods of shaping in architecture and design: comparison of priorities and priorities // Architecture and design in the digital wall. – 2021. - P.188-195.

135 Maver Tom, and Alvarado, Rodrigo G. Virtual Reality in Architectural Education: defining possibilities // ACADIA Quarterly. - 1999. - Vol.18, №4. - P. 7-9.

136 Mikhailov S.M., Evstratova T.A. Digital metamorphosis. New forms of artistic synthesis in the design of a modern city // Architecture and design in the digital age: International scientific and practical conference. – M.: MGHPA named after S.G. Stroganov, Moscow Architectural Institute, Russian Academy of Arts, 2021. – P. 69-75.

137 Mokeeva O.D. 3D printing of architectural models and equipping them with engineering printers during the printing process // Young scientist. - 2016. - № 7 (111). – P.128-131. <https://moluch.ru/archive/111/27719/> 09.04.2022.

- 138 Morel P. Computational Architecture. – London: Architectural Design, 2008. –135 p. <https://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I> 09.06.2021.
- 139 Morel P. The Origins of Discretism: Thinking Unthinkable Architecture. Architectural Design. – 2019. - №89(2). - P. 14-21. DOI:10.1002/ad.2407
- 140 Moussavi F., Kubo M. The Function of Ornament. Harvard University, 2006. - 190 p.
- 141 Nabiyeu A., Baitenov E., Pomorov S. Interaction of Architecture with the Culture of Digital Civilization // Civil Engineering and Architecture. - 2022. - №10(7). - P. 3198-3205. DOI:10.13189/cea.2022.100731
- 142 Neil Leach. Architectural Design. – 2022. – Vol. 79, № 4. - P. 60.
- 143 Milgram P., Takemura H., Utsumi A., Kishino F. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum // Telemanipulator and Telepresence technologies. - 2005. - Vol. 23. – P. 282-292.
- 144 Raina A., McComb, C., and Cagan, J. Learning to Design from Humans: Imitating Human Designers Through Deep Learning // ASME. J. Mech. Des. - 2019. - P. 1-11.
- 145 Ramilo Ru., Rashid Moh. Computationally mediated architecture: genesis of form making for complex shape structures / Department of Architecture, Faculty of Built Environment, University of Technology Malaysia. - P. 1-19.
- 146 Revizto.com <https://revizto.com/ru/>. 15.03.2020.
- 147 Roussou M. Incorporating Immersive Projection-based Virtual Reality in Public Spaces // Proceedings of 3rd International Immerse Projection Technology Workshop. - Stuttgart, 1999. – P.33-39.
- 148 Roussou M. Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum // Foundation of the Hellenic World. - Athens, 2001. - P. 1-8.
- 149 Smart architecture laboratory. Research <https://salab.org/news/2017/12/4/-research> 01.08.2021.
- 150 Steampunk. <https://karamba3d.com/projects/steampunk/> 07.01.2023.
- 151 Stsesel Siarhei the problem of introducing parametrisation into architectural design // Architecture and construction of Russia. - 2015. - P. 32-39.
- 152 Uhrík M., Špaček R. The experiment as a programme: new schemes in architectural education // Slovakia. World Transactions on Engineering and Technology Education. - 2015. - Vol.13, №.3. - P. 231-237.
- 153 Werner Liss C. Cybernetics: state of the art. // CYBERNETIFICATION I: Cybernetics Feedback Netgraft in Architecture. - Berlin: 2017. - Vol. 1. - P. 58–60.
- 154 Виды чертежей. <https://mylektsii.ru/11-76727.html> 24.06.2022.
- 155 Набиев А.С., Поморов С.Б. Ретроспектива и противоречия создания архитектурных проектов в контексте цифровизации // Вестник КазГАСА. - 2021. - №4 (82). – С. 63-73.

- 156 Вольтинский В.Э. Информационно-технологические методы проектирования в архитектурном формообразовании: автореф. ... канд. арх.: 05.23.20. - М.: МАРХИ, 2012. - 25 с.
- 157 Новикова А.Н. Сетевая форма организации архитектурного проектирования: автореф. ... канд. арх.: 05.23.20. - Нижний Новгород: Капринт, 2015. - 28 с.
- 158 Лапшина Е.Г. Новый город: архитектурный образ, пространственный символ и миф // Архитектон: известия вузов. – 2015. – №4(52). – С. 75-83. [http://archvuz.ru/2015\\_4/7](http://archvuz.ru/2015_4/7)
- 159 Салех М.С. Методы архитектурного формообразования на основе генеративного моделирования: дис. ... канд. арх.: 2.1.11. - М.: НИУ МГСУ, 2023. - 144 с.
- 160 Асанович А. Компьютерные средства и эволюция методологии архитектурного проектирования: автореф. ... докт. арх.: 18.00.01 - М.: МАРХИ, 2006. - 52 с.
- 161 Абдрасилова Г.С. Устойчивость архитектуры в условиях пустынных районов: современные тенденции // Вестник КазГАСА. – 2023. – №3 (89). – С. 6-21.
- 162 Байтенов Э.М. Вызовы современности и контуры архитектуры будущего // Вестник КазГАСА. – 2023. – № 2 (88). – С. 17-26.
- 163 Поморов С.Б., Прохоров С.А., Шадулин А.В. Дизайн: от наброска до компьютерных технологий. Компьютерная техника в дисциплине «Живопись» // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 3 (22). – С. 86-88.
- 164 Мамедов С. Э. Экологический аспект в архитектуре жилого комплекса «Лидон Сингапур» // Вестник КазГАСА. – 2021. – № 4 (82). – С. 57-62.
- 165 Иванова О. Древние люди могли использовать огонь для изготовления каменных орудий гораздо раньше, чем считалось. <https://naked-science.ru/article/history/drevnie-lyudi-mogli-ispolzovat-ogon-dlya-izgotovleniya-kamennyh-orudij-gorazdo-ranshe-chem-schitalos> 10.12.2023.
- 166 Лучкова В.И. Краткая история градостроительства доиндустриального мира. - М.: Макс Пресс, 2007. – 354 с.
- 167 Malkin. Орудия труда в эпоху раннего палеолита. <https://secrethistory.su/862-orudiya-truda-v-epohu-rannego-paleolita.html> 05.11.2019.
- 168 Картины рассказывают. Прогулка по Риму с Антуаном Кароном. <https://dzen.ru/a/Y2fV0V4nCz1Slceq> 10.10.2022.
- 169 Сооружения Древней Греции 2-й четверти V в. до н.э. вне Афин. [https://antique.totalarch.com/gha\\_grece/3/5](https://antique.totalarch.com/gha_grece/3/5) 10.03.2021.
- 170 Древний Рим. [https://bookunitsteacher.com/ancient\\_rome/children.htm](https://bookunitsteacher.com/ancient_rome/children.htm) 23.04.2019.

- 171 Лапин А. "РА" Глава 7. Пирамиды Древнего Египта - вопросы без ответов. <https://old.lah.ru/text/lapin/g1-7.htm> 12.08.2019.
- 172 Alamy Stock Photo. История древних народов. <https://www.alamy.com/the-story-of-the-ancient-nations-a> 23.04.2019.
- 173 Воскресенский Новодевичий Смольный монастырь. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8B%D1%80%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8B%D1%80%D1%8C) 01.11.2019.
- 174 Замок Шамбор. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BA\\_%D0%A8%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BA_%D0%A8%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D1%80) 18.03.2020.
- 175 Собор Святого Петра, Ватикан. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80\\_%D0%A1%D0%B2%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%BE\\_%D0%9F%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80_%D0%A1%D0%B2%D1%8F%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%9F%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0) 07.08.2021.
- 176 Собор Санта-Мария-дель-Фьоре. <https://run4trip.ru/europe/katedralnyj-sobor-santa-mariya-del-fore-florenciya.html> 12.02.2021.
- 177 Собор Парижской Богоматери, Notre-Dame de Paris. <https://wantsee.world/notre-dame-de-paris-france/> 28.02.2021.
- 178 Архитектура. Собор Благословенной Девы Марии в Линкольне. <https://ortolog.livejournal.com/33735.html> 23.04.2019.
- 179 Архитектор в Средневековье. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80> 12.02.2019.
- 180 Институт арабского мира. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82\\_%D0%B0%D1%80%D%B8%D1%80%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%82%D1%83%D1%82_%D0%B0%D1%80%D%B8%D1%80%D0%B0) 17.02.2020.
- 181 Эмпайр-стейт-билдинг. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%B9%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%B9%D1%82-%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B3> 18.08.2020.
- 182 Крайслер-билдинг. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B3> 18.08.2020).
- 183 Сигрем-билдинг. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B3%D1%80%D1%8D%D0%BC%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B3> 18.08.2020.
- 184 Олимпийский центр в Токио. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%\\_%D0%A2%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D0%BE](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%_%D0%A2%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D0%BE) 17.02.2020.

185 Музей Соломона Гуггенхейма, 1937 г. Вилла Савой, 1929-1931. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%B7%D0%B5%D0%B9\\_%D0%D0%BC%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%B7%D0%B5%D0%B9_%D0%D0%BC%D0%B0) 05.04.2019.

186 Эйфелева башня. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B9%D1%84%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B0\\_%D0%B1%D0%B0%D1%88%D0%BD%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B9%D1%84%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%B1%D0%B0%D1%88%D0%BD%D1%8F) 18.08.2020.

187 Флэтайрон-билдинг. <https://ortolog.livejournal.com/33735.html> 18.08.2020.

188 Хрустальный дворец. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D1%80%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%86](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D1%80%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%86) 18.08.2020.

189 АД. Пост почитания Антонио Гауди. <https://www.admagazine.ru/architecture/post-pochitaniya-antonio-gaudi> 18.08.2020.

190 Архитектор XIX века за кульманом. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80> 26.04.2020.

191 Работа архитектора XXI века. Французская карточка 1910 года. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80> 18.08.2020.

192 Производственный процесс «1951 Paul Damm F89 Meisterklasse factory». <https://www.flickr.com> 26.04.2020.

193 Центр Гейдара Алиева. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80\\_%D0%93%D0%B5%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B0\\_%D0%90%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80_%D0%93%D0%B5%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B0_%D0%90%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0) 26.04.2020.

194 Музей Гуггенхейма в Бильбао. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%B7%D0%B5%D0%B9\\_%D0%93%D1%83%D0%B3%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BC%D0%B0\\_%D0%B2\\_%D0%91%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D0%BE](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%B7%D0%B5%D0%B9_%D0%93%D1%83%D0%B3%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D1%85%D0%B0%D0%B9%D0%BC%D0%B0_%D0%B2_%D0%91%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B0%D0%BE) 05.04.2019.

195 Сиднейский оперный театр. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%B0%D1%82%D1%80> 28.09.2020.

196 Хан- Шатыр. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%BD\\_%D0%A8%D0%B0%D1%82%D1%8B%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B0%D0%BD_%D0%A8%D0%B0%D1%82%D1%8B%D1%80) 28.09.2020.

197 Город искусств и наук, 1998. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4\\_%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2\\_%D0%B8\\_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4_%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2_%D0%B8_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA) 13.02.2021.

198 Национальный центр искусства и культуры Жоржа Помпиду. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80\\_%D0%9F%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%B4%D1%83](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80_%D0%9F%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%B4%D1%83) 28.09.2020.

199 Ivan Sutherland, демонстрация Sketchpad, 1963 – MIT Lincoln Labs. <https://www.slideshare.net/> 28.09.2020.

200 Calma Dimension III – Рич Тейт, инженер по прикладным программам Calma Cad. <https://www.shapr3d.com/history-of-cad/calma> 13.02.2021.

201 Программа AutoCAD, 1990. <https://logolook.net/autocad-logo> 05.04.2019.

202 Архикад. <https://graphisoft.com/ru/solutions/archicad> 28.09.2020.

203 Metro Station KAFD, 2012- 2021. [https://en.wikipedia.org/wiki/King\\_Abdullah\\_Financial\\_District](https://en.wikipedia.org/wiki/King_Abdullah_Financial_District) 26.04.2020.

204 Дворец гимнастики Ирины Винер- Усмановой. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%86\\_%D0%B3%D0%B8\\_%D0%92%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%86_%D0%B3%D0%B8_%D0%92%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80) 28.09.2020.

205 Стадион спортивного парка Ханчжоу, Китай. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9> 13.02.2021.

206 Apple Park, 2013-2017. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Apple\\_Park](https://ru.wikipedia.org/wiki/Apple_Park) 18.08.2020.

207 Решения для совместимости BIM. <https://www.srinsofttech.com/engineering-services.html> 26.04.2020.

208 Настоящее и будущее BIM. <https://sapr-soft.ru/stati/nastoyashchee-i-budushchee-bim> 13.02.2021.

209 Квадрат Пифагора. <https://dzen.ru/a/XHtkjYtmKQCzupW8> 13.02.2021.

210 Кодинг. <https://www.alamy.com/coding-concept-illustration> 29.01.2020.

211 Теорема Пифагора. <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Pythagorean.svg> 21.08.2019.

212 Постулаты Евклида. [https://ru.wikipedia.org/wiki\\_postulates.png](https://ru.wikipedia.org/wiki_postulates.png) 23.01.2019.

213 Средство просмотра и редактор САПР. <https://apps.microsoft.com/detail/cad-viewer%26editor/9NGVPPGRWCLF?hl=en-us&gl=AD> 16.12.2021.

214 Ай- Джи- Эй Технологии. САТИА. <https://igatec.com/oftwareprodukty-dassault-systemes/catia/> 30.03.2022.

215 Поколения компьютеров - история развития вычислительной техники. <https://infl.info/computergeneration> 24.02.2022.

216 Вести образования. Во всех техникумах России к 2030 году будут обучать с использованием VR-технологий. [https://www.vogazeta.ru/articles/2023/9/19/quality\\_of\\_education/23768-vo\\_vseh\\_tehnikumah\\_rossii\\_k\\_2030\\_godu\\_budut\\_obuchat\\_s\\_ispolzovaniem\\_vr\\_tehnologiy](https://www.vogazeta.ru/articles/2023/9/19/quality_of_education/23768-vo_vseh_tehnikumah_rossii_k_2030_godu_budut_obuchat_s_ispolzovaniem_vr_tehnologiy) 20.09.2023.

- 217 Rhinoceros 3D. <https://www.rhino3d.com/> 18.08.2020.
- 218 AutoCAD. <https://help.autodesk.com/view/ACD/2023/RUS/?guid=GUID-B4A46563-E5CA-4A34-918C-78ADEA2FEEB4> 18.11.2020.
- 219 Graphisoft Archicad. <https://graphisoft.com/ru/solutions/archicad> 14.05.2020.
- 220 Облачные вычисления Компьютерные иконки Интернет. <https://www.klipartz.com/ru/sticker-png-awioiv> 30.03.2022.
- 221 Провайдер beeline cloud представил систему Cloud MDM для управления различными устройствами. <https://servernews.ru/tags/beeline%20cloud> 30.03.2022.
- 222 Практика перед тестом. <https://www.etsglobal.org/cz/en/preparation-tool/the-toefl-junior-english-learning-center---12-months-licence> 14.05.2020.
- 223 Иконка. [https://www.flaticon.com/ru/freecon/economy\\_5231730](https://www.flaticon.com/ru/freecon/economy_5231730) 18.08.2020.
- 224 Умный дом. Советы по ремонту. <https://sam-sebe-dizainer.com/remont/umnii-dom> 18.07.2019.
- 225 Data Analysis and Statistics Thin Line Flat Style Vector Icons Set. <https://www.shutterstock.com/ru/image-vector/data-analysis-statistics-thin-line-flat-322857230> 18.07.2019.
- 226 Туровец Ю.В., Вишневский К.О. Стандартизация цифрового производства: возможности для России и ЕАЭС // Бизнес-информатика. - 2019. - Т.13. - № 3. - С. 78–96. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.3.78.96
- 227 Human-computer interaction Computer Science Technology, Computer, blue, text png. <https://www.pngegg.com/en/png-yfqhv> 15.07.2022.
- 228 Технологические инновации. [https://ru.freepik.com/free-vector/tiny-people-using-technological-innovations-digital-device-technological-revolution-modern-scientific-innovations-technological-progress-concept-bright-vibrant-violet-isolated-illustration\\_10782930.htm](https://ru.freepik.com/free-vector/tiny-people-using-technological-innovations-digital-device-technological-revolution-modern-scientific-innovations-technological-progress-concept-bright-vibrant-violet-isolated-illustration_10782930.htm) 22.08.2023.
- 229 CAD – Аббревиатура. <https://www.istockphoto.com/ru/%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F/cad%D0%B0%D0%B1%D0%B1%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%BE%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%B%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F-gm1336623031-417818528> 15.07.2022.
- 230 BIM. <https://www.c-o-k.ru/articles/kaksokratit-deficit-Kvalificirovannyh-kadrov-na-stroyke> 29.08.2023.

- 231 novate. Экологически устойчивый дом, напечатанный на 3D-принтере из глины, воды, волокон рисовой шелухи. <https://novate.ru/blogs/220521/59002/30.07.2022>.
- 232 Параметризм. [https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism\\_Russian%20text.html](https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html) 10.08.2023.
- 233 Анализы. <https://pin.it/1dZYWET> 12.07.2022.
- 234 Перспективные технологии в строительстве. <https://gazobeton.org/ru/node/371> 05.04.2019.
- 235 VR в дизайне и архитектуре. <https://dzen.ru/a/XxRL1EmbRzv03ixA> 20.08.2023.
- 236 Big Data. [https://consurv.com.kz/?page\\_id=365](https://consurv.com.kz/?page_id=365) 18.07.2022.
- 237 Зеленый город. <https://www.shutterstock.com/ru/image-vector/green-city-flat-design-eco-illustration-639701851> 25.08.2023.
- 238 Логотипы программы. <https://simbim.es/en/blog/post/learn-about-algorithmic-design-with-grasshopper-and-archicad-in-virtual-room> 15.07.2023.
- 239 Anastasiia Potapenko. Алгоритмическое проектирование в проектной деятельности. Параметрика: Rnino+Grasshopper. <https://youtu.be/u89x3Sy-IPs?si=Usxdzy8ERJaiD5gT> 28.07.2022.
- 240 Параметризм: 6 статей Патрика Шумахера в переводе на русский язык Павла Белого: – детали моделирования. [https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism\\_Russian%20text.html](https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html) 20.08.2023.
- 241 Зачем использовать grasshopper. Часть 2. <https://softculture.cc/blog/entries/articles/zachem-ispolzovat-grasshopper-proektirovanie> 10.07.2022.
- 242 Преодоление сложностей и изменений в архитектуре с помощью технологий, управляемых данными. [https://www.archdaily.com/1001585/navigating-complexity-and-change-in-architecture-with-data-driven-technologies?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/1001585/navigating-complexity-and-change-in-architecture-with-data-driven-technologies?ad_medium=gallery) 23.08.2023).
- 243 3D печать укрепляется в космической промышленности. <https://3dmag.org/ru/blog/3d-printing/362.html> 16.07.2022.
- 244 The phenomenon of digital architecture: problems and prospects // Innovaciencia. – 2022. - №10(1). - P.1-14. DOI:10.15649/2346075X.2967 21.07.2023.
- 245 Sci-Fi City WIP. <https://giimann.artstation.com/projects/baR00o> 21.07.2023.
- 246 Анализ среды в Grasshopper: а) теневой анализ, б) анализ видимого пространства. <https://softculture.cc/courses/architects/grasshopper-marathon> 30.08.2023.
- 247 Крашенинников А.В., Новикова А.Н. Сетевое проектирование в архитектурной практике // АМІТ. - 2015. - №S. <https://cyberleninka.ru/article/n/setevoe-proektirovanie-v-arhitekturnoy-praktike> 12.07.2023.

