

**Международная образовательная корпорация**

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, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |            |
|--|------------|
| <b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....</b>   | <b>4</b>   |
| <b>ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>   | <b>5</b>   |
| <b>УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>   | <b>6</b>   |
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>   | <b>7</b>   |
| <b>1 ЭВОЛЮЦИЯ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В АРХИТЕКТУРЕ .....</b>  | <b>16</b>  |
| 1.1 История развития цифровой культуры в архитектуре .....   | 16         |
| 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 Цифровое формообразование как важнейший фактор в современном архитектурном проектировании .....          | 41         |
| 2.3 Функциональные возможности цифровой культуры в архитектурном формообразовании на современном этапе ..... | 49         |
| <b>Выводы по второму разделу .....</b>   | <b>54</b>  |
| <b>3 АРХИТЕКТУРА И ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА: ДИАЛЕКТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ .....</b>                                    | <b>55</b>  |
| 3.1 Современные тенденции в архитектурном формообразовании с использованием цифровых технологий .....        | 55         |
| 3.2 Влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование.....   | 67         |
| 3.3 Проблемы архитектурного цифрового формообразования .....   | 73         |
| <b>Выводы по третьему разделу .....</b>  | <b>76</b>  |
| <b>4 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....</b>  | <b>77</b>  |
| 4.1 Инструментарий цифрового проектирования в современной архитектуре .....                                  | 77         |
| 4.2 BIM технология в архитектуре .....   | 84         |
| 4.3 VR- технологии в архитектуре.....  | 90         |
| <b>Выводы по четвертому разделу.....</b>   | <b>100</b> |
| <b>5 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ .....</b>                                    | <b>102</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1 Индустрия 4.0 в архитектуре и её прогностические возможности .....                           | 102        |
| 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>123</b> |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>  | <b>127</b> |
| <b>СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА (РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ) .....</b>                                | <b>137</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>   | <b>138</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>   | <b>142</b> |

## **НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

- 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).

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующим определением

– **Цифровая культура** – возможность использования и дальнейшего развития информационно-коммуникационных технологий для комфортной жизни в цифровой среде, для взаимодействия с обществом и решения цифровых задач в профессиональной деятельности.

– **Цифровизация** - внедрение современных цифровых технологий в различные сферы жизни и производства.

– **Киберфизическая система** – информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности любого вида, включая биологические и рукотворные объекты.

– **Interoperability** – Функциональная совместимость, интерфейсы которых полностью открыты, взаимодействовать и функционировать с другими продуктами или системами без каких-либо ограничений доступа и реализации.

– **Генеративный дизайн** - подход к проектированию и дизайну цифрового или физического продукта, при котором человек делегирует часть процессов компьютерным технологиям и платформам.

– **Цифровая архитектура** - использование информационных технологий для компьютерного моделирования, программирования, визуализаций для созданий виртуальных форм и физических структур.

**Дигитализация** - дословно «оцифровывание» или «цифровизация».

**Моделирование** - исследование объектов по созданию их моделей; построение и изучение моделей реальных существующих объектов, процессов и явлений для того, чтобы в дальнейшем объяснить и понять суть этих явлений.

– **Глобализация** - характерная черта изменения структуры мирового хозяйства, что является совокупностью национальных хозяйств, связанных друг с другом системой международного разделения труда, экономических и политических отношений, обмена товарами и продуктами, информацией, знаниями и культурными ценностями, в результате образуя взаимосвязь.

– **Скриптинг** - написание сценариев на языке программирования.

**Зеленое строительство** - вид строительства и эксплуатации зданий, воздействие которых на окружающую среду минимально.

**Плагин** – дополнение к основной программе для расширения её возможностей.

– **REVIT** – оборот информационных технологий, обзор информационных технологий

– **Энергоэффективная архитектура** - архитектура, в которой технологии уменьшают эксплуатационные расходы архитектурных объектов.

## УСЛОВНЫЕ 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" окружающей среды, 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 [80,120,115].

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 [128].

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 [108].

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 архитектуре.

**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.

**Целью исследования** является исследовать и оценить влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование, изучить современные методы архитектурного проектирования, обусловленные цифровыми технологиями, а также определить перспективы и возможности цифровой архитектуры на примере 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, и разработка комплексных теоретических моделей взаимодействия между архитектурой и цифровой культурой.

– определение мировых тенденций и взаимодействия цифровой культуры в архитектурном формообразовании.

– анализ современных методов архитектурного проектирования, включая компьютерное моделирование, виртуальную реальность и формулирование рекомендаций для архитекторов о том, как использовать цифровые технологии и подходы для создания новых и инновационных форм.

– сформулировать и обосновать выводы о влиянии цифровой культуры на архитектурное формообразование и определить перспективы и вызовы для архитектуры.

– анализ перспектив архитектурного формообразования в контексте стратегии развития цифровой культуры в Казахстане и разработка моделей будущего формообразования в цифровой архитектуре.

**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, таких ученых, как Мануэль Кастельс [102]

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

Лев Манович [113], в "Языке новых медиа", исследовал принципы и формы цифрового культурного производства, а также как технологии трансформируют визуальные медиа.

Ювал Ноа Харари [144] проследил, как технологии могут повлиять на будущее человеческой эволюции, экономику и социальную структуру в своих проницательных работах.

Донна Харауэй [145] в "Манифесте киборга" размышляла о слиянии человека и машины, предоставляя новый взгляд на гендер, идентичность и технологии.

Николас Негропonte [118], выдвинувший идею перехода от атомов к битам, стал двигателем инноваций и исследований в MIT Media Lab.

Пьер Леви [38] рассматривал цифровые технологии как инструменты коллективной интеллектуальной деятельности, прогнозируя новую эру общественного взаимодействия и обучения.

Шерри Тёркль [142] глубоко анализировала, как цифровые технологии влияют на личные и социальные отношения, особенно в контексте эмоциональных связей.

Елькина Е.Е. [87] проникновенно исследовала влияние социальных медиа на поведение молодежи, выявляя новые формы общения и социализации.

Gere Ch [26] 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 [17,16], разработал методологии автоматизированного проектирования, обеспечивая платформу для интеграции цифровых инструментов в архитектурный процесс.

Патрик Шумахер [149], являясь одним из главных теоретиков и практиков, поддерживает и применяет параметрический дизайн, позволяя создавать сложные и адаптивные архитектурные формы с помощью алгоритмов.

Kas Oosterhuis [51,52], исследовал "живую" архитектуру, создавая динамичные здания, которые могут реагировать на окружающую среду с помощью встроенных цифровых систем.

Mark Burry [12], продвигает исследования в области цифровой фабрикации, позволяя архитекторам проектировать здания, которые затем можно быстро и точно воплотить в реальности.

Mario Carlo [14], обсуждает переход от ручного к компьютерному проектированию, анализируя, как цифровые технологии меняют саму суть архитектурного процесса.

Greg Lynn [39,40] применял инструменты компьютерного моделирования для разработки нелинейных и органических форм в архитектуре.

Бернард Каш, внедрил алгоритмический подход к проектированию, позволяя архитекторам создавать сложные структуры на основе математических моделей.

Ахим Менгес [43], разработал методы для интеграции материаловедения в дигитальное проектирование, создавая адаптивные и устойчивые архитектурные решения.

Sina Mostafavi [48], исследует применение искусственного интеллекта в архитектурном проектировании, автоматизируя и оптимизируя процесс создания.

*Вопросы изучения феномена цифровой культуры как фактора социально-культурного роста, в контексте всеобщей предпосылки цифровизации и генерации искусственного интеллекта в архитектуре, рассматривались в трудах авторов: Аверкин А.Н. [66], Алтунян А.О. [68], Бензе М. [71], Браславский П. И. [72], Веснин А.А. [73], Вильковский М. [74], Воличенко О.В. [76], Воронина Т. П. [77], Гаврилов А. А. [78], Галанин Р. [79], Данилов Д.С. [81], Дедовец Р.В. [82], Демидова М.А. [83], Дженкс Ч. [84], Добрицына И.А. [85], Долгова А. [86], Емельянова О.И. [88], Иванов В.Ф. [90], Иванова А.С. [91], Игумнова А.С. [92], Исабаев Г.А. [93], Исходжанова Г.Р. [97], Кавтарадзе С. [98, 99], Калинина Е.Е. [100], Кальницкая Е. [101], Кобзева И.А. [103], Колодий В.В. [104], Ramilo Ru. [55], Кондратьев Е.А. [106], Корсунцев И. Г. [107], Краусс Р. [108], Крылов Д.А. [109], Ломхольт И. [110], Лурье Д. А. [111], Лучкова В.И. [112], Меерович М.Г. [114], Мокшанцева О.А. [116], Надыршин Н.М. [117], Носов Н. А. [119], Орзунова О.Э. [121], Поморов С.Б. [122], Репкин Д. [123], Ресин В. [124], Рочегова Н.А. [125,126,127], Рузавин Г. И. [128], Рябова О.В. [129], Савельева Л.В. [130,131], Садриев А.Ш. [132], Сапрыкина Н.А. [133], Сомов Г.Ю. [134], Степанов А.В. [136], Стерликова А.И. [137], Талапов В.В. [139], Таратута Е. Е. [140], Тахиров Б. Н. [141], Трамбовецкий В. [143], Хуторной С. Н. [146], Черниченко Е.А. [148], Agkathidis Ast. [1], Aiello C. [2], Andadari S. Tri [3], Angulo A. [4], Ascott R. [7], Baitenov E. [9], Bhooshan S. [11], Chaillou S. [15], Daniela B. [19], Duffy Alex H.B. [20], Efanova T.A. [21], Engelbart D. [22], Esaulov G.V. [23], Feist S.T. [24], Барчугова Е.В. [70], Gero J.S. [27], Garcia M. [25], Hansmeyer M. [28], Grisaleña Ar. Jon [31], Hauwa O.Y. [29], Kaiyang W. [32], Knish V.I. [33], Kolarevic B. [34], Krawczyk R. J. [36], Lee J. [37], Leach Ne. [50], Maver T. [42], Malakhov S.A. [41], Carlos L. Marcos. [13], Werner Liss C. [64] Terzidis Ko. [35], Mikhailov S.M. [44], Mokeeva O.D. [18], Morel P. [47], Moussavi F. [49], Iwamoto Li. [30], Milgram P. [53], Raina A. [54], Roussou M. [58,57], Stsesel S. [61], Tanaka T. [62], Uhrík M. [63], Whyte J. [65].*

*Для анализа текущего состояния и перспектив цифровых технологий в Казахстане* информационные порталы в Интернете предоставляют наиболее объективную картину [147,80].

Исходя из изученного материала по теме диссертации - с развитием цифровизации в архитектуре, и их влияние на процесс формообразования было 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** заключается в том, что настоящее исследование позволяет рассматривать архитектурное формообразование в широком контексте цифровой культуры и технологий. В нем уделено значительное место теоретическим аспектам влияния цифровой культуры на архитектуру, в то время как многие исследования сосредоточены на технологических аспектах цифрового формообразования. Другими словами, в данном исследовании доминируют аспекты влияния цифровой культуры на процессы формообразования, и рассматривается как это отражается в современной архитектуре. Также, исследование может внести вклад в теорию цифровой архитектуры, стимулировать разработку новых методологий, новых путей понимания и применения цифровой культуры в архитектурном формообразовании, тем самым продвигая понимание того, как эти теоретические концепции могут быть реализованы на практике.

**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:

- анализ исторических и современных примеров архитектуры, где видно влияние цифровой культуры;
- рассмотрение теорий об эволюции архитектурного формообразования в контексте цифровой культуры;
- изучение и анализ существующих теорий о влиянии цифровых технологий на архитектурное формообразование;
- использование количественного и качественного анализа данных об использовании цифровых технологий в архитектуре;
- анализ теорий о цифровой культуре и ее влиянии на общество и архитектуру;
- проведение 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 глубокое понимание вопроса. Затем применяется междисциплинарный подход, который учитывает методологию из различных областей знаний, включая информационные и коммуникационные технологии, архитектуру и алгоритмическое проектирование. Важной частью исследования является культурно-философский анализ, который 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, опирающейся на традиционные подходы и методы и стимулирует создание новых архитектурных форм и структур, которые отражают цифровые технологии и ценности информационного общества. Это может быть спрогнозировано через детальное изучение современных архитектурных тенденций, а также через разработку новых теоретических моделей и методов архитектурного формообразования, основанных на принципах цифровой культуры.

**Теоретическая значимость** проведенного исследования состоит в обобщении знаний, теоретическом обзоре, анализе общенаучных методов в рамках логического и ретроспективного исследования по развитию трансформируемой технологической модернизации, в цифровом архитектурном формообразовании, которые могут быть использованы в ходе дальнейшего изучения этой проблемы применительно к данной области.

**Практическая значимость диссертации** может отразиться в следующих аспектах: в развитии новых методов и подходов в области архитектурного формообразования, которые учитывают влияние цифровой культуры; в эффективном использовании цифровых технологий, что в свою очередь может привести к улучшению качества архитектурного проектирования; результаты исследования могут помочь теоретически осмыслить и интерпретировать современные тенденции в архитектуре, связанные с цифровой культурой; может помочь преподавателям и обучающимся глубже понимать влияние цифровой культуры на архитектуру и вооружить их новыми подходами и техниками исполнения в этой области; способствовать более глубокому пониманию будущими исследователями социальных и культурных процессов, взаимосвязи между цифровой культурой и архитектурным формообразованием происходящих в наше время, и привести к созданию архитектуры, которая в

большей мере будет отвечать нуждам и ценностям современного информационного общества.

### **Структура и объем работы.**

Научные результаты и положения диссертации были обсуждены на заседании методологического семинара факультета архитектуры МОК/КазГАСА. Основные положения, результаты и выводы диссертационного исследования были изложены на международных научно-практических конференциях.

Результаты диссертационного исследования были опубликованы в 7 (семи) научных трудах автора, отражающих основные выводы исследования. В том числе:

- 1 статья в сборниках научных трудов по материалам международных и республиканских конференций, проводимых на территории Республики Казахстан;
- 1 статья в журнале, входящем в базу данных «Web of Science».
- 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК;
- 2 статьи в журнале, входящем в базу данных «Scopus», имеющем ненулевой импакт-фактор.

### **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 цифрового архитектурного формообразования в контексте стратегии развития цифровой культуры.

**Структура диссертации** подчинена логике раскрытия темы, определенным в ней цели и задачам исследования. Работа состоит из введения, пяти разделов, включающих 14 подразделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объем диссертации: 119 страниц машинописного текста на русском языке. Библиография содержит 150 источников. Диссертация иллюстрирована 16 рисунками, 5 таблицами.

**Ключевые слова:** цифровая культура, цифровая архитектура, цифровизация, дигитальная архитектура, цифровые технологии, инновация, моделирование, параметризм, методы исследования, комплексный подход, архитектура Казахстана.

### **По теме диссертации опубликовано 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 DOI:10.13189/cea.2022.100731

2. Nabiev A.S. Architectural images and symbols of the regional identity of modern architecture in Kazakhstan // Innovaciencia, Volume 10, Issue 1, December 2022. -P.1-14. ISSN 2346-075X (Web of Science). DOI: <https://doi.org/10.15649/2346075X.2967>

3. Nabiev A.S., Nurkusheva L.T., Suleimenova K.K., Sadvokasova G.K., Imanbaeva Z.A. 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

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» [26].

Понятие "цифровая культура" стало популярным в конце 20 — начале 21 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 [77]. 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. 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 [26,113,104].

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 этом в рамках

архитектурного формообразования, идеи социолога Кастельса помогают осмыслить влияние цифровых технологий на проектирование [102].

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. [87].

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 [79].

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 о 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. 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 [79].