- 248 Музей Гуггенхайма в Бильбао. "Guggenheim Museum Bilbao" Frank Gehry. <https://archi.ru> 12.07.2023.
- 249 Beijing National Stadium (Bird's Nest) Herzog & de Meuron. Пекин, Китай. *Arquitectura Viva* <https://www.herzogdemeuron.com/projects/226-national-stadium/> 25.07.2022.
- 250 «The Edge» PLP Architecture. Амстердам, Нидерланды. <https://archi.ru> 17.08.2023.
- 251 «Chicago Aqua Tower» Studio Gang Architects, Loewenberg + Associates. Чикаго, США. [livejournal.com](http://livejournal.com) 30.08.2023.
- 252 «The Digital Grotesque Project» <https://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I> 10.07.2022.
- 253 «The One Airport Square» Mario Cucinella Architects. Аккра, Гана. <https://archi.ru> 29.07.2023.
- 254 «The Institute of Arab World» Jean Nouvel. Париж, Франция. <https://archello.com> 18.07.2022.
- 255 «The J Mayer H's Metropol Parasol» J. Mayer H. Севилья, Испания. <https://dezeen.com> 23.07.2022.
- 256 Bjarke Ingels' Via 57 West. Bjarke Ingels Group (BIG). Нью-Йорк, США. <https://re-thinkingthefuture.com> 30.08.2023.
- 257 Dancing House («Fred and Ginger») Фрэнк Гери и Владо Милунич. Прага, Чехия. <https://colodu.club> 10.07.2022.
- 258 «Sagrada Familia» Антонио Гауди. Барселона, Испания. <https://espanarusa.com> 12.08.2023.
- 259 «The High Line» Diller Scofidio + Renfro. Нью-Йорк, США. <https://mirkrasiv.ru> 15.08.2023.
- 260 «CityLife Milano Residential Complex» Zaha Hadid. Милан, Италия. <https://archdaily.com> 20.07.2022.
- 261 «Burj Khalifa» Skidmore, Owings & Merrill. Дубай, ОАЭ. <https://skstruktura.ru> 25.08.2023.
- 262 «Louvre Abu Dhabi» Жан Нувель. Абу-Даби, ОАЭ. <https://prostranstvo.media> 17.07.2023.
- 263 «Linked Hybrid» Steven Holl Architects. Пекин, Китай. <https://robertacucchiaro.wordpress.com> 24.08.2023.
- 264 «Guangzhou Opera House» Zaha Hadid. Гуанчжоу, Китай. <https://hi-macs.ru> 19.07.2023.
- 265 «Galaxy Soho» Zaha Hadid. Пекин, Китай. <https://mostmag.ru> 21.07.2022.
- 266 «Absolute Towers» MAD Architects. Миссиссога, Канада. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Absolute\\_World](https://ru.wikipedia.org/wiki/Absolute_World) 13.08.2023.

- 267 «Learning Hub» Thomas Heatherwick. Сингапур, Наньянский технологический университет. <https://archi.ru> 22.08.2022.
- 268 «The Interlace» OMA / Ole Scheeren. Сингапур. <https://archEstudy.com> 21.07.2023.
- 269 «The Porsche Design Tower» Porsche Design & Dezer Development. Майами, США. <https://archdaily.com.br> 13.08.2022.
- 270 «BMW Welt» Coop Himmelb(l)au. Мюнхен, Германия. <https://myDecor.com> 24.07.2022.
- 271 The Diller Scofidio + Renfro Broad Museum. Diller Scofidio + Renfro. Лос-Анджелес, США. <https://archdaily.com> 29.08.2023.
- 272 The Walt Disney Concert Hall. Фрэнк Гери. Лос-Анджелес, США. <https://www.istockphoto.com/ru/%D1%84%D0%> 17.07.2022.
- 273 The Shard. Ренцо Пиано. Лондон, Великобритания. [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Shard](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Shard) 15.08.2023.
- 274 The CCTV Headquarters. OMA. Пекин, Китай. <https://alchetron.com> 30.07.2023.
- 275 The Rolex Learning Center. SANAA. Лозанна, Швейцария. <https://www.archdaily.com/53536/rolex-learning-center-sanaa-by-iwan-baan> 22.08.2022.
- 276 Tencent Seafront Towers. NBBJ. Шэньчжэнь, Китай. <https://archidust.com> 19.07.2022.
- 277 Harpa Concert Hall and Conference Centre. Henning Larsen Architects и Olafur Eliasson. Рейкьявик, Исландия. <https://lifeglobe.net> 26.07.2023.
- 278 One Central Park. Ateliers Jean Nouvel. Сидней, Австралия. <https://archdaily.com> 18.07.2023.
- 279 The London Aquatics Centre. Zaha Hadid. Лондон, Великобритания. <https://zaha-hadid.com> 16.08.2022.
- 280 The Gherkin (30 St Mary Axe). Foster + Partners. Лондон, Великобритания. <https://factum-info.net> 20.08.2023.
- 281 The Singapore University of Technology and Design. UNStudio и DP Architects. Сингапур. <https://UNStudio.com> 23.08.2023.
- 282 Jockey Club Innovation Tower. Zaha Hadid Architects. Гонконг, Китай. [https://en.wikipedia.org/wiki/Jockey\\_Club\\_Innovation\\_Tower](https://en.wikipedia.org/wiki/Jockey_Club_Innovation_Tower) 30.08.2022.
- 283 The Heydar Aliyev Centre. Zaha Hadid Architects. Баку, Азербайджан. <https://archello.com> 14.07.2022.
- 284 Gardens by the Bay. Grant Associates и Wilkinson Eyre Architects. Сингапур. <https://holidayfy.com> 27.07.2023.
- 285 Villa NM. UNStudio. Верхний New York, USA. <https://UNStudio.com> 25.08.2022.

286 Софткультура по архитектуре. <https://eneca.uz/uslugi/bim/bim-proektirovanie-v-eneka> 21.02.2023.

287 Нургожа Т.Д. Эксперименты с формообразованием на основе здания культурного центра Гейдара Алиева от Zaha Hadid в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_07.jpg](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_07.jpg) 21.08.2023.

288 Келес М.С. Эксперименты с формообразованием на основе здания Штаб-квартиры Венгерского автоклуба в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_06.jpg](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_06.jpg) 20.08.2023.

289 Казбекова С.Б. Эксперименты с формообразованием в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_09.jpg](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_09.jpg) 22.11.2023.

290 Нургожа Т.Д. Эксперименты с формообразованием на основе здания храма Лотоса в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_11.jpg](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%98%D1%82%D0%BE%D0%B31_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_11.jpg) 17.12.2023.

291 Амангалиев А. Эксперименты с формообразованием на основе здания отеля Burj Al Arab в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/1\\_.png?weblink=nup7%2FGc5qThCsY](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/1_.png?weblink=nup7%2FGc5qThCsY) 20.12.2023.

292 Нурлан Н. Эксперименты с формообразованием в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/10\\_%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%BE%D0%BC%20%D0%BF%D0%BF\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_2.jpg?weblink=mMBo%2FSxu2r4xzg](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/10_%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%BE%D0%BC%20%D0%BF%D0%BF_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_2.jpg?weblink=mMBo%2FSxu2r4xzg) 17.12.2023.

293 Турабеков Д. Эксперименты с формообразованием в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/6\\_%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%82%D0%B8\\_compressed\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_2.jpg?weblink=i2aW%2Fhy6yMHyEj](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/6_%D0%B1%D0%B8%D1%82%D1%82%D0%B8_compressed_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_2.jpg?weblink=i2aW%2Fhy6yMHyEj) 18.11.2023.

294 Жолдасбекова Е.С. Эксперименты с формообразованием на основе здания Хан Шатыр в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/3\\_%D0%96%D0%BE%D0%BB%D0%B4%D0%B0%D1%81%D0%B1%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%95%2020-11.jpg?weblink=pY7B%2FieD824YGk](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/3_%D0%96%D0%BE%D0%BB%D0%B4%D0%B0%D1%81%D0%B1%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%95%2020-11.jpg?weblink=pY7B%2FieD824YGk) 20.11.2023.

295 Батырханова У. Эксперименты с формообразованием на основе здания Шератон в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/2\\_%D0%91%D0%B0%D1%82%D1%8B%D1%80%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%A3%D0%BB%D0%B6%D0%B0%D0%BD%20%D0%9F%D0%9F%20%D0%A0%D0%9A\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_1.jpg?weblink=TaDH%2FczYJXX9CD](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/2_%D0%91%D0%B0%D1%82%D1%8B%D1%80%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%A3%D0%BB%D0%B6%D0%B0%D0%BD%20%D0%9F%D0%9F%20%D0%A0%D0%9A_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_1.jpg?weblink=TaDH%2FczYJXX9CD) 09.10.2023.

296 Канатова Н. Эксперименты с формообразованием на основе здания Шератон в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/9\\_%D0%9F%D0%9F2%20%20%D0%A4%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%90\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_1.jpg?weblink=zECM%2FRan1r5QrZ](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/9_%D0%9F%D0%9F2%20%20%D0%A4%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%90_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_1.jpg?weblink=zECM%2FRan1r5QrZ) 13.11.2023.

297 Жары С.Б. Эксперименты с формообразованием на основе здания ЭКСПО- 2017 в программе Ревит. [https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%96%D0%B0%D1%80%D1%8B%20%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%80%D0%B0%20%D0%90%D1%80%D1%85%20191\\_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0\\_2.jpg?weblink=5ciW%2FduVAMk1Rq](https://cloud.mail.ru/home/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%96%D0%B0%D1%80%D1%8B%20%D0%A1%D0%B0%D0%B9%D1%80%D0%B0%20%D0%90%D1%80%D1%85%20191_%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_2.jpg?weblink=5ciW%2FduVAMk1Rq) 13.11.2023.

298 В каком формате вы хотите, чтобы ваша 3D-модель была. <https://www.shubbak3d.com/3d-format-converting/> 13.08.2023.

299 Pngtree. 3d визуализация геометрических фигур пастельных тонов в макете. [https://ru.pngtree.com/freebackground/3d-render-of-pastel-colored-geometrical-figures-in-mockup\\_5808684.html](https://ru.pngtree.com/freebackground/3d-render-of-pastel-colored-geometrical-figures-in-mockup_5808684.html) 15.09.2023.

300 Adobe Stock. Dinophyceae. [https://stock.adobe.com/search?k=dinophyceae&asset\\_id=547573275](https://stock.adobe.com/search?k=dinophyceae&asset_id=547573275) 07.10.2023.

301 Anywell. Здоровье. Обязательно ли делать КТ и рентген. <https://anywellmag.com/10-ne-stydneyh-voprosov-o-pnevmonii-146440/> 07.10.2023.

302 Web Urbanist. Солнечное настроение: небоскреб, управляемый компьютером, не отбрасывает тени. <https://weburbanist.com/2015/03/16/sunny-disposition-computer-aided-skyscraper-casts-no-shadow/> 07.10.2023.

- 303 Venturelli G. [https://it.linkedin.com/in/giuliano-venturelli108b6268?trk=public\\_post\\_reshare\\_feed-actor-name](https://it.linkedin.com/in/giuliano-venturelli108b6268?trk=public_post_reshare_feed-actor-name) 07.10.2023.
- 304 Xp-pen. BIM и CAD: в чем разница. <https://www.xp-pen.de/forum-1580.html> 17.06.2023.
- 305 Простой рабочий процесс BIM. <https://www.edublancast.com/bim-management/communication/the-bim-system-blog/bim-simple-workflow/> 27.07.2023.
- 306 Схема проектирования BIM. [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=19841](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19841) 15.01.2023.
- 307 Кутузов В.В., Диваков В.В. BIM технологии в проектировании объектов. <https://ppt-online.org/940488> 10.11.2022.
- 308 BIM- технологии в строительстве 2023. <https://www.planradar.com/ru/bim-tekhnologii-v-stroitelstve/> 21.02.2023.
- 309 Информационная безопасность в строительстве. [https://www.youtube.com/watch?v=tk6\\_iS0pq3g](https://www.youtube.com/watch?v=tk6_iS0pq3g) 30.08.2023.
- 310 Рашев В.С., Астафьева Н.С., Рогожкин Л.С., Григорьев В.Ю. Анализ внедрения технологии информационного моделирования в Российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем // Вестник Евразийской науки. – 2020. -Т.12. - №3. <https://esj.today/PDF/49SAVN320.pdf> 18.03.2023.
- 311 Обзор BIM-стандарта. Инфраструктура v.2.0. Мнение эксперта. <https://infars.ru/blog/obzor-bim-standarta-infrastruktura-v-2-0-mnenie-jeksperta/> 17.02.2022.
- 312 Технологии будущего — это VR AR MR и 360. <https://hdr360.ru/vr> 15.01.2023.
- 313 ЮНЕСКО проведёт дискуссию по вопросам этики новых технологий и искусственного интеллекта на тему «Будущее технологий: надежда или страх?» <https://www.unesco.org/ru/articles/yunesko-provedyot-diskussiyu-po-voprosam-etiki-novykh-tekhnologiy-i-iskusstvennogo-intellekta-na> 15.01.2023.
- 314 Дополненная реальность в бизнесе: области применения AR-технологий. <https://mentamore.com/virtualnaya-realnost/augmented-reality-in-business.html> 15.01.2023.
- 315 Дополненная реальность в городе. <https://fons.pibig.info/13038-dopolnennaja-realnost-v-gorode.html> 15.01.2023.
- 316 Kurasov D.A. Компьютеризированное производство: Индустрия 4.0. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1047 012153.
- 317 Технология. <https://readster.me/book/chetvertaya-promyshlennaya-revoljutsiya/> 15.08.2023.
- 318 Перспективы Индустрии 4.0 и цифровизации промышленности в России и мире (2 часть) <https://luckyea77.livejournal.com/3383096.html> 17.06.2023.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Обзор эволюции цифровой культуры в архитектуре

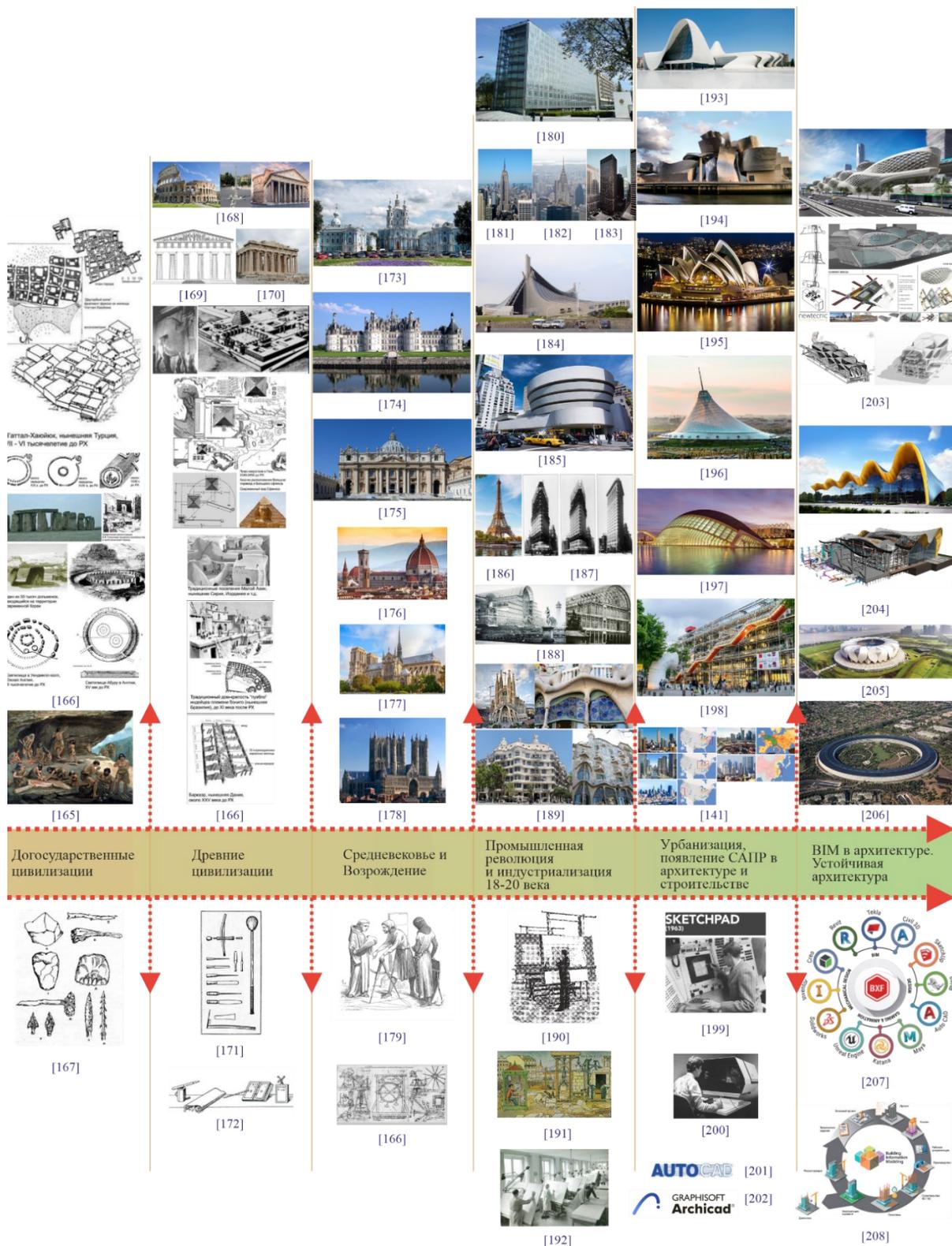


Рисунок А.1 - От рисунков, чертежей, кульмана к цифровизации архитектуры [165-208]

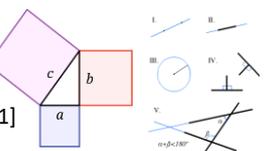
**VI в. до н.э.**

Пифагорово "золотое сечение" применяется для гармонии в архитектуре.



**VI в. до н.э.**

Пифагорейская и платоновская геометрия вводят правильные многогранники в архитектуру.



**III в. до н.э.**

Евклидова геометрия расширяет эти идеи, применяя их в светской архитектуре.

**XVII в. н.э.**

Геометрия Евклида влияет на инновации в архитектуре и инженерии.

**Конец XX в.**

Компьютерная геометрия запускает эру CAD системы.



**XXI в.**

Нелинейные системы считают здания "живыми организмами", подлежащими изменениям.



Рисунок А.2 - Обзор эволюции цифровой культуры в архитектуре [209-214]

**Технологические предпосылки-развитие вычислительной техники:**

Повышение производительности и доступности компьютеров делает возможным сложные расчеты и моделирование.

**Доступность специализированного** - программного обеспечения AutoCAD, Rhino, Revit и другие стали широкодоступными.

**Интернет и облачные технологии** - позволили архитекторам работать над проектами коллективно и в режиме реального времени, независимо от их физического расположения.

**Глобализация** - наличие цифровых инструментов позволяет конкурировать на международном уровне.

**Экономические предпосылки** - цифровые инструменты могут сократить время и трудозатраты на разработку проектов.

**Социальные и Культурные Предпосылки:**

Смена потребностей и вкусов - социокультурные факторы, такие как устойчивость, инклюзивность и многозадачность пространств, требуют новых подходов в проектировании.

**Образование и наука** - обучение цифровым технологиям стало стандартом в архитектурных школах, что способствует их использованию.

**Устойчивость и экологичность** - цифровые инструменты могут помочь в создании более устойчивых и энергоэффективных зданий.

**Анализ и мониторинг** - современные технологии позволяют более точно анализировать воздействие проекта на окружающую среду.

**Стандартизация правовые и нормативные предпосылки** - во многих странах уже разрабатываются законы, обязывающие использовать цифровые технологии для проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

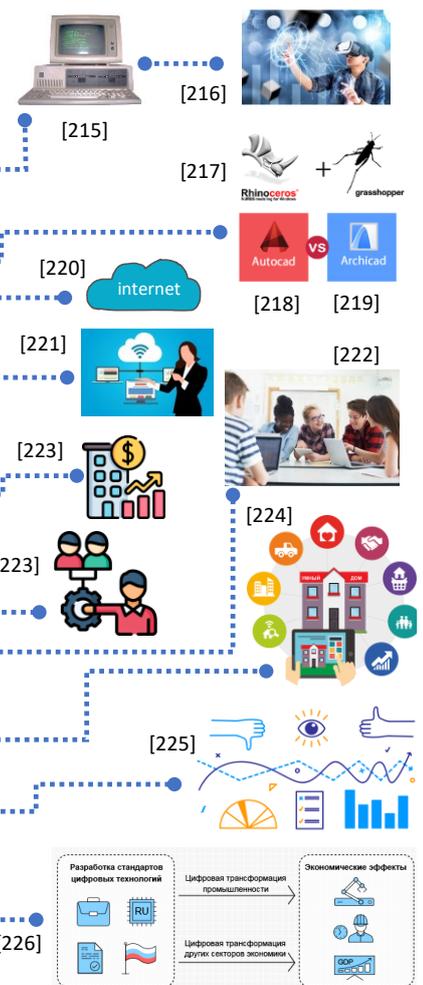


Рисунок А.3 - Обзор эволюции цифровой культуры в архитектуре [215-226]

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Механизмы и факторы цифровых технологий в архитектуре

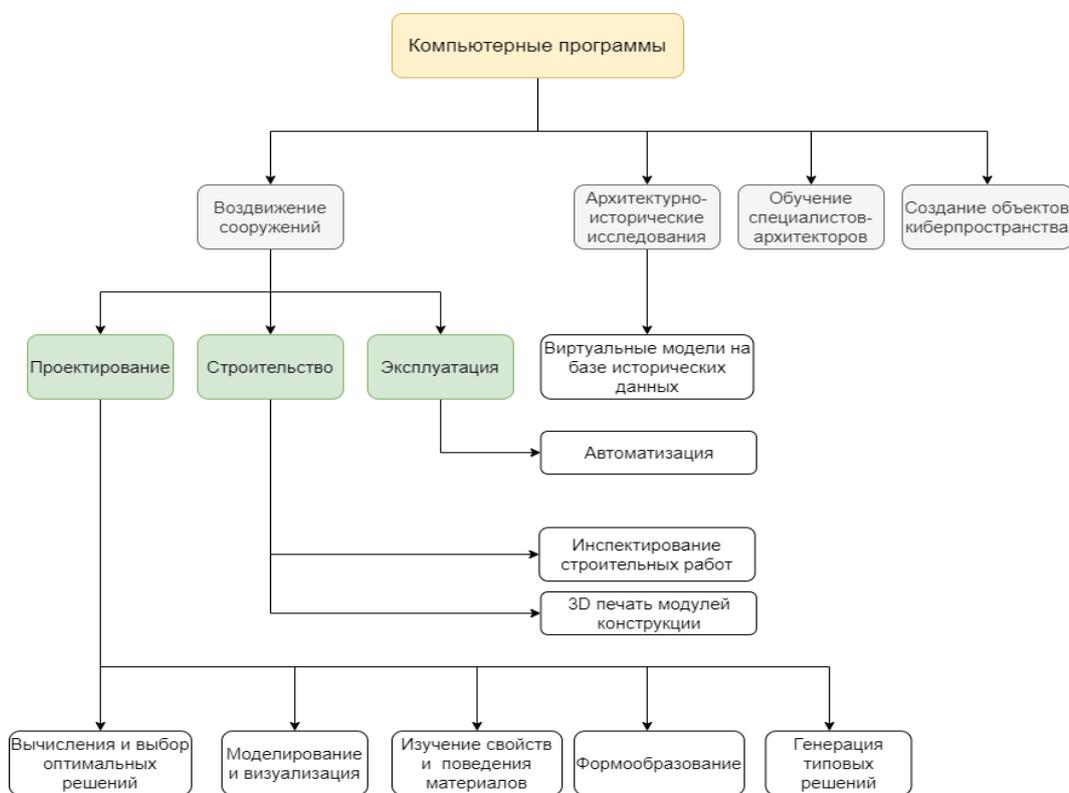
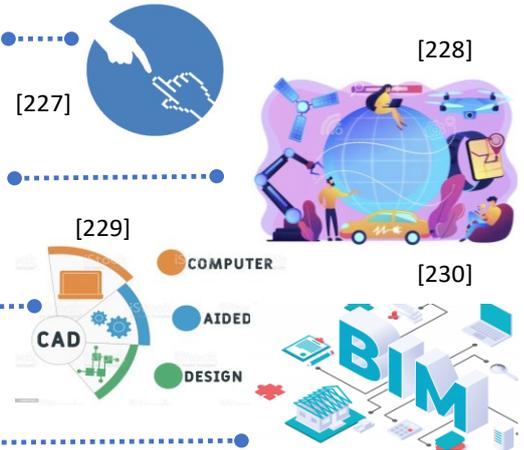


Рисунок Б.1 - Влияния цифровых программ на различные области архитектуры

**Б.1** Исходя из данного подраздела - цифровая культура в архитектуре имеет ряд интеграции цифровых технологий в архитектуру



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ**

Прогресс в области информационных технологий, появление мощных персональных компьютеров и специализированного программного обеспечения, позволил архитекторам более эффективно и точно создавать свои проекты.

**CAD (COMPUTER-AIDED DESIGN)**

Появление компьютерных инструментов изменили метод архитектурного проектирования, позволяя создавать более сложные и детализированные модели.

**BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)**

BIM следующий шаг после CAD. Позволяет создавать не просто геометрические модели, но и модели с полной информацией о материалах, технических характеристиках и других аспектах здания.

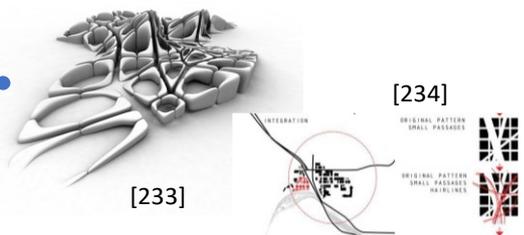
**3D-ПЕЧАТЬ И РОБОТИЗИРОВАННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

Применение этих технологий в архитектуре и строительстве позволяет реализовывать сложные формы и уменьшать человеческий фактор при строительстве.



**СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ, ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ, ГЕНЕРАТИВНОЕ И Т.Д.**

С использованием программирования архитекторы могут создавать дизайны, базирующиеся на определенных алгоритмах и переменных, что позволяет создавать уникальные и оптимизированные пространства.



**ВИРТУАЛЬНАЯ И ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ**

Технологии VR и AR предоставляют новые способы взаимодействия архитекторов с их проектами и клиентами, позволяя "погрузиться" в будущее пространство еще до его реального строительства.



**МИРОВАЯ ИНТЕГРАЦИЯ И ОБМЕН ДАННЫМИ**

Интернет сделал возможным обмен опытом и данными между архитекторами всего мира, что стимулирует быстрое распространение новых идей и технологий. В том числе инструменты и платформы Big Data, Autodesk 360, формат IFC и др.

**BIG DATA**



**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ И УСТОЙЧИВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

Цифровые технологии позволяют лучше анализировать и оптимизировать энергоэффективность зданий, водопотребление и другие экологические аспекты



В целом, развитие цифровой культуры в архитектуре являясь одним из понятий, сочетает в себе культурно-технологического прогресса, новых подходов к проектированию и изменяющихся потребностей общества. Эти изменения позволяют взаимодействовать в междисциплинарном подходе создавать более функциональные, устойчивые и креативные архитектурные объекты.

Рисунок Б.2 – Интеграция цифровизации в архитектуре [227-237]

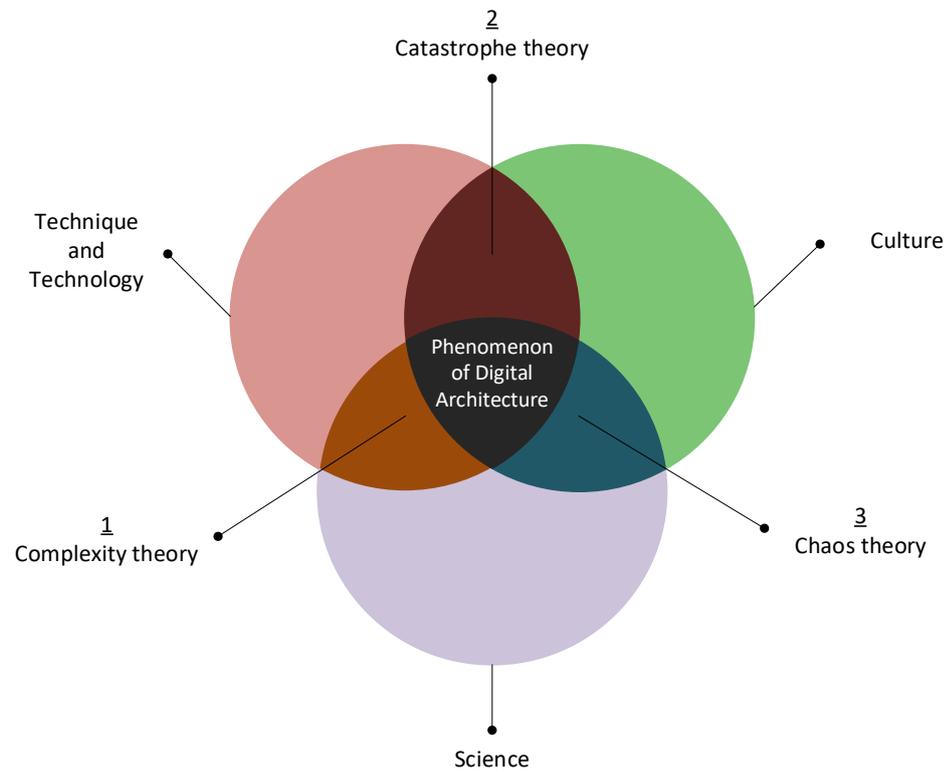


Рисунок Б.3 - Теоретическая модель развития цифровой архитектуры

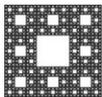
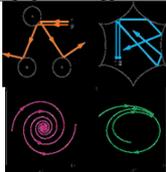
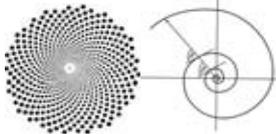
№ п/п	Фрактальные структуры	Архитектурные примеры
1	 <p>Салфетка Серпинского [3]</p>	 <p>TRAC – Тайбэй Центр исполнительского искусства Изображение NL архитекторов [14]</p>
2	 <p>Салфетка Серпинского [2]</p>	 <p>Здание штаб-квартиры Fuji TV на острове Одайба, арх. Кендзо Танге, Япония [2]</p>
3	 <p>Нелинейные оси в природных фракталах</p>	 <p>Научно-исследовательский центр Король Абдалла [5]</p>
4	 <p>Динамический хаос</p>	 <p>Центр Мелбоурне [5]</p>
5	 <p>Компьютерная модель филлотаксиса и логарифмическая спираль [6]</p>	 <p>Небоскрёб главного офиса швейцарской страховой компании, арх. Норман Фостер, Лондон [2]</p>
6	 <p>Пример природного фрактала [7]</p>	 <p>Жилой многоквартирный дом, проект Даниэля Либескинда, Сакраменто, США [2]</p>
7	 <p>Треугольник Серпинского [3]</p>	 <p>Хёрст-тауэр (Hearst Tower) – здание, спроектированное Норманом Фостером [2]</p>

Рисунок Б.4 - Фрактальные структуры [77, с. 84]

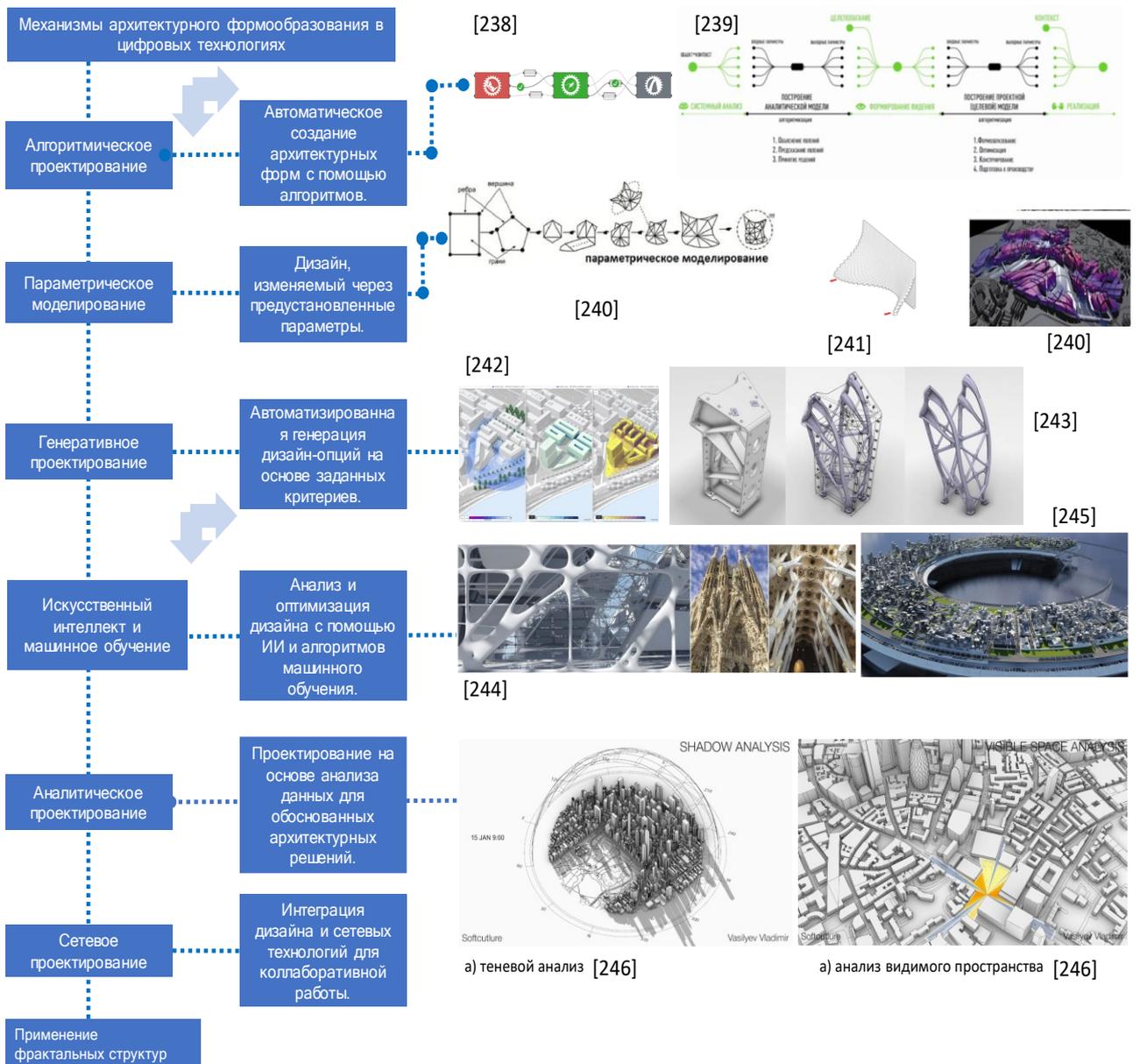
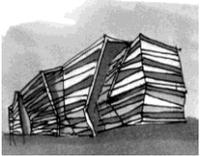
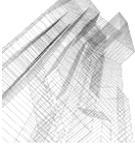


Рисунок Б.5 - Механизмы цифровой культуры в архитектурном формообразовании [238-246]



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Диалектика взаимодействия архитектуры и цифровой культуры

	Ручное	Цифровое		Традиционный город	«Умный» город на базе существующего	«Умный» город с нуля
Эскиз	 Ручной эскиз	 Цифровой эскиз	Особенности	Локальное и хаотичное внедрение IT-технологий	Структурированное внедрение IT-технологий, обоснованное наибольшей эффективностью	Плотная высокая застройка с озелененными пространствами. Кристаллическая структура города
	Модель	 Ручной макет		Виртуальное	Схематичная иллюстрация	
Физическое			Примеры городов	 Сан-Пауло, Бразилия		 Сингапур
		 3D-печать				

а)

б)

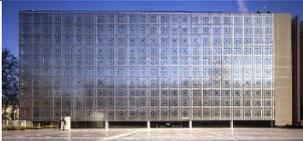
а) виды ручной и цифровой презентации проектируемой формы; б) сравнение методов проектирования «умного» города

Рисунок В.1 – Виды методов проектирования [141]

Таблица В.1 - Базы данных анализа примеров зданий и проектов, которые отражают влияние цифровой культуры [248-285]

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение / фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
1	«Guggenheim Museum Bilbao»	Frank Gehry	 Бильбао, Испания	Инновационный музей искусства. Применение программного обеспечения для аэрокосмической отрасли в процессе проектирования	<a href="#">Музей Гуггенхайма в Бильбао (archi.ru)</a> [248]
2	«Beijing National Stadium» (Bird's Nest)	Herzog & de Meuron	 Пекин, Китай	Олимпийский стадион. Сложные геометрические формы, созданные с использованием компьютерного 3D-моделирования для создания его уникальной «птичьей гнездо» структуры.	<a href="https://www.herzogdemeron.com/projects/226-national-stadium/">https://www.herzogdemeron.com/projects/226-national-stadium/</a> [249]
3	«The Edge»	PLP Architecture	 Амстердам, Нидерланды	Один из самых умных зданий в мире, известный как «самое умное здание в мире», «The Edge». Использует передовые цифровые технологии для максимизации эффективности и устойчивости. Применяя IoT и больших данных для создания адаптивной и энергоэффективной среды.	<a href="#">Офисное здание The Edge (archi.ru)</a> [250]
4	«Chicago Aqua Tower»	Studio Gang Architects, Loewenberg + Associates	 Чикаго, США	Многофункциональный небоскрёб с необычным прямоугольным планом и криволинейным фасадом, напоминающим складки ткани и Больших Озер. Особенностью является «зеленая крыша». Для создания уникальной башни с террасами, имитирующими водные волны, использовались компьютерные симуляции для создания уникальной волнистой фасадной системы.	<a href="#">Зеленые небоскребы. Одобрено птицами (livejournal.com)</a> [251]