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, первая известная механическая Солнечная система, планетарий и астрономические часы. Механизм представляет собой календарь, а также астрономическое, метеорологическое, образовательное и картографическое устройство [41].

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 с возведением жилищ и первоначальных форм строительства. Примитивные инструменты, такие как веревочные канаты, камни, рубила, ножи и прототипы топоров, использовались для создания жилищ и прочих строений.

С развитием градостроительства и зодчества в догосударственный период, проявились элементы градостроительства культовых ансамблей и святилищ. Такой период можно рассматривать как начало проектирования архитектуры. Среди специалистов до сих пор нет единого мнения о том, когда зодчие начали использовать чертежи. Большинство специалистов полагает, что зодчие Древнего Египта, Ассирии и античной Греции, возможно, обходились без использования чертежей и вместо этого создавали объемные модели. Такая точка зрения обосновывается тем, что до сих пор не были найдены сохранившиеся примеры чертежных изображений архитектуры из этого периода [95]. Однако, изучение современных чертежей планов некоторых подземных захоронений Древнего Египта, а также планов огромных храмовых комплексов в Египте и Ассирии, вызывает сомнение в этой теории. Одним из таких примеров служит чертежная схема подземной части захоронения фараона Шафра. Важную роль в эволюции чертежей в архитектуре играли архитектурные рисунки - изображения зданий, ландшафтов, орнаментов и деталей окружающей природы и предметной среды. Эти виды изобразительной документации архитектора занимают важное место в зодческом искусстве Древнего Рима.

Развитую культуру зодчества и строительного мастерства в Древнем Риме документируют различные литературные источники, среди которых наиболее известными являются работы Витрувия. В этих текстах упоминаются сложные наборы чертежей и огромные модели, создававшиеся специалистами по чертежам и инструкциям зодчих. Следовательно, можно предположить, что на всех этапах своей деятельности зодчий полагался на использование "чертежей", подготавливая их на основе обобщенных графических схем, которые сегодня мы называем "эскизами". Значительную роль в этом процессе играли рисунки зданий, ландшафтов, орнаментальных фрагментов и деталей окружающей природной и предметной среды. В наше время такие изображения известны как "архитектурные рисунки". Эти три разновидности изобразительной документации - чертеж, эскиз и архитектурный рисунок - сейчас считаются видами архитектурной графики [138].

Инструменты и техники, которые использовались для создания архитектурных чертежей и эскизов, также прошли значительные изменения. С древних времен, архитекторы использовали доступные им инструменты и технологии для передачи идей и знаний. В древние времена, зодчие Древней Греции, например, использовали простые инструменты, такие как циркули, не имевшие жесткого соединительного шарнира. Вместе с тем, римские архитекторы уже использовали более сложные инструменты, такие как различные циркули, линейки, угольники, мерные шнуры (примитивные рулетки) и наборы чертежных перьев разных размеров и заточки. Их чертежи и эскизы создавались на пергаменте или, в особых случаях, на тонкой коже. 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.

Искусство академической архитектурной графики достигло таких высот, что многие мастера стали работать в этом жанре, рассматривая его как разновидность художественной графики. В этом контексте возникла и развилась архитектурная фантазия, которая находила свое воплощение в произведениях таких мастеров, как Филиппо Брунеллески, Леона Баттиста Альберти, Бернхард Фишер и Джованни Баттиста Пиранези [96].

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 [112].

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 [138]. Перспективное изображение города Пскова 1518 года и чертеж сторожевой башни и моста 17 века. В России использовались чертежи, где на одной плоскости были совмещены различные виды изображений. Например, известен чертеж сторожевой башни и моста, где фасад башни совмещен с планом моста, и это относится к 17 веку. Термин "архитектурная графика" возник в конце 18 - начале 19 веков. Он тесно связан с академическими архитектурными школами, где чертежи, эскизы и рисунки студентов-архитекторов стали обобщенно называться "архитектурной графикой", в отличие от графических работ студентов-художников, скульпторов и прикладных художников. В это время в академических школах начали развиваться специальные образовательные программы для студентов-архитекторов, отличные от программ, предназначенных для инженеров, фортификаторов, художников и прикладных художников [96]. 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. Более того, в середине

XVIII века русские архитекторы М. Земцев и Ф. Аргунов уже включали в свои чертежи фасады, планы и общие виды, представляя более полное и детализированное представление о предлагаемых строениях.

Влияние на характер проектной графики оказывала также архитектурная школа. С середины XVI века появилась необходимость систематической подготовки архитекторов-проектировщиков, что требовало развития методики чертежной подготовки студентов-архитекторов. В Европе возникло множество академий архитектуры и искусства, где разрабатывались и внедрялись специфические техники черчения, такие как тушевая отмывка, линейный и штриховый рисунок пером и карандашом. В 1795 году была опубликована первая книга по начертательной геометрии во Франции. С этого времени характер проектных чертежей менялся в соответствии с требованиями архитектурной практики и развитием техник черчения. Архитектурные и инженерные чертежи продолжали совершенствоваться до начала XIX века. Особую роль в этом сыграл известный математик и военный инженер Гаспар Монж, который разработал теорию ортогональных проекций.

С течением времени совершенствовались чертежные инструменты и техники исполнения архитектурных чертежей и рисунков. В настоящее время современная архитектурная графика использует такие инструменты, как рапидографы, фломастеры, аэрографы, а также компьютерную графику. Однако необходимо помнить, что архитектурный чертеж должен обладать двумя основными качествами: технической грамотностью и архитектурно-художественной выразительностью [95].

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 20 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 [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 [92].

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 20-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.

Механический 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. Сложность вычислений была ориентирована на десятичную систему счисления. В XVII веке были созданы первые арифмометры разных конструкций, а затем появились механические устройства, работающие по заданной программе. Электронный этап основан на регистрации состояний элементов конструкции. Здесь использовалась двоичная система, основанная на принципе включено/выключено. Этот этап включает пять поколений ЭВМ, которые основаны на различных элементах:

- Первое поколение (1945-1955 гг.) - работа на электровакуумных лампах;
- Второе поколение (1955-1965 гг.) - использование транзисторов;
- Третье поколение (1965-1970 гг.) - разработка машин на основе микросхем, что привело к программной совместимости и созданию семейств машин с единой архитектурой.
- Четвёртое поколение (с 1970 г.) - работа на интегральных схемах, что увеличило скорость работы, уменьшило габариты, энергоёмкость и стоимость ЭВМ. Также появились персональные ЭВМ и многопроцессорные комплексы;
- Пятое поколение - основано на больших интегральных схемах и использует магнитные, лазерные и голографические принципы различения состояний. Это поколение ориентировано на логическое программирование и обслуживание экспертных систем. Эти этапы развития вычислительной техники позволяют нам лучше понять, как современные цифровые технологии в архитектуре стали возможными и как они продолжают развиваться [92]. Таким образом, архитектура всегда была отражением культуры и цивилизации. В

цивилизации древнего Египта, Рима и средневековых строений отражены образ жизни, верования и идеалы этих времен. Современная цифровая архитектура продолжает эту традицию, отражая нашу эпоху со всем ее стремлением к технологическому прогрессу, устойчивости и глобализации.

Подытожив данный раздел, можно сказать, что, цифровая культура в архитектуре имеет прямые отсылки к истории проектированию и строительству, 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. Одним из самых из ключевых уроков, полученных от древних цивилизаций Египта и Рима, заключается в ценности математики и геометрии, лежащее в основе цифровизации, развивалось уже в работах Пифагора (VI век до н.э.) и затем превратилось в пифагорейско-платоновскую и эвклидову геометрию, приводя к интенсивному развитию компьютерного проектирования. На основе ретроспективных теоретических исследований, анализ и систематизацию опыта, мы можем сформировать представление об эволюции архитектурного проектирования и предпосылках возникновения компьютерной архитектуры. Развитие компьютерной архитектуры на основе неевклидовой геометрии характеризуется формированием новых образов объектов, отрицанием симметрии и четких фрагментов, а также появлением волнообразных и складчатых структур.