Продолжение таблицы В.1

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
5	«The Digital Grotesque Project»	Michael Hansmeyer		Экспериментальный проект. Полностью 3D-печатный павильон, созданный с помощью алгоритмического проектирования	<a href="https://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I">https://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I</a> [252]
6	«The One Airport Square»	Mario Cucinella Architects	 Аккра, Гана	Здание офисного типа. Применение солнечного моделирования для оптимизации тени и энергетической эффективности	<a href="#">Комплекс One Airport Square (archi.ru)</a> [253]
7	«The Institute of Arab World»	Jean Nouvel	 Париж, Франция	Культурный центр. Интеграция фоточувствительных элементов для регулирования света и тени	<a href="#">Arab World Institute   Architecture-Studio   Archello</a> [254]
8	«The J Mayer H's Metropol Parasol»	J. Mayer H.	 Севилья, Испания	Структура городского пространства. Использование компьютерного дизайна и производства для создания сложной деревянной конструкции	<a href="#">Metropol Parasol by J Mayer H   Dezeen</a> [255]
9	Bjarke Ingels' Via 57 West	Bjarke Ingels Group (BIG)	 Нью-Йорк, США	Компьютерное моделирование для достижения оптимизации света, вида и энергии. Резиденциальный комплекс	<a href="#">VIA West57   Bjarke Ingels Group (BIG) - RTF   Rethinking The Future (re-thinkingthefuture.com)</a> [256]
10	Dancing House («Fred and Ginger»)	Фрэнк Гери и Владо Милунич	 Прага, Чехия	Дом стал примером использования компьютерного моделирования для создания уникальных архитектурных форм.	<a href="#">Танцующий дом архитектор - 61 фото (colodu.club)</a> [257]

Продолжение таблицы В.1

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
11	«Sagrada Família»	Антонио Гауди	 Барселона, Испания	Хотя проект начался задолго до эпохи цифровой культуры, сегодня для его завершения используются передовые технологии, включая 3D-печать.	<a href="http://espanarusa.com">Саграда главный храм Барселоны. (espanarusa.com)</a> [258]
12	«The High Line»	Diller Scofidio + Renfro	 Нью-Йорк, США	Городской парк, созданный на заброшенной железнодорожной линии, был спроектирован с использованием программного обеспечения для анализа микроклимата и оптимизации ландшафта.	<a href="http://mirkrasiv.ru">Хай-Лайн - парк в Манхэттене на высоте 10</a> (mirkrasiv.ru) [259]
13	«City Life Milano Residential Complex»	Zaha Hadid	 Милан, Италия	Проект был спроектирован с использованием персональных компьютеров, которые позволили создать его уникальные криволинейные формы.	<a href="http://ArchDaily.com">Citylife Apartments / Zaha Hadid Architects   ArchDaily</a> [260]
14	«Burj Khalifa»	Skidmore, Owings & Merrill, Дубай	 ОАЭ	Здание - пример использования компьютерного моделирования для достижения необычайной высоты и стабильности.	<a href="http://sk-struktura.ru">Небоскрёб Бурдж-Халифа Skidmore, Owings and Merrill Дубай   Структура (sk-struktura.ru)</a> [261]
15	«Louvre Abu Dhabi»	Жан Нувель	 Абу-Даби, ОАЭ	Проект использовал компьютерное моделирование для создания сложного купола из звезд.	<a href="http://prostranstvo.media">Жан Нувель: «Контекстуализм»   Про пространство(prostranstvo.media)</a> [262]
16	«Linked Hybrid»	Steven Holl Architects	 Пекин, Китай	Жилом комплексе используются современные технологии для создания «экологического города» с системами переработки воды, геотермальным охлаждением.	<a href="http://wordpress.com">Beijing's Linked Hybrid: (wordpress.com)</a> [263]

Продолжение таблицы В.1

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение / фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
17	«Guangzhou Opera House»	Zaha Hadid	 Гуанчжоу, Китай	Оперный дом был спроектирован с использованием алгоритмического дизайна для создания уникальных криволинейных форм	<a href="#">Оперный театр Гуанчжоу</a> - <a href="#">Проекты LG Hausys (hi-macs.ru)</a> [264]
18	«Galaху Soho»	Zaha Hadid	 Пекин, Китай	Коммерческий комплекс использует цифровые технологии для создания бесшовных переходов и сложных криволинейных форм	<a href="#">РАСШИРЯЯ ПРОСТРАНСТВО</a> ( <a href="#">mostmag.ru</a> ) [265]
19	«Absolute Towers»	MAD Architects,	 Миссиссога, Канада	Башни были разработаны с использованием компьютерного моделирования для создания уникальной волнистой формы.	<a href="#">Absolute World</a> - <a href="#">Wikipedia</a> [266]
20	«Learning Hub»	Thomas Heatherwick	 Сингапур, Наньянский технологический университет	Учебный хаб использует передовые технологии для создания нетрадиционного пространства для обучения	<a href="#">Двенадцать башен</a> ( <a href="#">archi.ru</a> ) [267]
21	«The Interlace»	OMA / Ole Scheeren,	 Сингапур	Резиденциальный комплекс использует инновационные архитектурные подходы для создания сложной структуры.	<a href="#">The Interlace in Singapore</a> by <a href="#">Ole Scheeren</a> - <a href="#">archEstudy</a> [268]
22	«The Porsche Design & Dezer Tower»	Porsche Design & Dezer Development	 Майами, США.	Башня использует революционную систему лифтов, которая позволяет владельцам квартир парковать свои автомобили прямо рядом с их единицами.	<a href="https://www.archdaily.com.br/br/795410/porsche-design-tower-de-miami-um-pequeno-monumento-da-arrogancia-para-com-a-catastrofe-climatica">https://www.archdaily.com.br/br/795410/porsche-design-tower-de-miami-um-pequeno-monumento-da-arrogancia-para-com-a-catastrofe-climatica</a> [269]

Продолжение таблицы В.1

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
23	«BMW Welt»	Coop Himmelb(l)au,	 Мюнхен, Германия	Многофункциональный центр автомобильного концерна BMW был спроектирован с использованием компьютерных симуляций и 3D-моделирования.	<a href="#">«Небесная архитектура»: проекты бюро Coop Himmelb(l)au   myDecor [270]</a>
24	The Diller Scofidio + Renfro Broad Museum	Diller Scofidio + Renfro	 Лос-Анджелес, США	Музей использует компьютерные модели для создания своей уникальной медовой фасадной структуры.	<a href="#">The Broad Museum / Diller Scofidio + Renfro   ArchDaily [271]</a>
25	The Walt Disney Concert Hall	Фрэнк Гери,	 Лос-Анджелес, США	Создания знаменитого здания использовались 3D-модели и алгоритмы для формирования его уникальных криволинейных форм.	<a href="#">Более 700 работ на тему стоковые фото, картинки и royalty-free - iStock (istockphoto.com) [272]</a>
26	The Shard	Ренцо Пиано	 Лондон, Великобритания	Небоскрёб был спроектирован с использованием компьютерного моделирования для достижения его уникальной стеклянной формы	<a href="#">The Shard — Википедия (wikipedia.org) [273]</a>
27	The CCTV Headquarters	OMA	 Пекин, Китай	Телевизионный центр использует инновационные архитектурные подходы для создания своего уникального зигзагообразного контура	<a href="#">CCTV Headquarters - Alchetron, The Free Social Encyclopedia [274]</a>

Продолжение таблицы В.1

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
28	The Rolex Learning Center	SANAA	 Лозанна, Швейцария	Учебный центр использовал компьютерное моделирование для создания своего волнового плана.	<a href="#">Rolex Learning Center / SANAA   ArchDaily [275]</a>
29	Tencent Seafront Towers	NBBJ	 Шэньчжэнь, Китай.	Офисный комплекс китайского технологического гиганта Tencent был спроектирован с помощью алгоритмического дизайна, чтобы оптимизировать естественное освещение и виды на море.	<a href="#">Tencent headquarters: making social networking a reality (archidust.com) [276]</a>
30	Harpa	Hennings Larsen Architects	 Рейкьявик, Исландия.	Для создания уникальной стеклянной фасадной структуры здания использовались компьютерные модели.	<a href="#">Концертный зал Харпа, Рейкьявик (lifeglobe.net) [277]</a>
31	One Central Park	Ateliers Jean Nouvel	 Сидней, Австралия	Жилой комплекс использует передовые технологии для включения вертикальных садов и системы концентрированного солнечного освещения.	<a href="#">One Central Park / Ateliers Jean Nouvel   ArchDaily [278]</a>
32	The London Aquatics Centre	Zaha Hadid	 Лондон, Великобритания	Сооружения для Олимпийских игр 2012 года, использует компьютерное моделирование для создания своих потрясающих волнообразных форм.	<a href="#">London Aquatics Centre – Zaha Hadid Architects (zaha-hadid.com) [279]</a>
33	The Gherkin (30 St Mary Axe)	Foster + Partners,	 Лондон, Великобритания	Небоскреб использует цифровые технологии для оптимизации своего энергоэффективного дизайна	<a href="#">Хмарочос-огірок «Сент-Мері Екс 30» (factum-info.net) [280]</a>

Продолжение таблицы В.1

№	Название проекта	Архитектор	Местоположение / фотографии	Особенности цифровой культуры	Ссылка источник
34	SUTD	UNStudio и DP Architects	 Сингапур	Университетский кампус был спроектирован с помощью компьютерных симуляций для создания оптимального образовательного пространства.	<a href="#">Singapore University of Technology and Design - UNStudio</a> [281]
35	Jockey Club Innovation Tower	Zaha Hadid Architects,	 Гонконг, Китай	Башня, служащая школой дизайна, была разработана с использованием цифровых технологий для создания уникальной и динамической формы здания.	<a href="#">Jockey Club Innovation Tower - Wikipedia</a> [282]
36	The Heydar Aliyev Centre	Zaha Hadid Architects	 Баку, Азербайджан	Культурный центр использует компьютерные алгоритмы для создания своей криволинейной и потоковой формы.	<a href="#">Heydar Aliyev Center   Zaha Hadid Architects, Barrisol - Normalu Sas, Bolidt   Archello</a> [283]
37	Gardens by the Bay	Grant Associates и Wilkinson Eyre Architects	 Сингапур	Сад использует инновационные технологии для создания уникальных супердеревьев и тепличных конструкций.	<a href="#">Gardens by the Bay, Singapore - Garden of the Future (holidayify.com)</a> [284]
38	Villa NM	UNStudio	 Верхний New York, USA	Эта резиденция была спроектирована с использованием компьютерного моделирования для создания уникальной серебристой стеклянной и металлической формы.	<a href="#">Villa NM - UNStudio</a> [285]

№	Элемент цифрово культуры	Описание	Влияние на архитектурное формообразование
1	3D-моделирование	3D-моделирование позволяет архитекторам визуализировать свои проекты в трех измерениях с помощью компьютерных программ.	может изменить процесс формообразования, поскольку позволяет архитекторам экспериментировать с формами и структурами, которые могут быть трудно представить в двух измерениях.
2	Алгоритмическое / Генеративное проектирование	Генеративное проектирование использует алгоритмы для создания и оптимизации дизайнерских решений.	может привести к созданию новых, уникальных форм и структур, которые не могли бы быть созданы с помощью традиционных методов.
3	Виртуальная реальность (VR)	VR позволяет архитекторам и клиентам погрузиться в виртуальное пространство и оценить проекты в полном объеме и масштабе.	VR может влиять на восприятие архитектурных форм и пространств, позволяя пользователям оценить их в более реалистичном контексте, чем 2D-изображения.
4	Цифровое производство (3D-печать, CNC)	Цифровые технологии производства, такие как 3D-печать и CNC, позволяют создавать сложные архитектурные формы и детали.	технологии могут влиять на формообразование, предлагая новые возможности для реализации сложных и детализированных архитектурных форм.
5	Искусственный интеллект и машинное обучение	Системы, способные к обучению и принятию решений без явного программирования.	Используются для автоматизации и оптимизации некоторых аспектов архитектурного проектирования, например, для анализа паттернов использования прост
6	Интернет вещей (IoT)	IoT включает в себя использование подключенных к сети устройств и датчиков для сбора данных и управления архитектурными пространствами.	IoT может влиять на формообразование путем интеграции технологических компонентов в архитектурные формы и позволять пространствам адаптироваться к нуждам и поведению пользователей.

Рисунок В.2 – Систематизация основных направлений цифровизации и анализ их влияния на процесс формообразования в архитектуре

Таблица В.2 - Результаты развернутого интернет-опроса, направленного на определение современных представлений профессионалов о влиянии цифровой культуры на архитектуру

Вопрос	Варианты ответа %		
	Да	Нет	Воздержусь
<b>1 ЭВОЛЮЦИЯ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В АРХИТЕКТУРЕ</b>			
Раздел 1. Осознание и понимание цифровой культуры			
Вы знакомы с понятием «цифровая культура»?	88,6 %	5,7%	5,7%
Считаете ли Вы, что цифровая культура активно влияет на современную архитектуру?	88,6%	2,9%	8,6%
Считаете ли Вы, что понимание цифровой культуры важно для современного архитектора?	91,4%	2,9%	5,7%
Текстовый ответ			
<b>Как вы определяете «цифровую культуру» и какие ключевые концепции и идеи она включает в себя с точки зрения философии архитектуры?</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Философия архитектуры рассматривает влияние цифровой культуры на архитектурную практику и восприятие пространства. Она исследует, как цифровые технологии влияют на форму, функцию и эстетику зданий, а также на взаимодействие людей с архитектурой, на образ жизни. На изменение восприятия пространства.</li> <li>– Все нами используемые программы на сегодняшний день по моему мнению является частичками цифровой культуры. И в той или иной мере облегчает наши задачи в своей отрасли.</li> <li>– Цифровая культура является результатом смены парадигмы - смены мировоззрения обитателей планеты Земля. Принцип сетевых взаимодействий послужил размыванию границ физических и культурных, однако именно он обострил и сделал актуальным идентификацию места, конкретного вида искусства, и развитие творческого потенциала личности в групповых социальных взаимодействиях.</li> <li>– Слишком сложный вопрос</li> <li>– новая морфология строений и особое функциональное назначение архитектурных объектов спроектированных для новой среды</li> <li>– Виртуальная архитектура, энергоэффективность, инновации</li> <li>– Понимание методов обработки информации в цифровом формате с использованием неограниченных данных в информационном виртуальном пространстве, а также понимания и владение программным обеспечением для использования в профессиональной деятельности и в бытовых нуждах.</li> <li>– Я считаю, что это визуальная составляющая, соц. сети, все что входит в цифровую сферу и образует некую картину целостный образ для каждого пользователя</li> <li>– Понимание тенденций развития проектирования и строительства, использование новых и новейших достижений компьютерной техники и программ, в т.ч. ИИ (если кратко)</li> <li>– Единую цифровую среду для профессиональной деятельности</li> <li>– В первую очередь формообразование и математические расчеты, интересные визуальные решения и новые концепции</li> <li>– информационно-коммуникационные технологии который автоматизирую и упрощает процесс работы</li> <li>– I would define «digital culture» as a new media and new technologies that are emerging extremely fast in the recent years that can have a huge impact on the way we design buildings, think about architecture in general and the way we present our ideas and express our creativity. I think the key idea here is that we should be aware of the future that's coming and the way people would interact with reality (or non-reality), augmented reality and consider that idea when designing new spaces for people BIM</li> </ul>			

## Продолжение таблицы В.2

<b>Как вы определяете «цифровую культуру» и какие ключевые концепции и идеи она включает в себя с точки зрения философии архитектуры?</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– В области архитектуры определяю как технические достижения. Ключевым на мой взгляд является использование универсального инструмента - компьютера, который используется совместно с разнообразным программным обеспечением или оборудованием.</li> <li>– использование информационно-коммуникационных технологий для взаимодействия с обществом</li> <li>– Программы, приложение для облегчения работы</li> <li>– с точки зрения философии архитектуры, цифровая культура является логичным шагом в рамках развития понятия пространства в контексте общей человеческой мысли.</li> <li>– Интеграция цифровых технологий в культуру жизнедеятельности человека. Внедрение новых инструментов и искусственного интеллекта в проектирование. Достижение максимальной эффективности - устойчивое развитие, эстетика, минимальное воздействие на окружающую среду с учётом комфорта и пользы для населения.</li> <li>– Электронное взаимодействие в обществе и с государственными органами</li> <li>– воздержусь</li> <li>– Использование цифровых технологий при создании архитектурного облика объекта</li> <li>– Визуализация, прогнозирование, инновация</li> <li>– Вопрос для целой статьи. Если грубо Цифровая культура - та ее часть, которая существует в виртуальном цифровом пространстве. С точки зрения архитектуры наиболее важно, что виртуальное пространство по возможностям взаимодействия с человеком приближается к реальному.</li> <li>– BIG DATA и сенсорная архитектура = цифровизация архитектуры</li> </ul>			
<b>2 МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ</b>			
Раздел 2. Применение цифровых технологий			
Вопрос	Да	Нет	Воздержусь
Вы использовали виртуальную или дополненную реальность для представления своих проектов?	54,3%	45,7%	
Считаете ли Вы, что виртуальная реальность полезна при визуализации архитектурных проектов?	88,6%	5,7%	5,7%
Используете ли Вы цифровые технологии для улучшения энергоэффективности или устойчивости Ваших проектов?	60%	40%	
Был ли у Вас ли опыт, когда цифровые технологии позволили Вам создавать более инновационные или сложные архитектурные формы?	62,9%	37,1%	
Текстовый ответ			
<b>Какие элементы и аспекты цифровой культуры особенно значимы для архитектурного формообразования?</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Проектирование большепролетных конструкций, оболочек, фасадных элементов (каркас)</li> <li>– Алгоритмическое проектирование, визуализация.</li> <li>– 3д моделирование и расчет конструкции зданий особенно упрощает и помогает при проектированиях.</li> </ul>			

## Продолжение таблицы В.2

<ul style="list-style-type: none"> <li>– Простые инструменты редактирования для создания сложных форм</li> <li>– затрудняюсь с ответом</li> <li>– Тим технологии позволяют создавать цифровую модель, которая является фактическим двойником реального объекта. Это бесценная информация об объекте как на стадии проектирования, когда действия архитекторов, конструкторов, смежником и строителей согласованы, так и в период эксплуатации и утилизации здания.</li> <li>– Важнейшим аспектами цифровой культуры является понимание основополагающих принципов композиционного мышления при создании архитектурных объектов.</li> <li>– Программы для вычерчивания, 3д моделирования</li> <li>– Улучшение проектных программ, для более простого и интуитивно понятного использования</li> <li>– 3д визуализация</li> <li>– возможности автоматизации</li> <li>– I think the ability to interact with the objects and ability to «see» in real 1:1 scale how your project is going to look like, having that sensory experience is just something that previous generations of architects didn't have and I think it's a very important factor when designing today</li> <li>– Вычислительные мощности;</li> <li>– Переход от монитора к виртуальной реальности;</li> <li>– Эргономичные органы управления виртуальной реальностью.</li> <li>– мифы</li> <li>– AI искусственный интеллект</li> <li>– Система единиц измерения</li> <li>– Параметрическое моделирование, визуальное программирование.</li> <li>– Учет вентиляции и инсоляции города в целом, коридоров эвакуации при ЧС и зоны обрушения зданий. Учет зоны подтопления селями и половодьем. Учет зоны обрушения горных массивов. Учет зон опасного производства. Размещение бомбоубежищ и продовольственных складов, а также складов оружия и медикаментов. Создание опорных пунктов для размещения противоракетного вооружения. Вывод магистральных железнодорожных путей за пределы городского массива. Контроль охранных зон магистралей водоснабжения, канализации, газоснабжения, теплоснабжения.</li> <li>– Воздержусь</li> <li>– В цифровом формате стало легче создавать сложные формы в архитектуре, их моделирование, расчет сложных форм. Возросли возможности реализовать фантазии и творческие изыски архитекторов в моделировании и формообразовании.</li> <li>– Визуализация, 3д модель</li> <li>– 3д визуализация</li> <li>– Разнообразие. Возможность относительно простого создания решений и обмена ими через разнообразные платформы приводит к поразительному увеличению вариативности.</li> <li>– Работа в команде и ограничение с учетом на возможность строительных технологий</li> </ul>			
<b>3 АРХИТЕКТУРА И ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА: ДИАЛЕКТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ</b>			
Раздел 3. Влияние цифровой культуры на формообразование			
Вопрос	Да	Нет	Воздержусь
Как Вы считаете, цифровые технологии позволили создавать более устойчивые или энергоэффективные здания?	80%	11,4%	8,6%

Продолжение таблицы В.2

Считаете ли Вы, что использование цифровых технологий в архитектуре ведет к появлению новых архитектурных стилей и направлений?	71,4%	20%	8,6%
Текстовый ответ			
<b>Как, по Вашему мнению, цифровые технологии и цифровая культура влияют на взаимодействие людей с зданиями и городской средой?</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Дополненная реальность ключевой фактор при взаимодействии проектировщика с заказчиком, о в определенной степени облегчает задачу архитектора.</li> <li>– Цифровые технологии помогают людям представить и показать будущие проекты, использование дополнительной реальности уже давно используется в нашем современном мире, для примера можно взять здание которое находится на восточной объездной дороге, где при наведении камеры телефона на здание мы можем увидеть интересную анимацию, эта анимация может служить в какой-то степени стрит-артом что вызывает интерес у людей и создает некую рекламу.</li> <li>– Повышают комфорт</li> <li>– ответ дает Маклюэн в книге про медиа, он называет медиа второй кожей по отношению к человеку. В своей маг. диссертации я описывала современную архитектуру, как более расширенную кожу (тело) человека, которым человек управляет практически также, как и собственным физическим телом</li> <li>– Способствует интеграции</li> <li>– Считаю, что роль архитектора на сегодняшний день является определяющей в создании оригинальных зданий и сооружений. Цифровые технологии лишь инструмент в руках профессионала. Поэтому взаимодействие людей со зданием и городской средой определяется его ощущениями в этих средах, а оно зависит от факторов воздействия на органы восприятия: - зрение, осязание, слух, обоняние, то, что присуще человеку, а не искусственному интеллекту. Поэтому на данном этапе я бы приоритет отдал человеческому интеллекту с его иррациональным (субъективным) экзистенциальным восприятием.</li> <li>– Yes, this is one of the points I mentioned earlier. People are different today, the use of technology has brought our interaction with the environment way down. We use phones non-stop, were addicted to those machines. Interaction with the environment has become «too robotic», it seems like we can't connect as much as we use to before. Technology is both our freind and enemy at the same time. We need to understand how to use it and</li> <li>– увеличения проведения рабочего и свободного времени в персональных гаджетах и смартфонах, позволяет человеку находится почти, где угодна вне контекста города или архитектуры.</li> <li>– Удобство. Технологии умного города упрощают жизнь. Благодаря телеметрии и большие данные можно максимальной упорядочить среду обитания людей, а также решить большинство инфраструктурных проблем.</li> <li>– Нет.</li> <li>– воздержусь</li> <li>– Положительно</li> <li>– Улучшается восприятия здание ещё на моменте его создания</li> <li>– Пока косвенно. В основном через интерфейсы мобильных устройств. Наиболее значимым сегодня кажется использование ГИС систем</li> <li>– Человек в контексте архитектуры, но город для человека. Зеленая среда</li> <li>– Безусловно. Умная архитектура, умный город - умная среда обитания.</li> <li>–</li> </ul>			

## Продолжение таблицы В.2

Считаете ли Вы, что цифровые технологии могут снижать качество традиционной архитектуры?	43,8%	25,7%	31,3%
<p>Текстовый ответ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Использование цифровых технологий в какой-то мере упрощает сам процесс создания проекта, архитектор уже не полагается на ручной труд и берет информацию непосредственно из интернет ресурсов, что сказывается на общей концепции проекта и его внешнего вида, то есть из-за упрощения страдает в первую очередь фантазия архитектора, также упрощение всегда ведет к коммерции и проекты могут стать не интересны обществу и представлять собой коммерческую архитектуру (которая нацелена на прибыль).</li> <li>– Если автор имеет четкое представление о решаемых задачах в архитектурном проектировании в том числе и создания «традиционной архитектуры» без злоупотребления цифровых методов и, в частности, искусственным интеллектом то вышеперечисленных опасений не вижу.</li> <li>– I don't think digital technologies can reduce the quality of traditional architecture. On the contrary, I think it can greatly benefit it, but again the person using this should be aware of both and should make the best out of the both worlds. An architect should know how to sketch and draw even though he/she may never use this in the practice. I don't think analog way of designing is wrong, I just think that, as architects, we should consider and embrace new technology because that technology is going to only continue to grow. It's never going to go back, so if you want to stay up to date and on the edge of what's happening, you should be curious and you should learn about it. It's a process and it will only continue to grow, especially now with the recent growth of artificial intelligence.</li> <li>– Я считаю что можно совмещать исторические здания с современными постройками в футуристическом стиле при условии что постройки выполнялись методом голосования жителей той или иной территории на котором хотят построить тот или иной объект.</li> <li>– Архитектурные достижения человечества намного предвосхитили появление цифровой архитектуры и даже развития чертежа. Цифровая культура как и чертеж является всего лишь средством.</li> <li>– • Формальное, не творческое отношение к цифровым технологиям способно наносить ущерб архитектуре. Разумный творческий подход к цифровым технологиям делает их эффективным инструментом проектирования.</li> </ul>			
<b>4 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>			
Раздел 4. Преимущества и недостатки			
Вопрос	Да	Нет	Воздержусь
Считаете ли Вы, что преимущества использования цифровых технологий в архитектуре превышают их недостатки?	62,9%	20%	17,1%
Вы сталкивались с проблемами или трудностями при использовании цифровых технологий в своей практике?	62,9%	25,7%	11,4%
Считаете ли Вы, что использование цифровых технологий делает процесс архитектурного и строительного проектирования более простым и эффективным?	91,4%	5,7%	2,9%
Как Вы думаете, использование цифровых технологий повышает стоимость проектов?	60%	25,7%	14,3%

## Продолжение таблицы В.2

Являются ли BIM-технологии, по Вашему мнению, важным инструментом в современной архитектурной практике?	88,6%	8,6%	2,9%
Текстовый ответ Как вы оцениваете значение и влияние BIM-технологий на современную архитектурную практику?			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– С каждым годом владение данными технологиями востребованы в компаниях</li> <li>– Сокращаем время работы. Имеет высокое значение, учитывая нынешние реалии темпа жизни.</li> <li>– Ускоряет и упрощает процесс проектирование.</li> <li>– Влияние и значение bim-технологий оказывает большое, большинство современных проектов не может существовать без этих технологий, создание планов зданий, внешний вид, фасадная часть и внедрение «зеленых» технологий, все это становится намного проще при использовании цифровых технологий.</li> <li>– Тенденция возведения «коробок» в «не зрелых» руках</li> <li>– влияние огромное</li> <li>– Важное</li> <li>– Влияет на экономичную составляющую проекта</li> <li>– Huge time-saver and money saver at the same time, considerable efficiency boost in the workflow and the final output</li> <li>– Положительно с точки зрения взаимосвязей всех разделов проекта для комплексного проектирования.</li> <li>– Удобство не только в плане визуального конечного образа объекта, но и в плане гармоничного построения самого объекта в командной работе</li> <li>– Это безальтернативно</li> <li>– Не до конца доработанная технология, но с большим потенциалом</li> <li>– Помогают более точно рассчитать конструктивную систему здания и сделать его эффективным и безопасным</li> <li>– положительно</li> <li>– В 2001 году мне хватило 15 минут чтоб понять, что за BIM-технологиями будущее архитектуры, но это будущее у нас до сих пор не наступило. Влияние BIM-технологии в нашей стране очень слабое.</li> <li>– BIM-технологии в современной практике сужают возможности профессиональной подготовки архитектора, заставляя работать не творчески, а лишь по шаблону программы. Выявляется зависимость от программ и фирм создающих эти программы, т.к. современные рыночные отношения, как показывает практика, диктуется и контролируются правительствами</li> <li>– 10 из 10</li> <li>– Дело в том, что BIM модель становится устаревшей сразу после ее создания, так как в процессе реализации проекта происходит большое количество изменений. По самым разным причинам. В этом смысле цифровая модель всегда отстает во времени от реальности. Тем не менее она является полезным решением при всей своей сложности.</li> <li>– Повышается качество ПСД. Экономия ресурсов, благодаря точным расчётам по материалам. Сокращение сроков строительства за счёт точному графику строительства 4D. Высокая прозрачность проектов, что минимизирует возможности для коррупции. Высокие показатели на этапе эксплуатации за счёт наличия цифрового двойника объекта.</li> </ul>			

## Продолжение таблицы В.2

<ul style="list-style-type: none"> <li>– BIM-технологии играют важную роль в создании современного архитектурного облика городов, повышается качество разработки рабочих проектов, получении точной детальной информации о проекте. Соответственно каждое здание в BIM это живой информационный архитектурно-инженерный организм, которым может в дальнейшем управлять человек.</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– BIM-проектирование это будущее</li> <li>– Хорошо</li> <li>– Это один из эффективных инструментов оптимизации жизненного цикла здания</li> <li>– Оптимизация решений архитектора и прозрачность проектной и строительной деятельности</li> <li>– Тим технологии позволяют создавать цифровую модель, которая является фактическим двойником реального объекта. Это бесценная информация об объекте как на стадии проектирования, когда действия архитекторов, конструкторов, смежником и строителей согласованы, так и в период эксплуатации и утилизации здания.</li> </ul>			
<b>5 ЦИФРОВАЯ АРХИТЕКТУРА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ</b>			
Раздел 5. Обучение и развитие навыков			
Вопрос	Да	Нет	Воздержусь
Считаете ли Вы, что цифровые навыки стали неотъемлемой частью профессионального образования архитектора?	91,4%	5,7%	2,9%
Как Вы считаете, будет ли актуальным открытие образовательной программы по цифровой архитектуре?	74,3%	11,4%	14,3%
Текстовый ответ			
<b>Какими навыками и знаниями, на ваш взгляд, должен обладать современный архитектор в контексте развития цифровой культуры?</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Знание программ и умение ими «правильно» пользоваться (композиционные приёмы в архитектуре)</li> <li>– Знаний различных программ и многофункциональность в использованиях различных программ и поочередная делегирование функции среди этих самых программ обеспечивает архитектору эффективную проектированию.</li> <li>– Навыки использования программ для 3д моделирования и визуализации, но при этом не стоит забывать, где будет построен проект, знания культуры народа и местности в первую очередь, также немаловажный вопрос состоит во внедрении так сказать «зеленых» технологий.</li> <li>– Знание большого спектра профессиональных программ</li> <li>– обязательно базовыми (классическими: композиция, основы проектирования, арх. детали, арх. конструкции, ручные техники), прежде чем приступать к цифровым технологиям</li> <li>– Профессиональными компетенциями архитектора</li> <li>– Software skills like Rhino/Grasshopper, Revit, Unreal Engine, understanding of AI, understanding of VR/AR in architecture, digital fabrication and 3D printing</li> <li>– Прежде всего, специалист архитектор должен обладать традиционными базовыми профессиональными навыками, которые предъявляются при отборе на обучение - умение рисовать, композиционное мышление в объемно-пространственном, цветовом и графическом построении объекта (рисунка, живописи, скульптурной композиции и т.д.), а также современными компьютерными программными продуктами для проектирования. Все эти навыки в контексте цифровой культуры могут дать качественно новый уровень развития в архитектуре и строительстве.</li> </ul>			

## Продолжение таблицы В.2

<b>Какими навыками и знаниями, на ваш взгляд, должен обладать современный архитектор в контексте развития цифровой культуры?</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нужно обладать хотя бы начальными знаниями с использованием BIM технологий в проектировании, так как в последнее время это становится все более популярней. Ну и конечно обладать знаниями по работе с 2D чертежами в программе AutoCAD так как полностью на BIM мы перейдем не скоро.</li> <li>– Архитектурное планирование, 3д визуализация, строительные программы по типу Ревит и Автокад, скульптура и живопись</li> <li>– программы каждый раз обновляются, нужно быть в тренде и постоянно обучаться</li> <li>– Не только архитектору, но и любому смежному специалисту необходимы навыки работы с 3D (создавать, дополнять, вносить/извлекать данные и т.д.)</li> <li>– логикой</li> <li>– Владеть BIM</li> <li>– Система единиц измерения, и самые базовые фундаментальные понятия.</li> <li>– Владение цифровыми инструментами. Наличие базовых знаний в программировании. Понимание концепции BIM.</li> <li>– Знать цикл жизнедеятельности города и проблем при ее динамическом развитии с инженерными магистралями и путями эвакуации и снабжения.</li> <li>– умение дать толковое техническое задание модератору процесса</li> <li>– Знание компьютерной графики, программирования, знание нормативов и стандартов, творческому мышлению в работе над проектами, широкий кругозор.</li> <li>– Знаем программ, их детальное изучение и опыт</li> <li>– Знание 3д программ</li> <li>– Прежде всего хорошим кругозором в возможностях цифровых инструментов, затем навыками в использовании нужных ему.</li> <li>– На фоне развития цифровой культуры архитектор должен оставаться композитором и гуманистом - знать историю архитектуры, законы архитектурной композиции, быть способным к творческому поиску.</li> <li>– Считаю необходимыми.</li> <li>– Знание и умение работать (сбор и анализ) с ГИСами и Большими данными.</li> <li>– Знание правил создания Программы на проектирования (прежде, технического задания).</li> <li>– Знание норм и правил проектирования.</li> <li>– Знание принципов и методов вычислительного проектирования (параметрического, алгоритмического и генеративного).</li> <li>– Знание одной или нескольких программ 3d моделирования, информационного моделирования, вычислительного моделирования.</li> <li>– Навыком работать в команде с инженерами, смежниками, строителями и эксплуатационными службами в процессе создания информационной модели здания.</li> <li>– Знание программ визуализации и презентации проектного процесса и его результатов.</li> <li>– Владеть навыками фундаментального обоснования и защиты своего проекта.</li> </ul>			
<b>5 ЦИФРОВАЯ АРХИТЕКТУРА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ</b>			
<b>Раздел 6. Прогнозирование будущего в контексте цифровизации</b>			
<b>Вопрос</b>	<b>Да</b>	<b>Нет</b>	<b>Воздержусь</b>
Считаете ли Вы, что важность цифровых навыков для архитекторов будет увеличиваться в будущем?	88,6%	11,4%	

Продолжение таблицы В.2

Вопрос	Да	Нет	Воздержусь
Вы ожидаете, что в будущем появятся новые цифровые технологии, которые значительно изменят архитектуру?	83,9%	6,5%	9,7%
Считаете ли Вы, что цифровая культура будет играть ключевую роль в развитии архитектуры в ближайшие годы?	65,7%	14,3%	20%
Количество участников: 36			
<b>Результаты выводов опроса Влиянии цифровой культуры на архитектуру.</b>			
Выводы	Детали влияния		
Существенное влияние	Цифровая культура оказывает значительное влияние на архитектурное формообразование, расширяя возможности архитекторов и представляя новые способы создания и представления архитектурных форм.		
Многообразие форм	Цифровые технологии позволяют создавать более сложные и разнообразные формы, которые ранее были трудно воплощаемы.		
Сокращение времени проектирования	Цифровые инструменты и программное обеспечение могут сократить время проектирования, облегчая визуализацию и моделирование архитектурных форм.		
Профессиональная трансформация	Роль архитектора меняется с развитием цифровой культуры. Профессионалам требуется новые навыки и знания, связанные с цифровыми технологиями.		
Общественное влияние	Цифровая культура и ее влияние на архитектуру имеют общественные последствия, включая изменение способов взаимодействия людей с зданиями и городской средой.		
Будущие перспективы	Перспективы архитектурного формообразования в контексте цифровой культуры включают развитие новых материалов, методов проектирования и строительства, а также более тесную интеграцию с другими областями, такими как информационные технологии и искусственный интеллект.		
Вызовы	Существуют также определенные вызовы, связанные с этими изменениями, включая необходимость обучения и развития новых навыков, вопросы безопасности и конфиденциальности, а также необходимость адаптации к новым ролям и процессам.		

Продолжение таблицы В.2

<b>Рекомендации для архитекторов о том, как они могут использовать цифровые технологии и подходы для создания новых и инновационных форм в своей работе.</b>	
Использование алгоритмического дизайна	Алгоритмический или параметрический дизайн позволяет создавать сложные и уникальные формы с использованием математических алгоритмов и моделей.
Создание открытых и гибких пространств	С развитием цифровых технологий возрастает потребность в более гибких и адаптивных пространствах, которые могут быстро изменяться и адаптироваться к различным потребностям и условиям.
Учет устойчивости	Цифровые технологии могут помочь в вопросах устойчивости, позволяя архитекторам лучше учитывать влияние их проектов на окружающую среду и искать способы минимизации негативного воздействия.
Развитие навыков в области программирования	Для реализации более сложных и инновационных проектов, архитекторам может потребоваться освоение некоторых аспектов программирования, включая скриптинг для автоматизации процессов или создания сложных геометрий.
Симуляция и моделирование	Цифровые технологии позволяют проводить симуляции и моделирование в различных условиях, что помогает предвидеть возможные проблемы и внести коррективы в дизайн до начала строительства.
Цифровое производство	Использование технологий цифровой фабрикации, таких как 3D-печать и роботизированное строительство, может помочь архитекторам воплощать сложные дизайнерские идеи и сокращать время строительства.
Коллаборация и обмен данными	Цифровые платформы и инструменты могут облегчить совместную работу и обмен данными между различными участниками проекта, включая архитекторов, инженеров, строителей и клиентов.