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.

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

От рисунков, чертежей к цифровизации — это эволюция методов, повлиявших на архитектурное формообразование. 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 [85].

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 20-го века были созданы первые электронные цифровые компьютеры, что стало отправной точкой для развития цифровых программ [116].

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. В начале 21-го века, с появлением векторных программ, таких как AutoCAD, 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) и BIM (Building Information Modeling), привел к тому, что архитекторы смогли воспроизводить и визуализировать более сложные и инновационные конструкции [92].

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.

С развитием компьютерных технологий в середине и конце 20-го века, 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.

С теоретической точки зрения, нелинейность и её феномены были предметом изучения многих исследователей. Также с 1960-х годов начались исследования в области использования Компьютерно-Ассистированного 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.

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. Это является фундаментальным свойством цифровой архитектуры, которое находит свое воплощение в различных стилях и направлениях, таких как параметрическая архитектура, конструктивизм, блотектура и др. Последний важный этап в развитии цифровых технологий в архитектуре - переход к использованию сложных 3D-моделей. Программы, такие как SketchUp, Revit и Rhino, 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 четвертого 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 Coop 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 параметризм, 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 [122].

Ключевым аспектом цифровой архитектуры является ее способность трансформации и влияния. Цифровая технология интегрировалась в архитектуру, принося в неё новые подходы и возможности. Этот процесс нелинейной трансформации и адаптации, является классическим явлением в цифровой архитектуре.

С появлением компьютерного проектирования в середине 20-го 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 [106].

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 [52].

*Ключевые понятия, иллюстрирующие влияние цифровых технологий на стили и формы в архитектуре. Деконструктивизм и параметрический дизайн.* Эти два стиля, которые возникли в конце 20-го и начале 21-го 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 [91]. 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 [8]. 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.

С одной стороны, цифровые технологии способствуют глобализации в архитектуре, поскольку облегчают международное сотрудничество и обмен идеями. С другой стороны, они также могут помочь учить людей ознакомиться и изучать культурные ценности других народов.

Цифровизация значительно изменила взаимодействие людей с архитектурным пространством, где вытекает несколько ключевых аспектов этого влияния. Виртуальная и дополненная реальность - эти технологии позволяют людям взаимодействовать с архитектурой на новом уровне. С их помощью можно исследовать здания и пространства, которые физически недоступны или еще не существуют. Виртуальные туры по зданиям, городам или историческим местам становятся все более популярными. Дополненная реальность позволяет добавить цифровые элементы в реальное пространство, обогащая восприятие и взаимодействие с архитектурой [88].

Цифровые платформы и социальные медиа облегчают общение и участие в обмен идеями и мнениями о архитектуре. Они позволяют людям участвовать в обсуждениях о проектах, даже если они находятся на большом расстоянии от места строительства. Это помогает создавать более включающую архитектуру, которая учитывает потребности и предпочтения различных групп населения.

Смарт-здания и смарт-города используют цифровые технологии, так называемые "Смарт-технологии" для автоматизации многих процессов и управления инфраструктурой. Это может менять взаимодействие людей с архитектурным пространством, делая его более удобным, эффективным и устойчивым.

Цифровое искусство и инсталляции, которые используют свет, звук, движение и другие цифровые элементы, могут менять восприятие и взаимодействие с архитектурным пространством. Это может создавать новые формы взаимодействия и погружения в атмосферу, а также обогащать культурные и социальные опыты, позволяя делать архитектурные пространства более интерактивными. С помощью сенсоров, мобильных приложений и других технических устройств [116].

Цифровая культура в архитектуре представляет собой область, полную возможностей и вызовов, которые будут определять ее развитие в ближайшие годы. Перспективы: Расширенное использование AI и машинного обучения. Искусственный интеллект и машинное обучение могут быть использованы для автоматизации и оптимизации процессов проектирования и производства. Это может помочь в создании более эффективных, устойчивых и инновационных зданий, таких как моделирование информации о здании (BIM), могут использоваться для оптимизации энергоэффективности зданий, начиная с этапа проектирования, 3D-печать, можно повысить эффективность использования материалов и снизить отходы в строительстве, что способствует устойчивому развитию, могут использоваться для документации и сохранения исторических зданий и мест, которые могут быть под угрозой разрушения. В этом заключается

больше включенности и участия. Цифровые платформы могут облегчить участие широкой публики в процессе проектирования, превращая его в более демократический и инклюзивный процесс. Поскольку мир технологии уже может функционировать в создании более устойчивых зданий и экологической эффективностью, используя моделирование для оптимизации энергоэффективности и ресурсосбережения зданий. Однако, обратной стороной являются вызовы в виде проблемы конфиденциальности и безопасности данных. Ведь с ростом использования цифровых технологий в архитектуре (смарт-здания и города) могут возникать проблемы зависимости, технические срабатывания сбои во вред, вплоть до защиты данных и конфиденциальности [116].

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. По сложности и стоимости 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 [135].

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 [135].

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.

*Исходя из исследования раздела 1.1 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. - Пифагорейско-платоновская геометрия развивает эти идеи далее, вводя концепции правильных многогранников и "божественной пропорции", которые также нашли применение в архитектуре;

III в. до н.э. - Эвклидова геометрия сохраняет и развивает эти концепции, применяя их не только в культовой, но и в светской архитектуре, например, в развитии вогнутых пространств;

XVII в. н.э. - интерес к пифагорейским идеям угасает, но геометрия Эвклида 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;

XXI 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.

*Исходя из исследования раздела 1.2 цифровые программы в архитектуре имеют ряд предпосылок и могут быть разнообразными в аспектах:*

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.

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

Глобализация - наличие цифровых инструментов позволяет конкурировать на международном уровне.

**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.

**Экологические Предпосылки:**

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.

**Правовые Предпосылки:**

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

Таким образом, «от ручных чертежей к цифровому проектированию в архитектуре» 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.

**Выводы по первому разделу**

1. Определено понятие "цифровой культуры" в контексте архитектуры и формообразования. Предпосылки цифровой культуры в архитектуре была прослежена, 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 нам, как технологический прогресс влияет на эту область и как архитектура в свою очередь влияет на развитие технологий.

2. Проанализированы предпосылки и факторы, способствовавшие интеграции цифровой культуры в архитектурное формообразование. Обсуждены изменения в проектировании, использовании материалов, технологий и взаимодействии с пространством и окружающей средой, обусловленные влиянием цифровой культуры. Это включает в себя технологические инновации, социальные, экономические и культурные изменения.

## **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 роли цифрового формообразования как ключевого компонента современного архитектурного проектирования, подчёркивая его влияние на концепции и решения. Подраздел 2.3 делает упор на функциональные возможности и инновации, которые предоставляет цифровая культура для формирования уникальных архитектурных объектов. Выводы по разделу суммируют основные тенденции и 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.

Встраивание цифровых технологий в архитектуру можно рассматривать с философской и технической точек зрения. Философская сторона касается вопросов влияния технологий на облик и функциональность пространства, а также их роли в социокультурном контексте. Техническая сторона фокусируется на конкретных методах и инструментах, таких как сенсоры, контроллеры и программное обеспечение и т.д. Одним из примеров использования цифровых технологий в современных зданиях является умный дом, оснащенный системами для автоматического управления различными функциями и возможностью подключения к интернету рис.

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 [142].

Mario Carlo 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, Carlo указывает на необходимость адаптации профессионалов к новым технологическим реалиям, где проектирование зданий становится результатом слияния традиционной архитектуры и цифровых инноваций [14].

Ранее цифровые средства рассматривались исключительно как вспомогательные инструменты в арсенале архитектора и не затрагивали сам процесс формообразования. Однако, за последние десятилетия роль компьютерных программ в архитектуре значительно изменилась. Сегодня, процессы формообразования движимы двумя действующими силами: человеком с его уровнем образного мышления и инструментами проектирования. В своей работе каждый из этих факторов нуждается в разных по типу, форме и источнику данных, выполняя определенную специфичную задачу в проектировании. На современном этапе взаимоотношения компьютерных программ и человека можно охарактеризовать как симбиотические, в которых электронно-вычислительные машины (ЭВМ) облегчают выполнение поставленных человеком задач, в то время как человек своим воздействием приводит вычислительные процессы компьютера в действие.