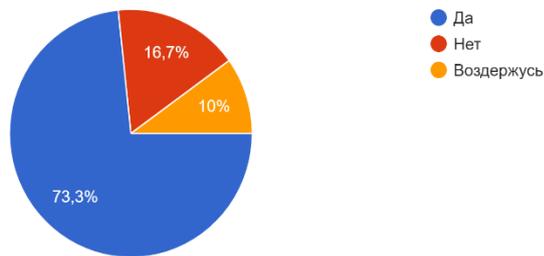
Рисунок В.3 - Модель факторов и механизмов цифровых технологий



Рисунок В.4 - Теоретическая модель влияния цифровых технологий на стили и процесс формообразование в архитектуре

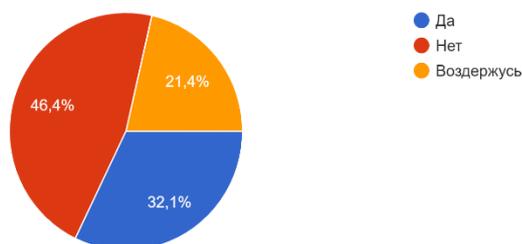
Считаете ли Вы, что использование цифровых технологий в архитектуре ведет к появлению новых архитектурных стилей и направлений?

30 ответов



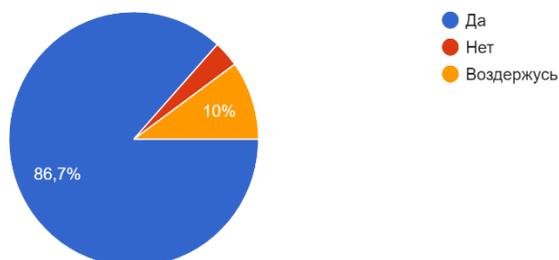
Считаете ли Вы, что цифровые технологии могут снижать качество традиционной архитектуры? \*Данный вопрос в контексте ...создать проблемы в долгосрочной перспективе.

28 ответов



Считаете ли Вы, что цифровая культура активно влияет на современную архитектуру?

30 ответов



Как Вы считаете, цифровые технологии позволили создавать более устойчивые или энергоэффективные здания?

30 ответов

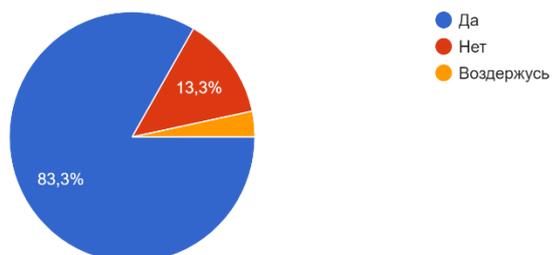


Рисунок В.5 - Разработанная на основе данных из разделов таблицы В.5, иллюстрирует осознание и понимание цифровой культуры

Результаты исследование проблемы цифровой культуры в архитектурном формообразовании выявило в двух ключевых направлениях.

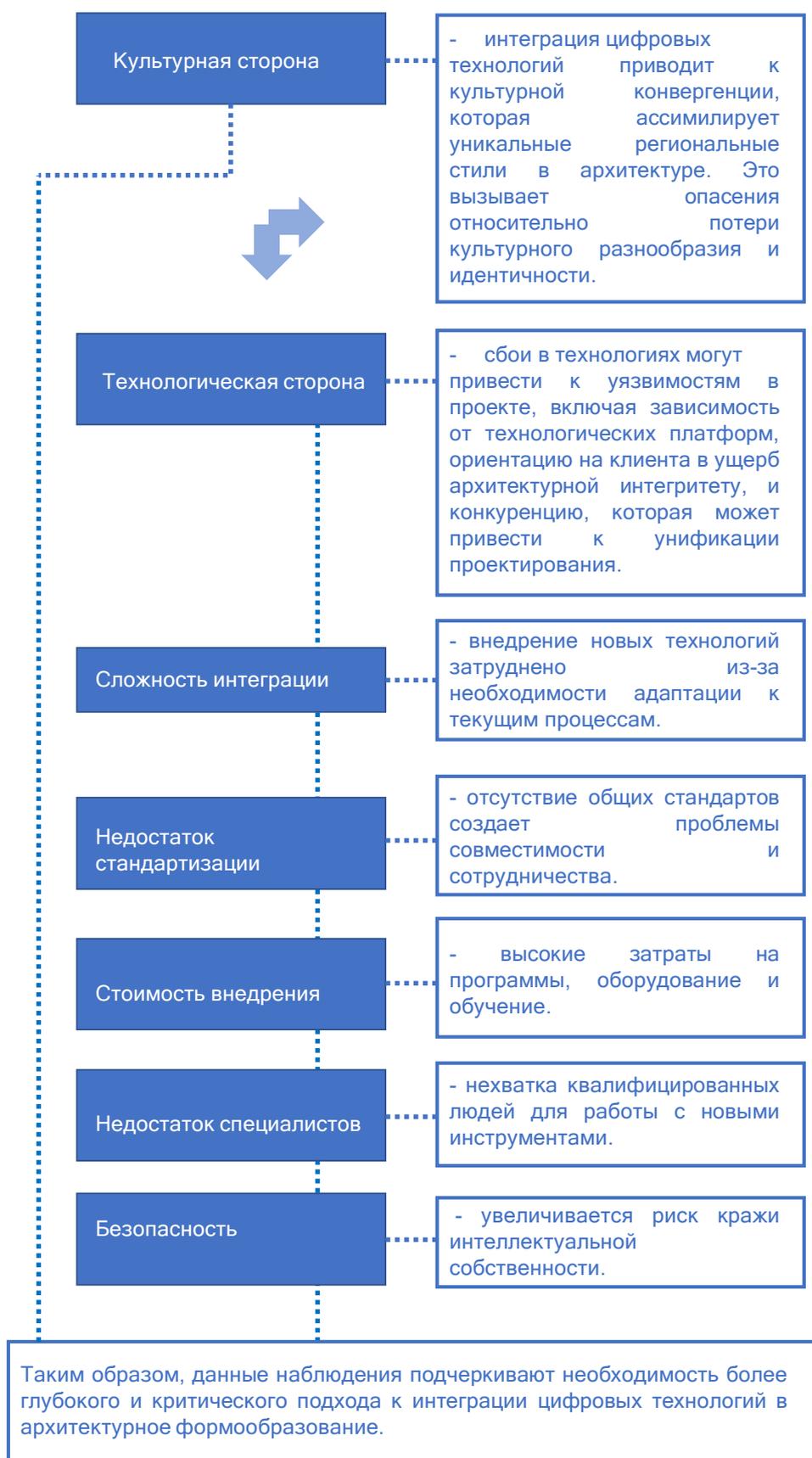


Рисунок В.6 - Отрицательные стороны цифровых технологий

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Инструменты и методы современного архитектурного проектирования

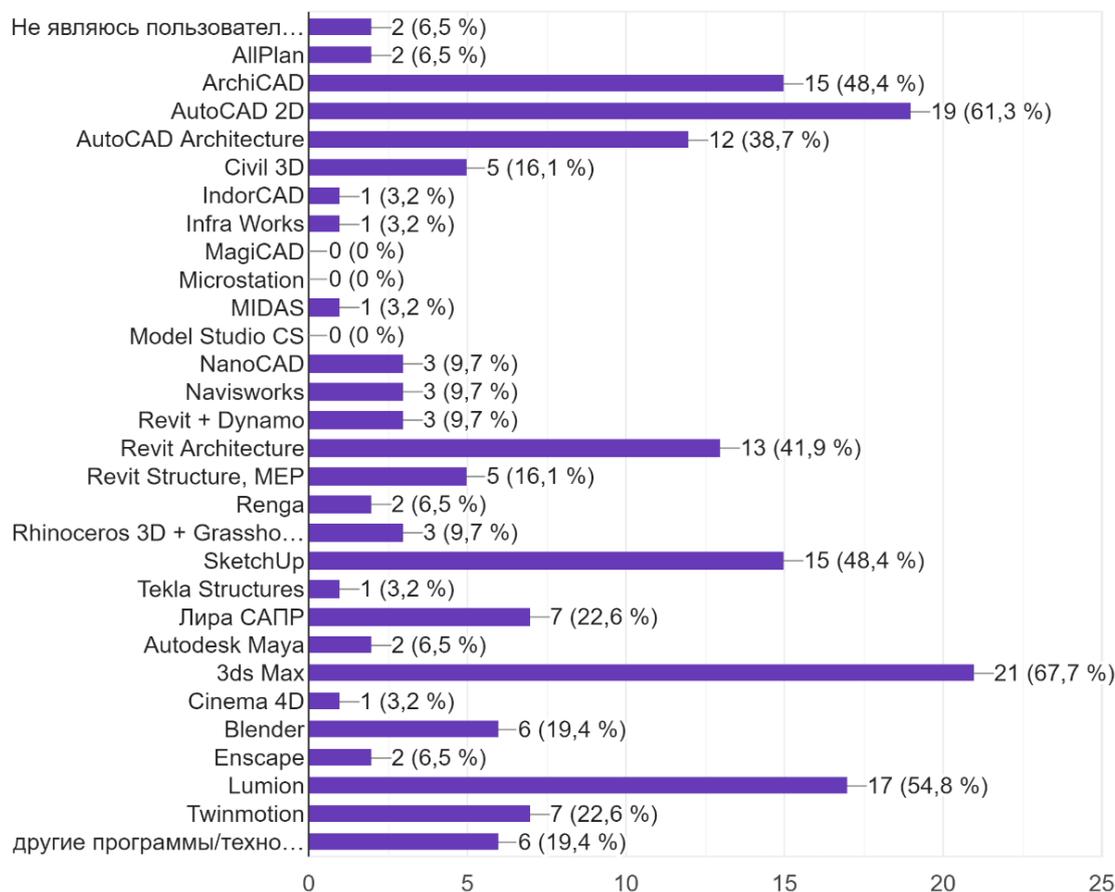


Рисунок Г.1 – Показатель программы из соцопроса по использованию компьютерных архитектурных программ.

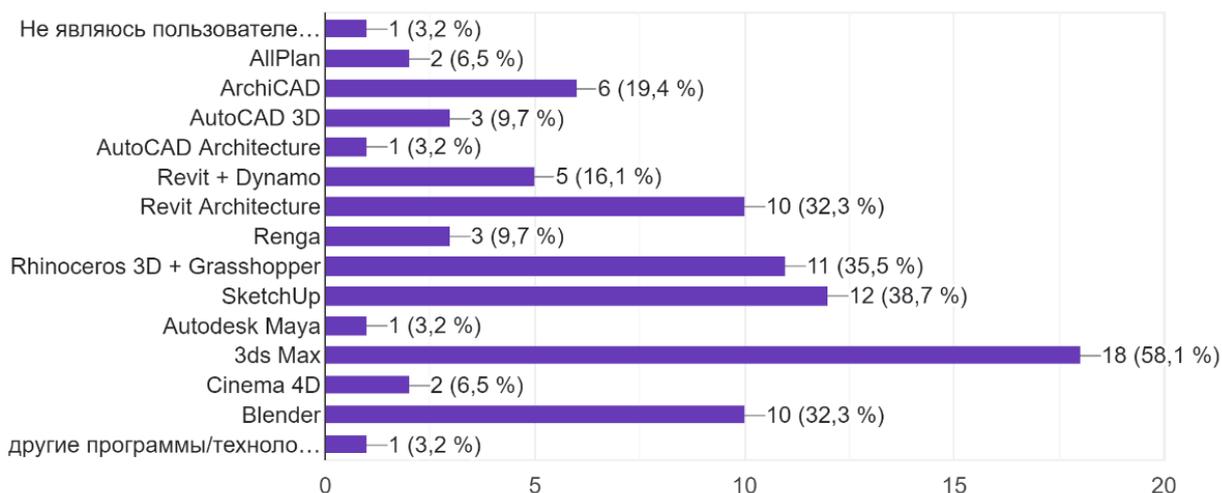


Рисунок Г.2 – Показатель программы из соцопроса по использованию компьютерных программ для создания сложных архитектурных форм

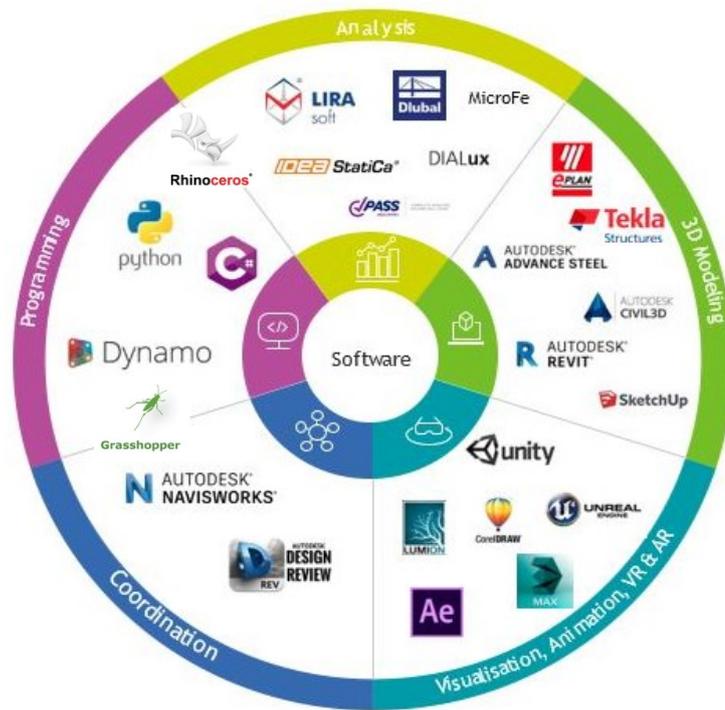


Рисунок Г.3 – Софткультура по архитектуре [286]

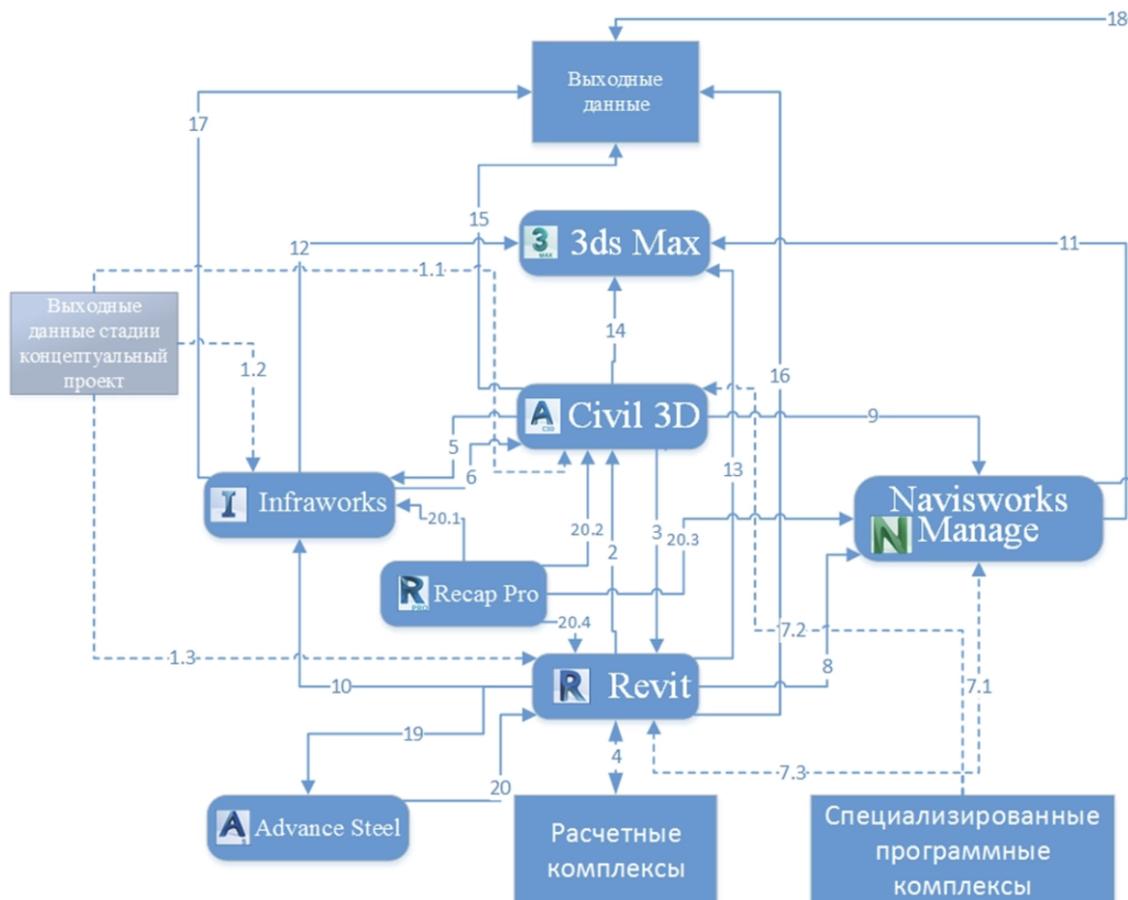


Рисунок Г.4 - Процесс взаимодействия BIM-программы [311]

Таблица Г.1 - Эксперименты с формообразованием в рамках изучения инструментов программы Revit. (таблица составлена автором на основе материалов, сделанных студентами из архитектурного факультета МОК, под руководством автора диссертации) [287-297]

<p>Генеральный план Фасад западный Фасад восточный Разрез 1-1 Разрез 2-2 Фрагмент 1 Фрагмент 2 Визуализация</p>	<p>Генеральный план Южный фасад M1:500 Восточный фасад M1:500 Разрез M1:500 3D визуализация План в сд Углы: Юго-запад и юго-восток M1:500 Угол ЦД M1:500</p>
[287]	[288]
<p>Генеральный фасад M1:1000 Разрез 1-1 M1:1000 Разрез 2-2 M1:1000 3D визуализация Визуализация в сд</p>	<p>План M1:500 Восточный фасад M1:500 Запад. фасад M1:500 3D визуализация Визуализация в сд</p>
[289]	[290]
<p>План M1:500 Разрез 1-1 M1:500 Разрез 2-2 M1:500 3D визуализация Разрез 2-2</p>	<p>Фасад M1:200 Акс. план Вид сверху M1:300 Фрагмент M1:50 Разрез -1 M1:150 3D Разрез M1:50</p>
[291]	[292]

# Продолжение таблицы Г.1

<p>Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Казахская Республика, Министерство Образования и Науки Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Министерство Образования и Науки Республики Казахстан</p> <p>Работа на основе эскиза здания колледжа по теме "Мен Шынар"</p> <p>3D-модель Эlevation Section 3D-модель 3D-модель</p>	<p>Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Министерство Образования и Науки Республики Казахстан</p> <p>Работа на основе эскиза здания колледжа по теме "Мен Шынар"</p> <p>3D-модель Эlevation Section 3D-модель 3D-модель</p>	
<p>[293]</p>	<p>[294]</p>	
<p>Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Министерство Образования и Науки Республики Казахстан</p> <p>Работа на основе эскиза здания в виде розы "КОСЫ"</p> <p>3D-модель Эlevation Section 3D-модель 3D-модель</p>	<p>Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Министерство Образования и Науки Республики Казахстан</p> <p>Работа на основе эскиза здания "Ширекен" в Хуцзю</p> <p>3D-модель Эlevation Section 3D-модель 3D-модель</p>	<p>Министерство Образования и Науки Республики Казахстан Министерство Образования и Науки Республики Казахстан</p> <p>Работа на основе эскиза здания "Экспо - 2017"</p> <p>3D-модель Эlevation Section 3D-модель 3D-модель</p>
<p>[295]</p>	<p>[296]</p>	<p>[297]</p>