Фрэнк Гери, являясь одним из пионеров в использовании цифровых инструментов в архитектуре, применил программное обеспечение CATIA - для создания инновационных и уникальных зданий, позволившее ему выполнить сложные математические расчеты и реализовать задуманную концепцию, к примеру Музей Гуггенхайма в Бильбао, выполненный в стиле деконструктивизм, тем самым открыв дорогу новой эре в архитектурном проектировании [82]. Здание Музея имеет чрезвычайно оригинальный внешний вид, привлекающий к нему большое внимание и массу споров. Воздвижение данного сооружения превратило промышленный город Бильбао в один из культурных центров мира. Таким образом, внедрение новейших технологий в процессы проектирования позволило создать оригинальный архитектурный объект, который изменил восприятие окружающего пространства и катализировал культурное развитие в данном регионе.

Современная архитектура состоит из трех передовых направлений: нелинейное, фрактальное и дигитальное [122]. Нелинейная архитектура, как следует из ее названия, работает со сложными системами, в которых параметры математических величин связаны нелинейной зависимостью. Данный подход точнее отражает природные формы и присущие им закономерности высшего порядка и приводит к уходу от линейных представлений, больше присущих человеческому мышлению. Данные процессов стали возможными благодаря применению ЭВМ. способных беспрепятственно оперировать на таком высоком уровне математических зависимостей. Архитектура нелинейных зависимостей строится на геометрических понятиях кривой на плоскости и гиперповерхности в пространстве трех или большего числа измерений [76]. Применение в

образовании формы фигур данного типа приводит к появлению нестандартных и сложных образов сооружений.

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 1 представлена блок-схема влияния цифровых программ на различные области архитектуры. В этом 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 [17].

Mark Burry 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.

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 [12].

Грег Линн 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 [39].

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 современная 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 [30].

Развитие современных средств вычислительной техники позволяет быстро и с большой точностью решать задачи геометрического конструирования поверхностей, вычислять основные технические и экономические показатели, находить различные варианты решения задач и выбирать лучшие из них. Помимо этого, стало возможным получение качественной визуализации геометрических объектов, что дало возможность оценить их эстетические свойства на этапе эскизного проектирования. Для решения той или иной задачи разрабатывается множество прикладных программ, позволяющих использовать новые методы формообразования. При помощи современных инструментов можно изучать свойства и возможности используемых материалов, что позволяет применять проектировочные решения, которые были недоступны ранее.

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 [122,133]:

- 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 [101].

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 [110]. В контексте данной выставки также было создано виртуальное копирование 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 [7,].

Активно проводятся разнообразные эксперименты, нацеленные на изучение восприятия человеком архитектурного пространства, в частности нестандартных сооружений. Появление новых методов архитектурного формообразования открыло для архитекторов новые возможности и сняло множество ограничений, позволяя создавать здания довольно сложных и непривычных форм. Поэтому, современные цифровые технологии, являясь результатом технологического развития цивилизации, теперь выступают в виде движущего архитектуру элемента вперед самого инструмента. При взгляде человека на такие экспериментальные объекты, как Кривой дом в Польше, Кунстхаус в Австрии и множество других неординарных проектов, можно отметить возникновение различного спектра эмоций: от удивления и восторга до неприятия и непонимания. Новейшая архитектура стала еще сильнее связана с чувственной составляющей искусства, находясь на этапе самопознания и определения границ своих конструктивных и этических возможностей.

Вычисление — это термин, который отличается, но часто путается с компьютеризацией. В то время как вычисление — это процедура подсчета, то есть определение чего-то математическими или логическими методами, компьютеризация — это процесс ввода, обработки или хранения информации в компьютере или компьютерной системе. Компьютеризация связана с автоматизацией, механизацией, цифровизацией и конверсией. Обычно это включает в себя цифровизацию предварительно заданных и четко определенных сущностей или процессов. В отличие от этого, вычисление направлено на исследование неопределенных, нечетких и часто плохо определенных процессов. Благодаря своей исследовательской природе, вычисление направлено на имитацию или расширение человеческого интеллекта. Это касается рационализации, логики, алгоритмов, рассуждений, выводов и оценок. В его многочисленных импликациях он включает в себя решение проблем, когнитивные структуры, моделирование и интеллект на основе правил. Доминирующий метод использования компьютеров в архитектуре сегодня — есть компьютеризация. Концепции или процессы, которые уже представлены в уме дизайнера, вводятся, изменяются или сохраняются в компьютерной системе. В отличие от этого, использование вычислений в качестве инструмента компьютерного проектирования в целом ограничено. Проблема этой ситуации заключается в том, что дизайнеры не используют вычислительную мощь компьютера. Некоторые углубляются в манипуляции или критику компьютерных моделей, как будто они являются продуктами вычисления. Несмотря на то, что разработка программного обеспечения включает в себя

широкие вычислительные методы, манипуляции 3D-моделями компьютера с помощью мыши не обязательно являются актами вычисления. Например, на основе текущего дискурса кажется, что манипуляции с контрольными точками на основе NURBS поверхностей считаются некоторыми теоретиками актами вычисления. Хотя математическая концепция и программная реализация NURBS как поверхностей является продуктом прикладного численного вычисления, перестановка их контрольных точек через коммерческое программное обеспечение является просто аффинным преобразованием, то есть переводом. Этим автор хотел подчеркнуть различие между двумя концепциями: "вычислением" (computation) и "компьютеризацией" (computerization). Под вычислением автор понимает процедуру подсчета или определение чего-то с помощью математических и логических методов, которая стремится к исследованию, эмуляции и расширению человеческого интеллекта. Этот процесс активно включает в себя рассуждение, логику, алгоритмы и другие интеллектуальные активности. С другой стороны, компьютеризация относится к простому использованию компьютера для автоматизации задач, таких как ввод, обработка или хранение информации. В этом контексте автор критикует преобладающий способ использования компьютеров в архитектуре сегодня, где большинство дизайнеров рассматривают компьютер просто как инструмент для автоматизации их текущих задач, а не как средство для исследования новых возможностей и расширения границ дизайна. Кроме того, автор указывает на распространенное заблуждение о том, что простые манипуляции с компьютерными моделями, такие как перемещение контрольных точек на 3D-поверхностях, являются актом "вычисления". Вместо этого автор считает, что такие манипуляции представляют собой лишь базовые операции и не используют полный потенциал, который компьютеры могут предложить в контексте дизайна. В целом, автор призывает пользователей использовать компьютеры не просто как инструменты для автоматизации, но и как платформы для исследования, инноваций и расширения границ традиционных идей [35].

Цифровая архитектура позволяет создавать физические структуры и виртуальные формы с помощью визуализации, компьютерного моделирования и программирования и может как включать в себя реальные объекты и материалы, так и обходиться без них вовсе. В основе новой архитектурной парадигмы лежит "феномен восприятия", заключающийся в формировании у человека того или иного эмоционального отклика, используя различные визуальные эффекты [114]. Методы влияния на восприятие людьми окружающего пространства применяются достаточно давно. К данным методам относятся: создание ложной перспективы, искажение линейных размеров и прочие визуальные эффекты. Нынешние разработки в технологической сфере приносят новые инструменты и методы для достижения той же цели. Так, с помощью возможностей цифрового моделирования создаются различные статические и динамические проекции, в том числе голограммы, способные реагировать на действия человека. Таким образом, метафорическое киберпространство все больше вплетается в структуру современной архитектуры, а специалист, работающий в рамках виртуальной

реальности, получает импульс к новым экспериментам, требующих высокой степени абстракции [72, 123].

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. [127].

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.

Чарльз Дженкс, в своей книге "Новая парадигма в архитектуре", рассматривает переход от модернизма к постмодернизму в архитектуре. Он анализирует, как традиционные модернистские идеалы, такие как универсализм и функциональность, уступили место большему разнообразию форм и стилей, влияниям из разных культур и исторических контекстов. Дженкс утверждает, что постмодернизм в архитектуре отражает более сложное и многообразное понимание общества и культуры, а также стремление к интеграции разных архитектурных традиций в новом, гибком и инклюзивном стиле. Если рассматривать Дженкса Ч. в контексте цифровизации и технологии, можно утверждать, что он обращает внимание на то, как современные технологии влияют на архитектурные формы и практики. Цифровые инструменты и методы меняют процесс создания и восприятия пространства, принося новые возможности для экспериментов и инноваций в архитектуре. Таким образом, Дженкс подчеркивает необходимость адаптации архитектурной практики к технологическому прогрессу и исследует, как цифровые технологии могут обогатить и трансформировать смысл и функцию зданий в современном мире [84].

Кас Остерхуис, 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 [51].

Ювал Ноа Харари акцентирует внимание на том, как технологические инновации изменяют гуманистические основы общества и переопределяют понимание человеческой природы. Он рассматривает цифровые технологии как фактор, способный переформировать традиционные структуры и иерархии. В контексте архитектурного формообразования, его исследования подчеркивают необходимость учета этой динамики при использовании цифровых инструментов в проектировании, где здания и пространства должны отражать и адаптироваться к меняющимся социокультурным потребностям в эпоху информационных технологий [144].

В целом, сегодня можно наблюдать формирование новой визуальной парадигмы, трансформирующей человеческое восприятие и мышление. Проводятся интересные исследования субъективных оснований средового проектирования в контексте психоделических форм и дизайнерских решений [100]. 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.

## **2.2 Цифровое формообразование как важнейший фактор в современном архитектурном проектировании**

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 [134].

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.

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 [73]. Стоит также обозначить вытекающее из сказанного выше понятие архитектурной тектоники как описание структурных закономерностей, определяющих структуру здания [103].

Под цифровым морфогенезом понимается процесс формообразования с применением вычислительной техники [34]. Данный метод подразумевает использование ряда компьютерных средств проектирования для создания и адаптации формы объекта. Цифровое моделирование применительно буквально ко всему — дизайну, проектированию, графике, стилям, и в том числе, к тектонике. Ассоциируется оно не столько с компьютерными средствами проектирования, сколько с параметрическим моделированием и новыми технологиями. 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.

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 [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 [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 понимания 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 [22] 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.

Современная архитектура за время своего существования претерпела множество изменений и до сих пор продолжает 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 [148]. 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 цифровой 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.

Тенденция к упрощению и сокращению скорости воздвижения сооружений привела к возникновению модульной архитектуры, ознаменовавшей начало систематизированного подхода в проектировании. Данный конструктивный метод подразумевает разделение системы на составные части, создаваемые отдельно и в дальнейшем формирующие сборный объект. Модульность имеет ряд преимуществ перед традиционным проектированием и используется довольно давно. Одним из самых первых крупномасштабных сборных зданий считается построенный в 1933 году дом Уинлоу Эймса. Данный проект, воплощенный в жизни профессором истории искусства Робертом У. Маклафлином, состоит из нескольких модулей, расположенных на бетонной плите и укрепленный стальным каркасом. Удобство модульных зданий заключается в возможности перемещения их конструкций, демонтажирования или добавления модулей при такой необходимости. Распространенные примеры подобных сборных конструкций также являются сборные здания, ветряные турбины и другие привычные объекты модульной архитектуры. Помимо ускорения процессов строительства данный метод способен повысить качество изготовления объектов за счет технологий автоматизации, а также снизить риск перерасхода средств и задержек. Такое строительство становится более предсказуемым и, как следствие более безопасным для застройщика. Однако, модульное проектирование все же имеет ряд очевидных и недопустимых для развития творческого проектирования недостатков. Сведение сложных и многоуровневых процессов строительства до простейших операций сборки модулей неизбежно ограничивает возможности реализуемого дизайна, накладывая на него ряд правил и запретов. Результаты модульного формообразования не могут выходить за эти рамки, что приводит к однообразным постройкам и сдерживает архитектуру от развития.

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 эксплуатацию. Помимо этого, с помощью инструментов САПР можно значительно упростить процесс создания и

редактирования проектной документации, а также предупреждать возникновение ошибок в проекте.

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 [117]. 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 [68].

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 [133]. 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 перемещаются 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 [40]. В данном случае цифровой орнамент становится не только частью поверхности, но и основным условием существования оболочки. Ф. Мусави в своей работе [49] 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 [74]. 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 [109].

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.

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 [5]. 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 [143]. 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 [2]. 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 [129].

В работе [34], 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 [59].

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.

### **2.3 Функциональные возможности цифровой культуры в архитектурном формообразовании на современном этапе**

Цифровая культура предоставляет разнообразные функциональные возможности в архитектурном формообразовании на современном этапе. Некоторые из них включают:

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 Патрик Шумахер является ключевой фигурой в развитии параметрического дизайна в архитектуре. Его взгляды на архитектуру акцентируют внимание на том, что современный дизайн должен обладать способностью к адаптации. Это означает, что архитектурные объекты должны быть способны приспосабливаться к различным условиям, будь то климатические факторы, функциональные требования или социокультурный контекст [149].

Для Шумахера современные городские ландшафты становятся все более сложными и многослойными. В связи с этим он видит архитектуру как информационную систему, которая может помочь в адаптации и реагировании на эту сложность. С этой точки зрения, архитектурные объекты становятся не просто статичными сооружениями, но и динамичными структурами, способными изменяться и реагировать на окружающую среду. Однако Шумахер не просто призывает к инновациям, он также критикует устоявшиеся практики в архитектурном проектировании. По его мнению, традиционные методы не соответствуют потребностям современного мира. Вместо этого он предлагает использовать новые технологии и подходы для создания более релевантных и функциональных пространств. При всем этом, основной акцент Шумахера — на продвижении и внедрении инноваций в архитектуре. Его убеждение в том, что

для поддержания социального и культурного прогресса важно неустанно искать новые пути и решения, делает его одним из наиболее дискуссионных и влиятельных фигур в современной архитектуре [149].

Ахим Менгес сосредотачивается на интеграции материальной и морфологической исследовательской деятельности в процессе архитектурного проектирования. Он исследует возможности, предоставляемые цифровым проектированием и компьютерными технологиями, в сочетании с биологическими принципами и натуральными материалами. Менгес утверждает, что это сочетание может привести к созданию более устойчивых и адаптивных архитектурных решений, которые оптимально используют ресурсы и эффективно реагируют на окружающую среду [43].

Цифровые экосистемы обозначают сетевые структуры, возникшие благодаря цифровой культуре, где различные цифровые инструменты, программы и данные соединяются, чтобы поддерживать архитектурный процесс. Эти системы предполагают использование информационных систем [71], баз данных, облачных технологий и других цифровых ресурсов, облегчая обмен информацией, совместную работу и управление проектами.

Технология "цифровой двойник" действительно предоставляет новые возможности для архитекторов и строителей. Она позволяет им создавать, тестировать и улучшать свои проекты в виртуальной среде до того, как начнется реальное строительство или эксплуатация. Это уменьшает риски ошибок и увеличивает эффективность процесса проектирования. Благодаря точной виртуальной модели реального объекта архитекторы могут анализировать различные аспекты здания или инфраструктуры, такие как потребление энергии, освещенность или воздействие окружающей среды.

Аналитика данных в контексте цифровой культуры стала неотъемлемой частью архитектурной практики. С помощью современных программных решений архитекторы могут анализировать и визуализировать различные аспекты проекта, такие как потоки людей, уровень освещенности или энергоэффективность. Это обогащает проектирование, делая его более адаптивным к реальным условиям и потребностям пользователей, и в конечном итоге ведет к созданию более успешных и устойчивых архитектурных объектов.