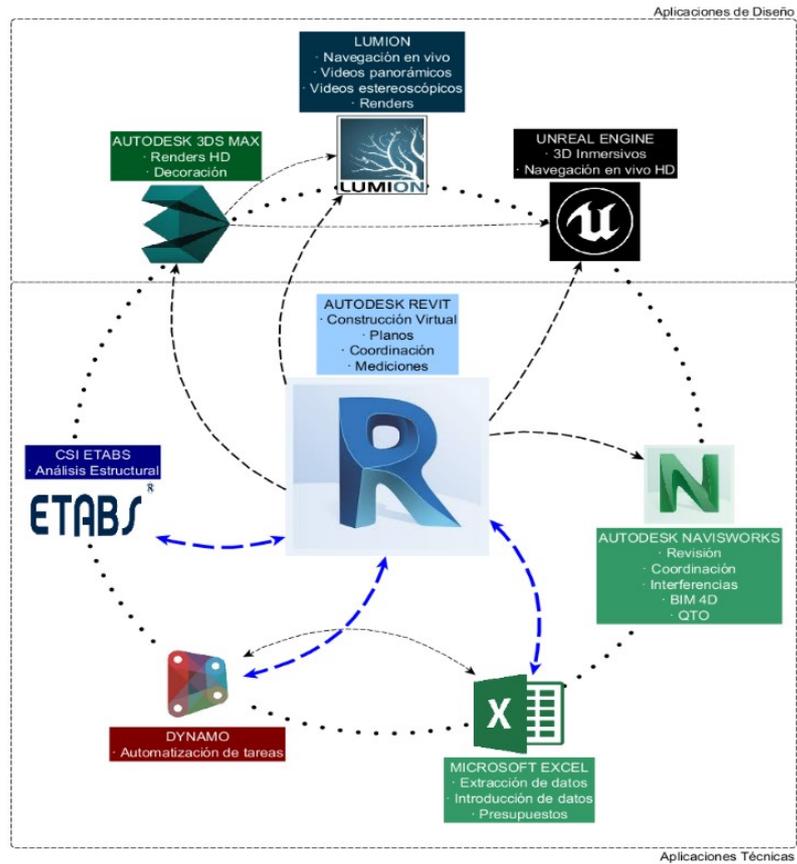


Рисунок Г.6 - Схема взаимодействия между программами [3055]

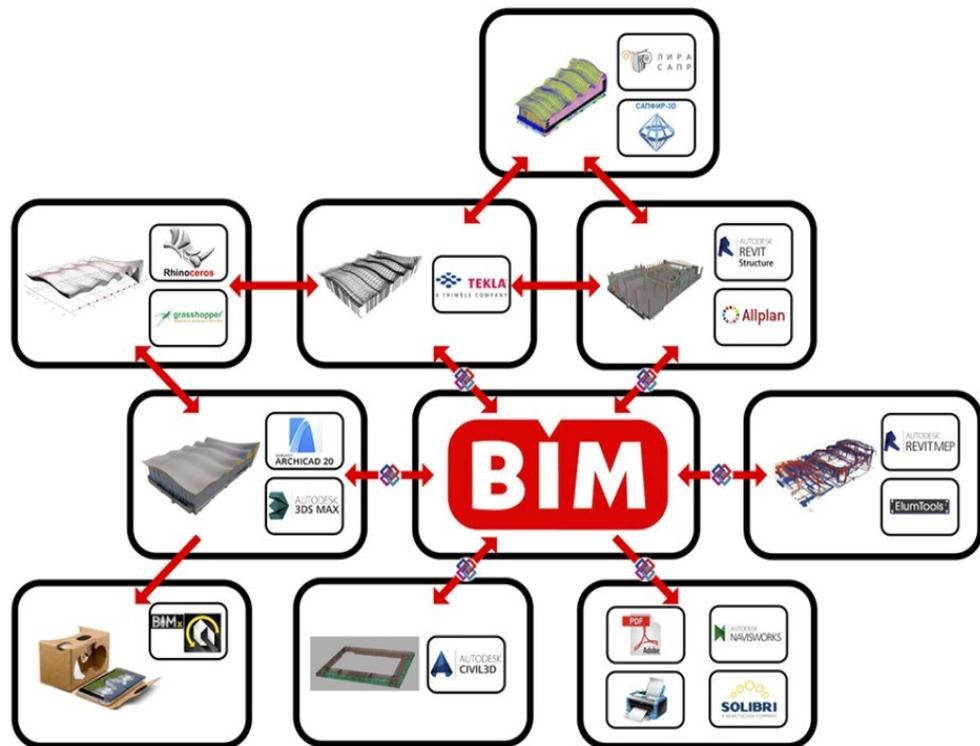


Рисунок Г.7 - Схема проектирования БИМ [306]

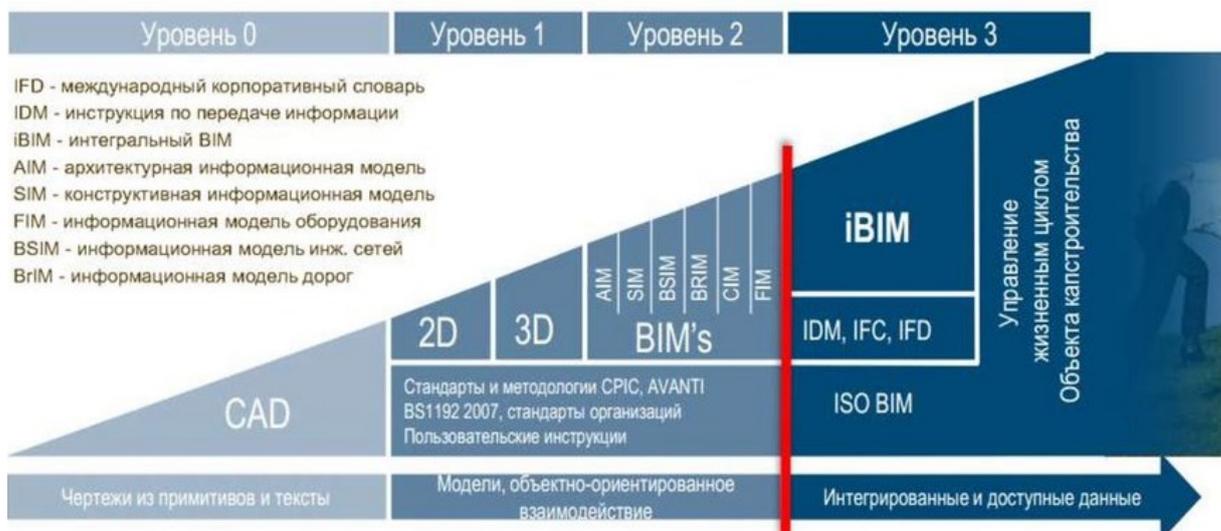


Рисунок Г.8 - Уровни зрелости BIM описывают степень интеграции технологии BIM в проекте [307]

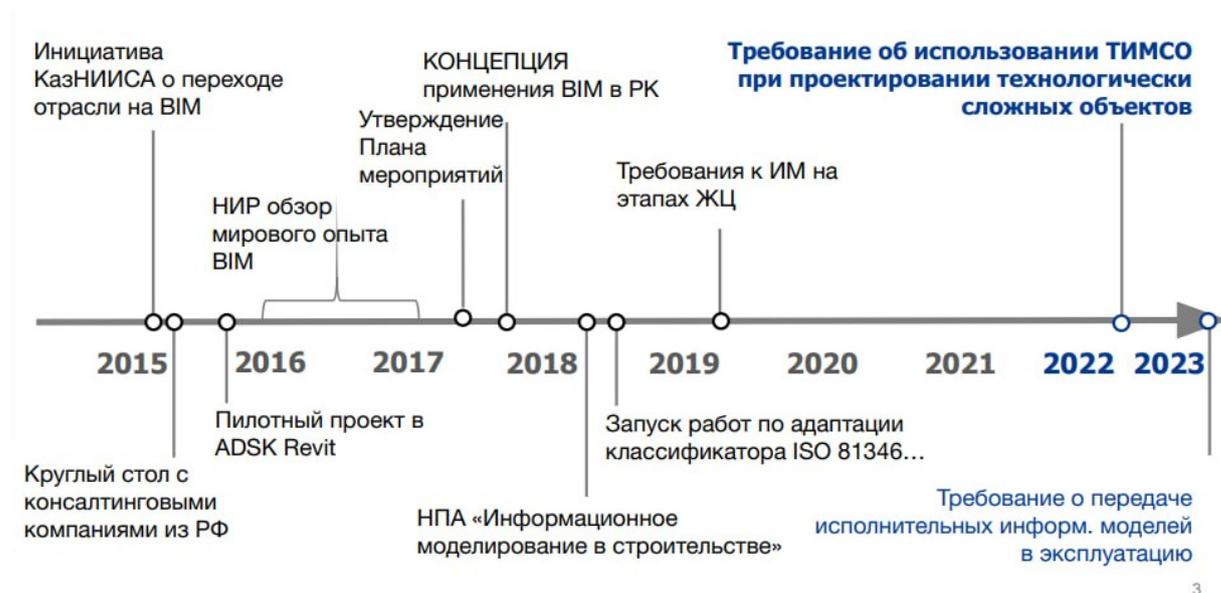


Рисунок Г.9 – Развития BIM-технологии в Казахстане [308]

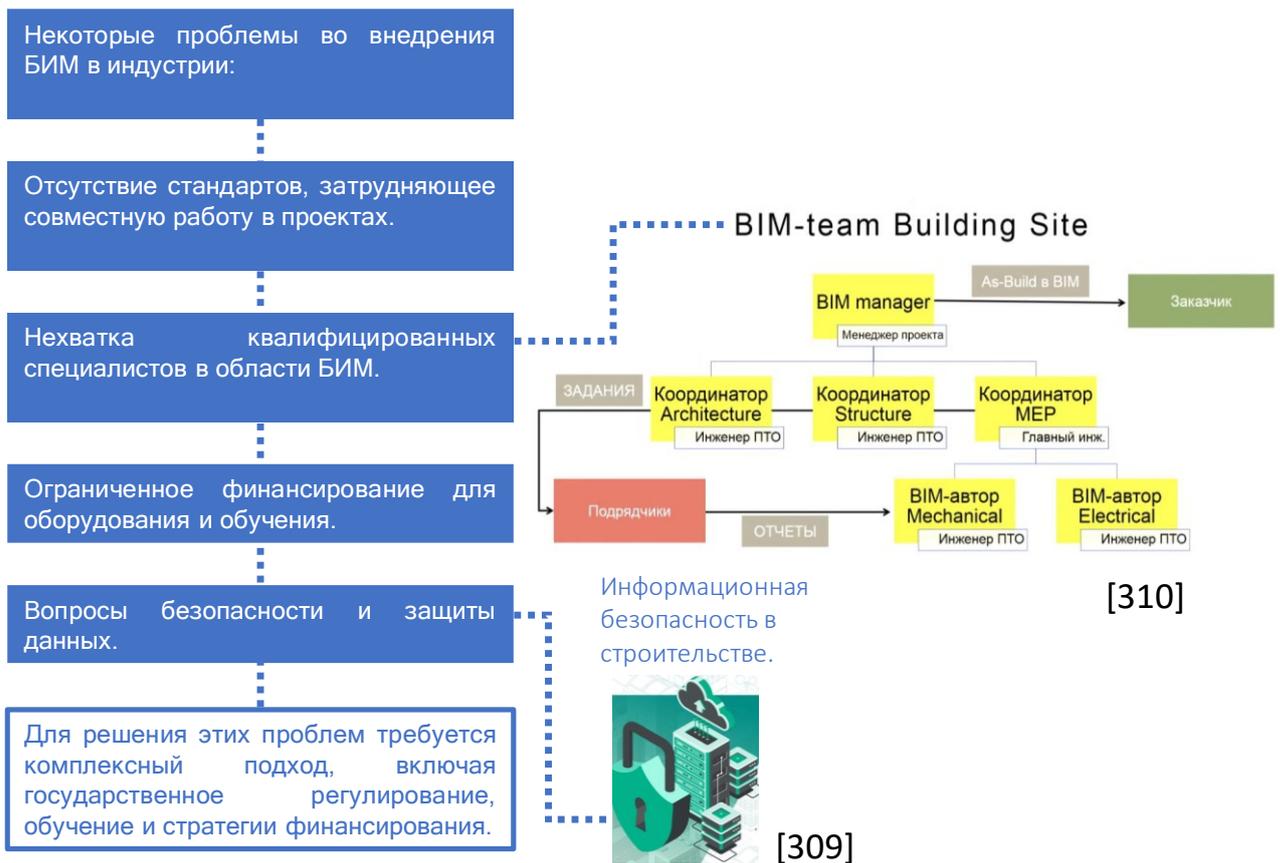
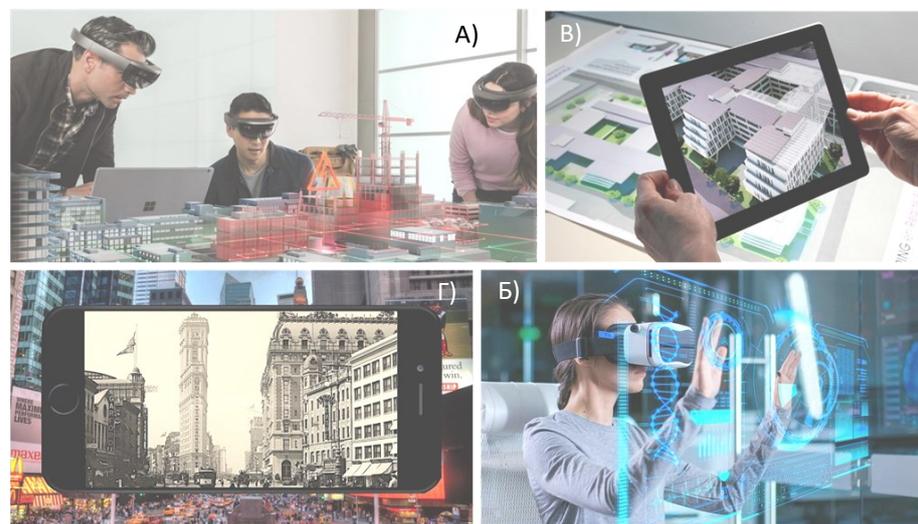


Рисунок Г.10 - Проблемы BIM-технологии [309, 310]



а) VR-технология в архитектуре [312], б) Иммерсивные пространства [313], в) AR-технология в проектировании [314], г) AR-технология в истории архитектуры [315]

Рисунок Г.11 - Технология виртуальной реальности (VR-технология)

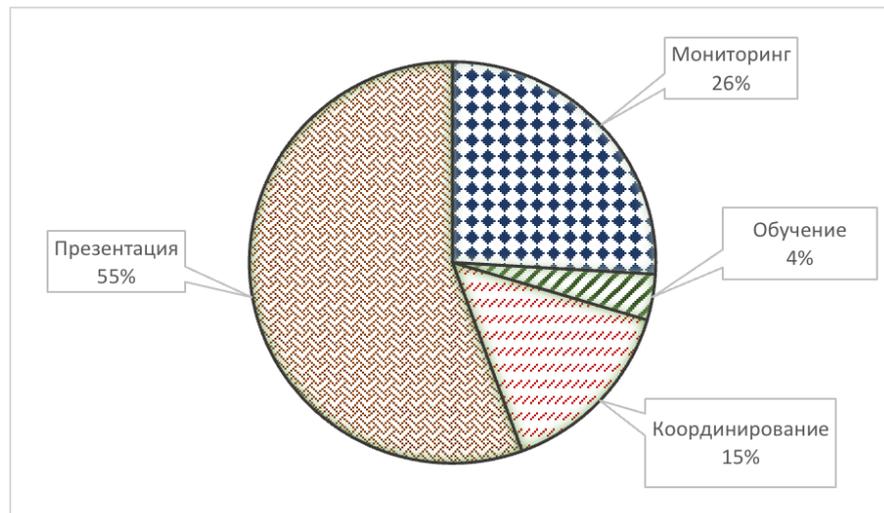


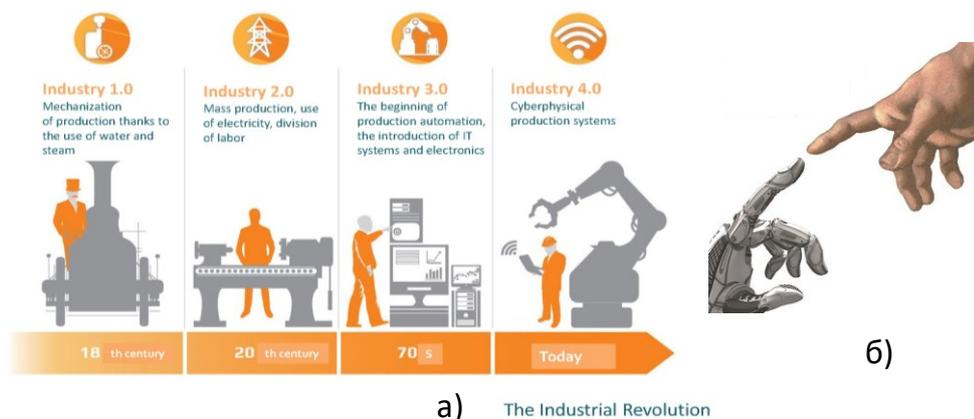
Рисунок Г.12 - Применения VR в процессах проектирования



Рисунок Г.13 - Преимущества недостатки VR в архитектуре

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Перспективы развития цифровой архитектуры в Казахстане



а) Четыре этапа развития промышленных процессов [316], б) Образ «Сотворения Адама» [317]

Рисунок Д.1 - Об Индустрии 4.0 в архитектуре и её возможности.