В целом, цифровая культура открывает широкий спектр возможностей для архитекторов в создании инновационных и эффективных форм в проектах, с помощью использования параметрического моделирования, цифровых экосистем, цифровых двойников и аналитики данных.

Цифровизация влияет на все больше отраслей экономики, и это связано не только с естественной эволюцией рынка, но и с задачами, поставленными на уровне руководства страны. Проекты цифровизации направлены на повышение качества продукции и услуг, улучшение их доступности, повышение безопасности, моделирование процессов и использование цифровых технологий, таких как Digital Twin и 4D ГИС.

Интеграционная платформа "Интегра 4D-Планета Земля" является отечественным программным продуктом, способным решить задачи

цифровизации. Она предоставляет среду трехмерных моделей объектов управления и наблюдения, сформированных на базе геодезических измерений в единой системе координат и времени. Эта платформа обеспечивает возможности информационного обозрения объектов, включая их форму и размещение, а также инструменты пространственного и атрибутивного анализа. Она также обеспечивает 3D визуализацию прошлого, текущего и прогнозного состояния объектов, а также территорий и дорог, включая использование механизмов дополненной реальности [124].

Основные элементы перехода к цифровому предприятию включают построение цифровых моделей объектов инфраструктуры в едином координатно-временном пространстве, создание цифровых высокоточных координатных систем на основе спутниковых сетей высокоточного позиционирования, организацию непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры с автоматической выдачей предупреждений об инцидентах, мониторинг состояния оборудования и техники с прогнозированием последствий, создание мобильных средств контроля местоположения подвижных объектов и персонала, а также реализацию комплекса вычислительных средств для дистанционного управления объектами инфраструктуры и автоматизации технологических операций [6].

Цифровизация предприятия обеспечивает полную интеграцию между пользователем, продуктом, системой управления предприятием и инфраструктурой, формируя новые сквозные цифровые технологии организации любого процесса. Это включает усовершенствование систем автоматизации предприятия и обеспечения его безопасности, развертывание сетей цифровой связи, создание цифровых моделей объектов инфраструктуры и применение систем интеграции пространственно-временных данных, мониторинга состояния технических средств и автоматизации технологических операций.

Цифровизация субъекта экономической деятельности требует цифрового описания объектов инфраструктуры в рамках геопространственных координат и времени. Для этого эффективно используется высокоточное спутниковое позиционирование, которое позволяет создавать цифровые модели процессов и 3D модели зданий и сооружений. Геопространственное позиционирование с привязкой ко времени позволяет организовать сквозные технологии проектирования, строительства, технического обслуживания и охраны объектов.

В целом, цифровизация предприятий и систем экономики осуществляется в едином технико-технологическом поле с использованием цифровых моделей, интеграции данных и новых технологий, что обеспечивает повышение уровня надежности, безопасности и эффективности.

При реализации концепции цифровизации крупных производственных или транспортных компаний, интеграционная платформа "Интегра 4D-Планета Земля" предоставляет возможность создания и поддержки полноценного "цифрового двойника" физической системы (например, производственного процесса) в реальном времени. Этот "цифровой двойник" оптимизируется с использованием интегрированного мультифизического, многомасштабного и

вероятностного моделирования различных систем и объектов. В рамках этого моделирования используются лучшие физические модели, данные датчиков, исторические данные, результаты прогнозов и другая информация.

Достоверность и актуальность "цифрового клона" обеспечивается механизмом консолидации информационных моделей и информационных технологий в интеграционной платформе. В рамках этого механизма используются такие компоненты, как трехмерное моделирование в геоинформационных системах (3D ГИС) и во времени (4D ГИС), информационное моделирование зданий (BIM), информационные компоненты ArcGIS для решений на базе географического подхода (BISDM), моделирование интеллектуальных энергосетей smart grid (CIM), большие данные (BigData), искусственный интеллект (AI), виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) [132].

Трехмерное моделирование в ГИС не только имитирует реальность, но и предоставляет инструменты для анализа, моделирования и принятия решений относительно объектов и субъектов управления. В интеграционной платформе используются все доступные типы данных, такие как рельеф, изображения местности, текстура, модели зданий и другие данные любых ГИС, которые после привязки к координатам и добавления дополнительных геопространственных и атрибутивных данных образуют трехмерные геопривязанные пространственные модели (3D ГИС). При рассмотрении таких моделей в разрезе времени получается четвертое измерение (4D), которое позволяет анализировать прошлое и моделировать будущие состояния объект.

Суммируя 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 [109] будущей архитектуры (Приложение А рис. 3, 4).

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.

Исходя из вышеизложенных цифровая культура в архитектуре имеет ряд механизмов и факторов, а также "Встраивание" цифровых технологий в архитектуру.

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.

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

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.

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.

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.

Таким образом, цифровая культура в архитектуре на основании механизмов и факторов имеет "Встраивание" в области цифровое проектирование, а также во всех сферах детальности. Этим цифровая культура становится неотъемлемой частью современной архитектуры, интегрируясь в базовые проектировочные процессы и расширяя возможности формообразования. Эти технологии добавляют гибкость и детализацию в процесс архитектурного проектирования, открывая новые горизонты для дальнейших исследований (Рисунок 2.1).

#### **Выводы по второму разделу**

1. Выявлены ключевые факторы и механизмы, которые влияют на применение цифровых технологий в архитектурном формообразовании, таких как социально-экономические, культурные, технологические, и их анализ.

2. На основе проведенного анализа разработана теоретическая модель, описывающая влияние цифровых технологий на процесс архитектурного формообразования, и идентификация основных механизмов влияния.

### **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 [126].

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 [3].

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. Его исследования и инновации подчеркивают значение интерактивности, адаптивности и умной интеграции технологий в архитектурных объектах, предлагая будущее, где здания становятся не просто структурами, но и

реагирующими организмами, способными взаимодействовать с окружающим миром и своими обитателями [118].

В современной архитектуре деятельность архитекторов, таких как Ф. Герри, З. Хадид, Ф. Отто, Т. Ито, Г. Линн, М. Хансмейер и другие, свидетельствует о активном использовании цифровых технологий. Они пользуются различными компьютерными приложениями для проектирования, такими как Gehry Technologies, Rhino, Grasshopper, ArchiCAD, SketchUp и другие. Это позволяет создавать сложные и уникальные формы, оптимизировать процесс проектирования и учесть все параметры объекта на разных стадиях его жизненного цикла - от идеи до воплощения в реальное здание. Это свидетельствует о том, что методы проектирования, основанные на использовании цифровых технологий, не только пришли, но и остаются на переднем крае современной архитектурной практики. Современная архитектура проходит через период значительных изменений, определяемых прежде всего быстрым развитием цифровых технологий. Параметрическое проектирование, алгоритмическое проектирование, применение виртуальной и дополненной реальности, использование 3D-печати в архитектуре, цифровое производство и BIM (Building Information Modeling) – все эти подходы и технологии имеют все большее влияние на процессы проектирования и строительства.

Параметрическое проектирование позволяет архитекторам создавать более сложные и адаптивные формы, используя алгоритмы и параметры. Алгоритмическое проектирование, в свою очередь, позволяет генерировать целые архитектурные формы и структуры на основе определенного набора правил или алгоритмов.

Виртуальная и дополненная реальность открывают новые возможности для визуализации архитектурных проектов и создания более эффективных рабочих процессов. 3D-печать, в свою очередь, вносит революцию в строительство, позволяя быстро и эффективно создавать сложные архитектурные формы [53].

Цифровое производство предлагает новые методы и материалы для строительства, в то время как BIM становится все более важным инструментом для координации и управления строительными проектами.

В этом подразделе мы подробно рассмотрим некоторые из этих тенденций - в частности, 3D-печать, параметрическое и алгоритмическое проектирование. Эти подходы и технологии уже имеют большое влияние на современную архитектуру и, безусловно, будут играть ключевую роль в ее будущем развитии.