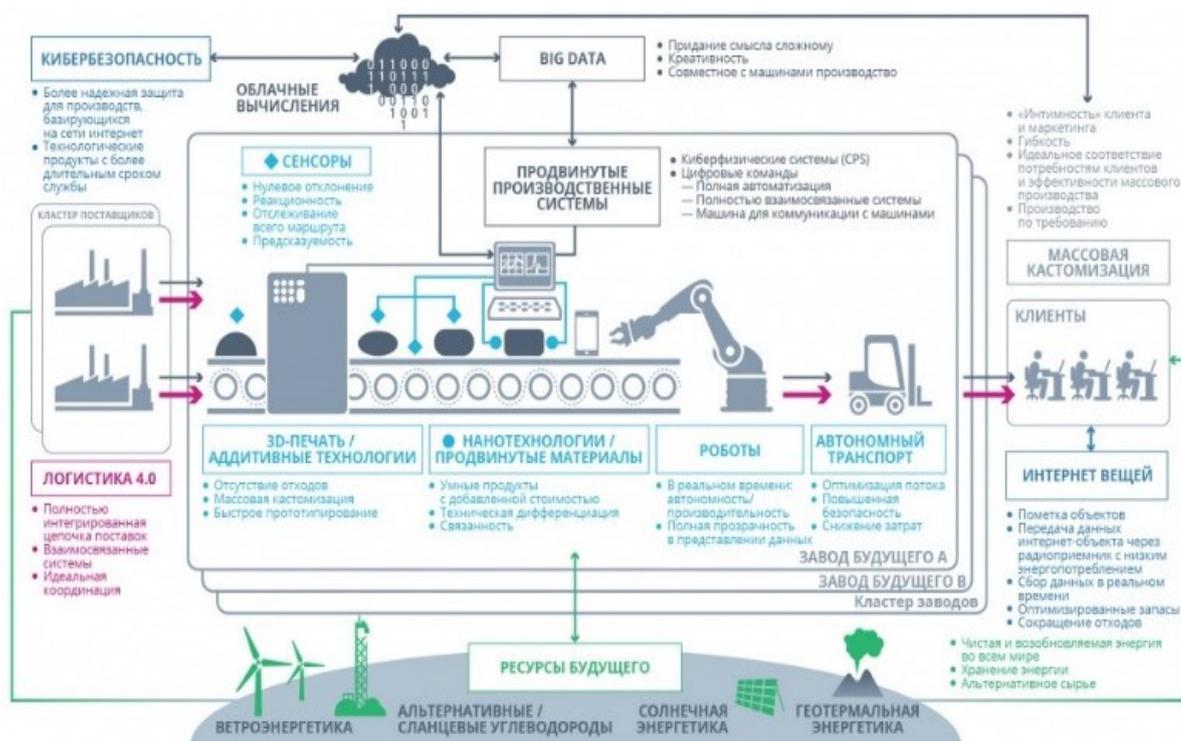
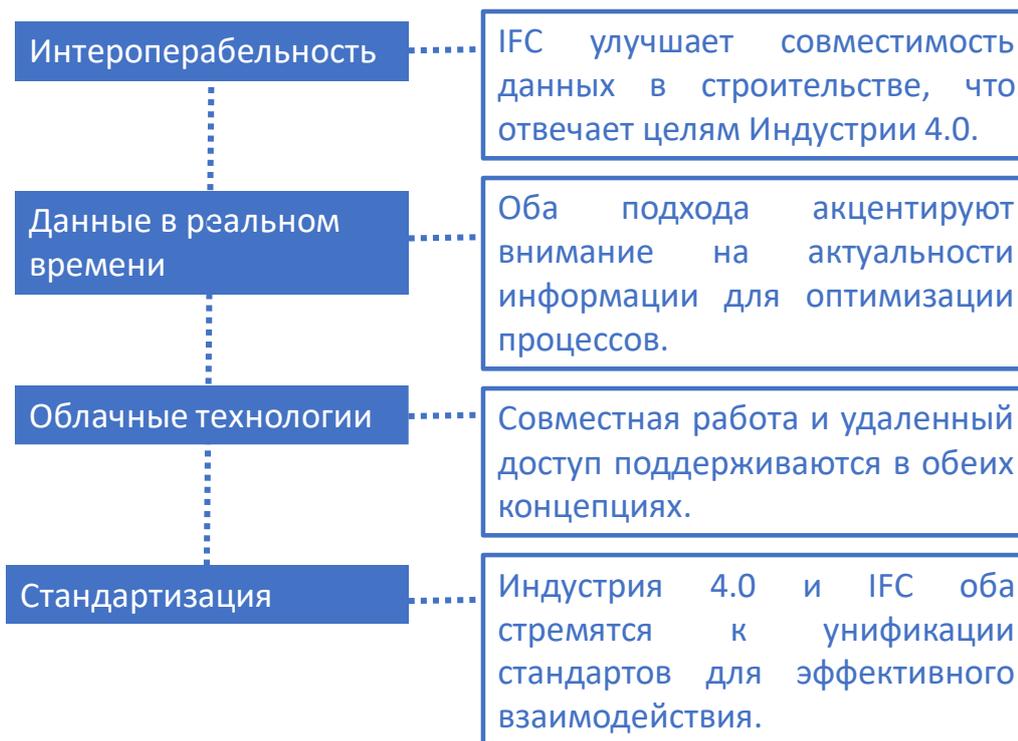


Рисунок Д.2 - Вписание «Индустрии 4.0» в глобальные технологические тренды [318]



Взаимодействие этих систем может способствовать цифровизации и оптимизации в строительной отрасли.

Рисунок Д.3 - IFC (Industry Foundation Classes) и принципы взаимодействия с Индустрией 4.0

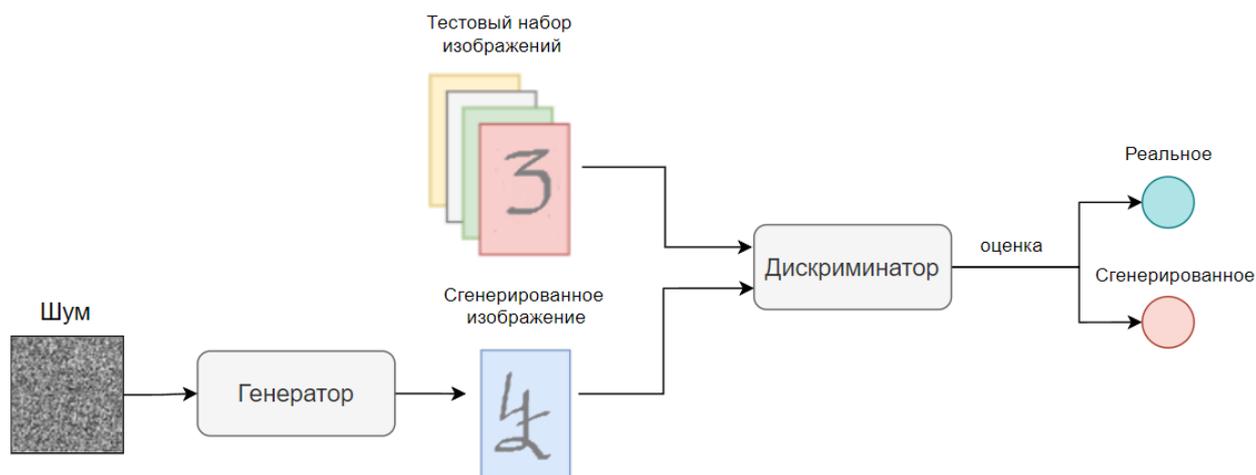
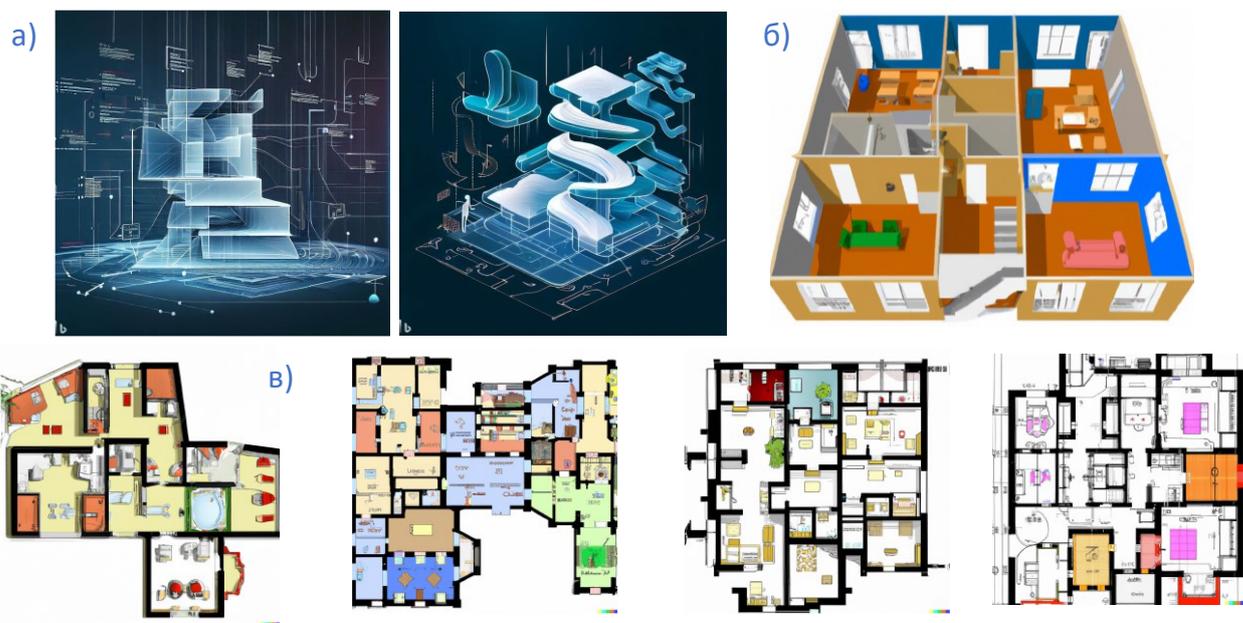
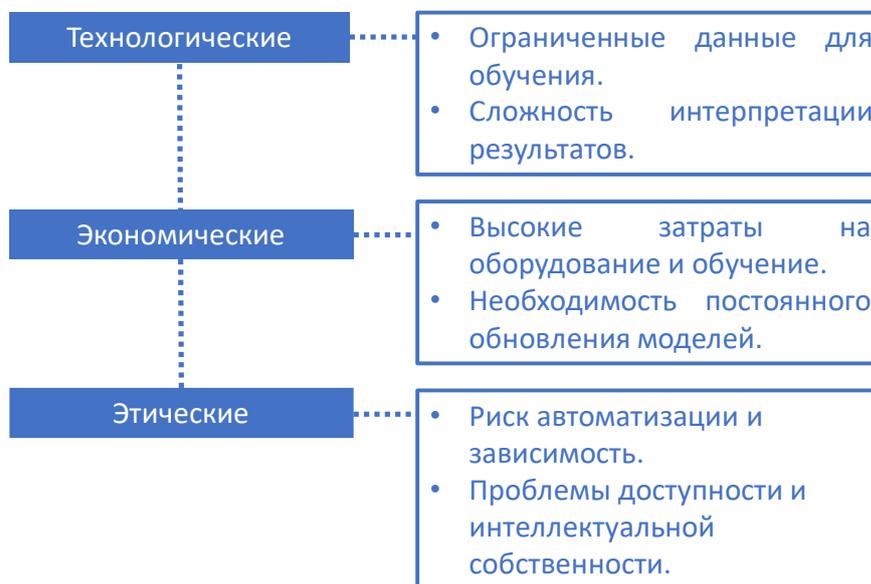


Рисунок Д.4 - Упрощенная схема работы генеративно-сопоставительной сети



а) формообразование, б) планировка в аксонометрии, в) планировки помещения

Рисунок Д.5 - Серия экспериментов создания архитектурной формы и планировки с помощью нейросети



Крупные компании имеют ресурсы для применения нейросетей в архитектуре, в то время как малые предприятия сталкиваются с финансовыми и технологическими ограничениями. Это усиливает технологический разрыв в индустрии.

Рисунок Д.6 - Нейросети в архитектурном проектировании предлагают инновации, однако многие пользователи могут столкнуться с проблемами



Рисунок Д.7 - Развития цифровой культуры в архитектуре

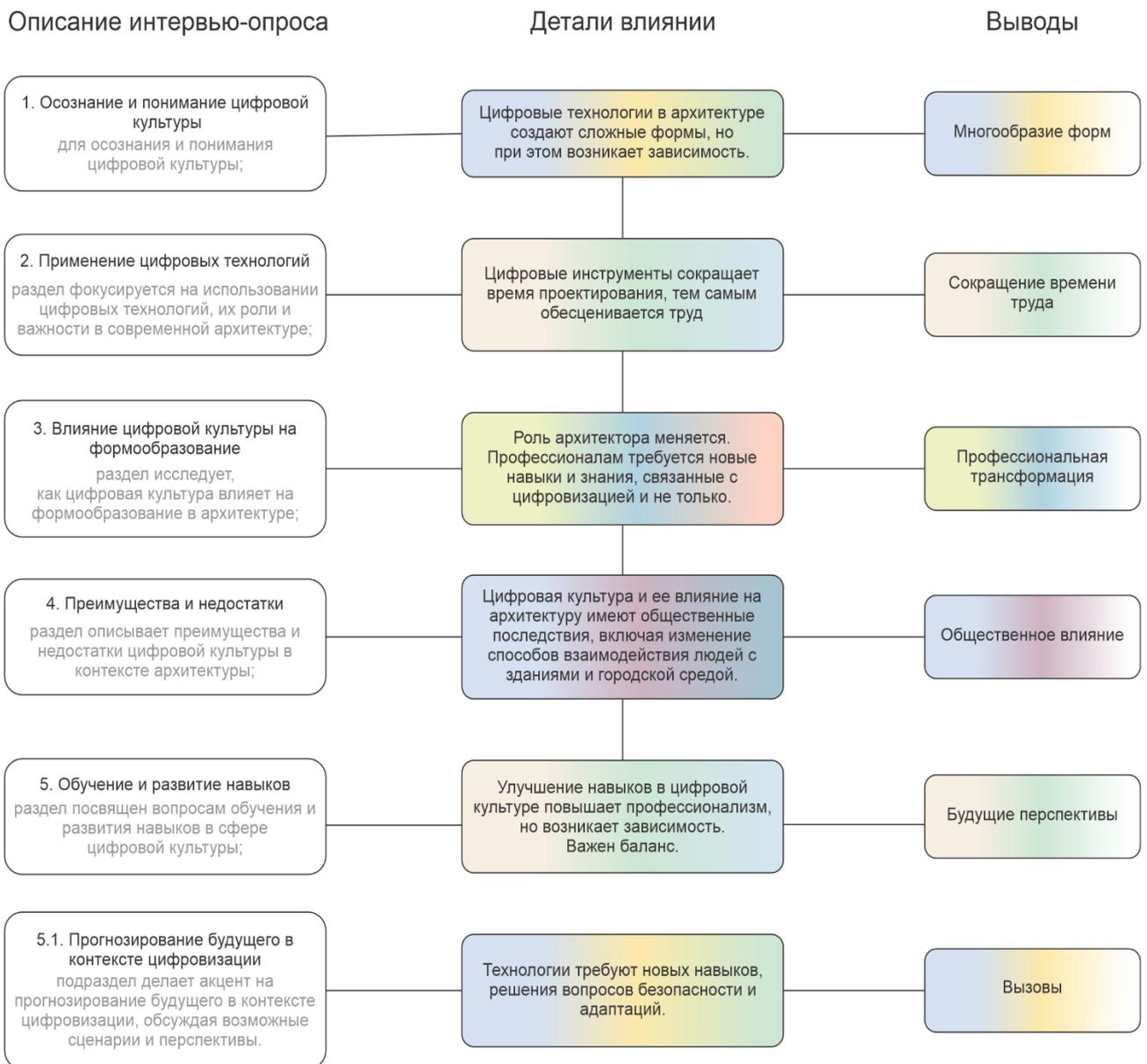


Рисунок Д.8 - "Матрица влияния" интегральный подход в анализе влияния цифровых технологий

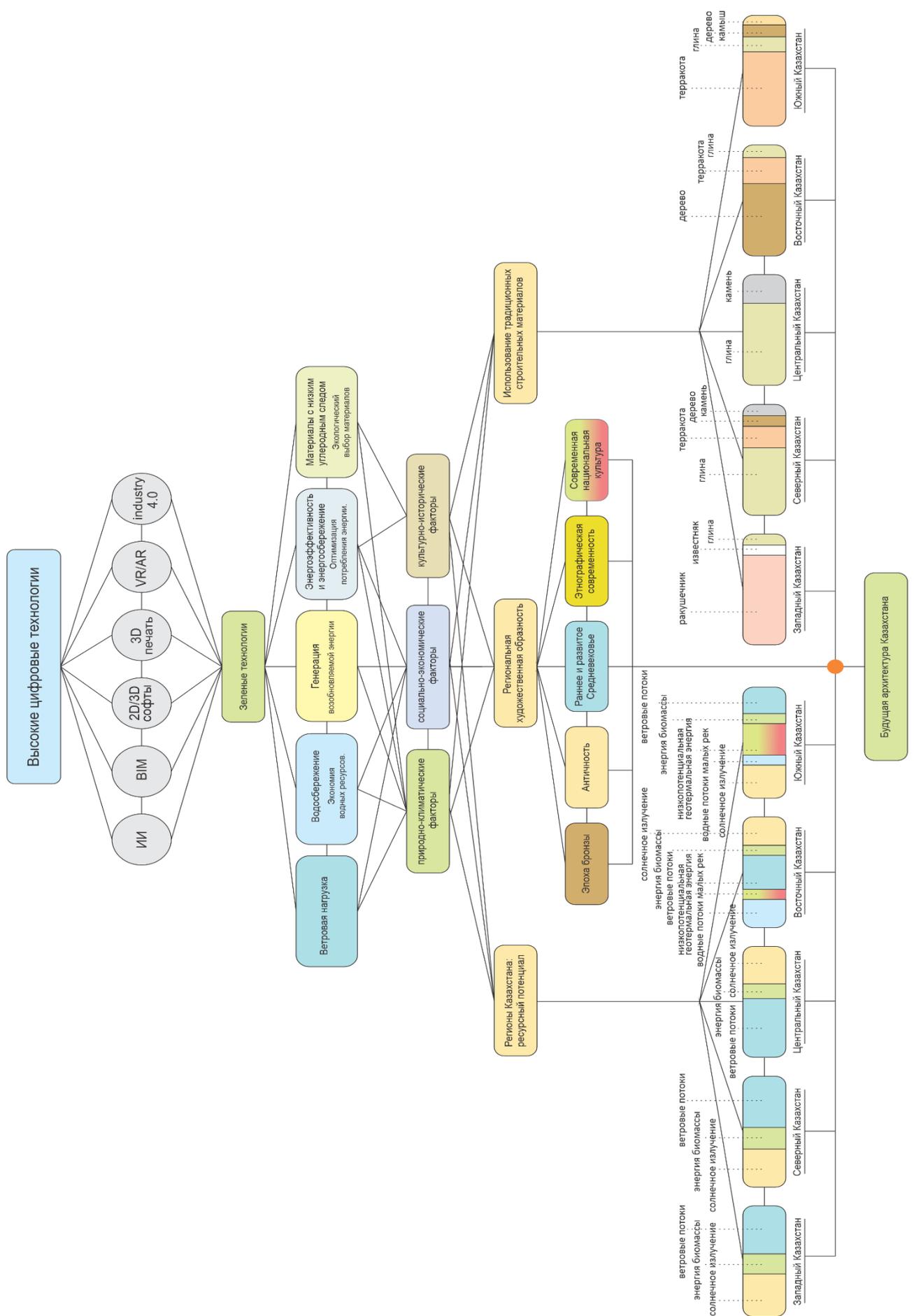


Рисунок Д.9 - Модель «Будущая архитектура Казахстана»