Параметрическое моделирование открывает перед архитекторами новые горизонты и представляет собой инновационный подход к архитектурному проектированию. В центре этого подхода находится создание гибких, динамических моделей, в которых каждый параметр взаимосвязан с другими. Это взаимодействие параметров не просто случайное, оно может быть формализовано и определено через математические формулы и алгоритмы, что позволяет архитекторам создавать сложные 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 [111].

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 [70].

Заха Хадид и ее архитектурное бюро Zaha Hadid Architects прославились благодаря великолепному мастерству использования параметрического проектирования в своей работе. Заха Хадид, первая женщина, удостоенная Премии Прицкера, внесла революцию в современную архитектуру, применяя современные компьютерные технологии для создания невероятно сложных и уникальных форм. Впервые параметрический дизайн был использован Заха Хадид в проекте Центра современного искусства Розентал (Rosenthal Center for Contemporary Art) в Синсиннати, США. Здесь уже можно было увидеть использование нелинейного дизайна и сложных геометрий, которые стали визитной карточкой архитектурного бюро. Однако истинный потенциал параметрического дизайна впервые был показан в проекте музея современного искусства «МАХХИ в Риме». Музей «МАХХИ» в Риме представляет собой зрелищную, динамическую и функциональную структуру. Внутри здания главные экспозиционные пространства пронизаны системой волнообразных потоков, которые создают непрерывное пространственное наложение.

Характерные для проектов Хадид плавные линии и криволинейные формы достигаются благодаря применению параметрического проектирования. При этом сами формы и пространства музея были не просто созданы с целью визуального эффекта. Они функциональны и в то же время создают уникальное художественное выражение, что является заметной особенностью подхода Хадид к проектированию.

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" [1]. 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 [36].

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.

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 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 [67].

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 стилиобразования объектов пространственной среды в рамках проблематики цифровой архитектуры [21]

Стремительный прогресс в сфере компьютерных технологий подразумевает глобальное внедрение инновационных методов и инструментов в процессы архитектурного формообразования. Глобальная компьютеризация приносит 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.

Появление новых технических возможностей, а также стремительное внедрения информационных средств в структуру городской среды, побуждает архитекторов к поиску совершенно новых архитектурных форм, отражающих современные тенденции. Цифровое формообразование извлекается из динамического вычислительного процесса. Одним из источников вдохновения является "фрактальная геометрия", которая раскрывает аспекты самой сложной проблемы синтеза архитектуры и природной среды [122, стр. 84] (рис. 5). Этот метод поиска и интерпретации архитектурных решений требует использования программного обеспечения, ориентированного на определение алгоритма проектирования, реализованного в природных объектах с помощью компьютерного анализа.

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 [61]. 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, светографический дизайн и др. [44] 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.

*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.

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 [63]. 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.

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 [26]. 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 [45].

В таблице 1 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 [99]. 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.

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.

*Проблема отсутствия холлизма в современной архитектуре.*

Прорывы в области знания, ускорение в развитии технологий, а также повышение уровня культурного обмена посредством глобализации постепенно вели к преодолению традиций модернизма и минимализма. Новации деконструктивизма также представлялись архитекторам довольно ограниченными. Требовался прорыв, способный побудить возникновение новых направлений и расширить творческие возможности художника. Ответом виделась трансформация архитектуры в дисциплину, которая следовала бы за потребностями людей, а также могла бы вести диалог на языках различных природно-экологических и историко-культурных сред. В результате, на передовые рубежи вышли радикальные направления (концептуальное искусство, контекстуализм, и др.) и виртуальные (параметризм и генеративная архитектура). 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.

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 [81]. 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 друг 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 композиционной неопределенности в сочетании старого и нового. Элементы застройки разных времен не взаимодействуют между собой и не образуют целостный ансамбль. Наблюдается распад архитектурного единства, связанный с постепенным ослаблением градостроительных и композиционных требований, а также столкновения старых и новых принципов застройки.

На протяжении всей мировой истории город так или иначе транслировал некое сообщение, позволяющее гражданам идентифицировать себя с местом своего обитания. В городах, чаще всего в их центральных частях, располагались важные символы, характеризующие некую общую идею, ценности или основной вид деятельности жителей. Повсеместно встречались различные храмы, рынки, площади и статуи. Сегодня же архитектура зачастую выглядит разрозненно, поверхностно и представляет собой хаотичные информационные потоки. В современных городах крайне редко наблюдается централизация, а архитектурные композиции не обладают явными отличительными акцентами и, можно сказать, обезличены. В то же время, основному стилю цифровой эпохи – параметризму присуща поликультурность. Поэтому, смотря на нынешние города с трудом можно выявить цели, преследуемые проживающим в них обществом.

Архитектура должна определять идентичность региона и воплощать в своих формах и образах культурные и ландшафтные особенности конкретных территорий. Сегодня в попутке присвоить однотипному городскому пространству некую идентичность в основном применяются различные декоративные конструкции и росписи фасадов, при этом, основные формы зданий остаются неизменными.

*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 [23]. Преследование 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 (таблица 1) окажется наиболее эффективным: внедрение IT-технологий в структуру существующих городов или же возведение «умного» города с нуля. В таблице 2 приведено сравнение возможных сценариев проектирования «умного» города.

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.

Подытожив, можно сказать цифровые технологии становятся все более важной частью 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.

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 [119].

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.

Таким образом, современные тенденции в архитектурном формообразовании с использованием цифровых технологий обещают переосмысление архитектуры, с большим акцентом на интерактивность, адаптивность и устойчивость.

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

В эпоху информационных технологий наблюдается существенное влияние цифровой культуры на различные аспекты жизни общества, включая такую творческую и практическую область, как архитектура. Это открывает новые перспективы для архитектурного формообразования, в которых архитектурные формы не только отражают функциональные и эстетические требования, но и взаимодействуют с цифровыми технологиями на многих уровнях.

Цифровая культура, критерии которой определяются скоростью, связностью и адаптивностью, привносит в архитектурное формообразование новые аспекты. Перенос данных, моделирование, визуализация, проектирование и производство тесно связаны и интегрированы в рамках цифровой экологии, что предоставляет архитекторам уникальные возможности для разработки и реализации сложных архитектурных форм.

Архитектура начинает играть активную роль в цифровой среде, становясь не только продуктом, но и средством общения и взаимодействия. Это приводит к изменению принципов архитектурного формообразования, в котором теперь

играют важную роль такие факторы, как интерактивность, адаптивность и гибкость.

Таким образом, изучение влияния цифровой культуры на архитектурное формообразование является актуальным направлением современной архитектурной науки и практики. В следующих разделах мы рассмотрим это влияние более подробно, анализируя различные аспекты цифровой культуры и их применение в архитектурном проектировании.

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 [90].

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 [89].

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 фасилитируют и поддерживают этот коллективный обмен и взаимодействие в виртуальном контексте [38].

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.

Цифровая культура приобрела значительное влияние на архитектурное формообразование, привнося в него новые инструменты, методы и подходы к проектированию и реализации архитектурных форм. Использование современных технологий предоставляет архитекторам возможность создавать более сложные и инновационные формы, а также предлагает механизмы для анализа данных и оптимизации проектов.

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 категоризировал 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.

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 [13].

Различные цифровые инструменты, такие как параметрическое моделирование, алгоритмическое проектирование и компьютерное моделирование, расширяют границы возможностей архитекторов. Благодаря этим инструментам, архитекторы могут создавать формы и структуры, которые ранее были недоступны ввиду их сложности или трудоемкости реализации. Эти технологии также улучшают процесс проектирования, обеспечивая большую точность и скорость создания проектов, что в свою очередь приводит к сокращению времени и ресурсов, затрачиваемых на процесс строительства.

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.

Цифровая культура оказала глубокое влияние на архитектурное формообразование, обеспечивая внедрение новых инструментов, методов и подходов для создания и воплощения архитектурных форм. Вместе с эволюцией информационных технологий, такие методы, как параметрическое и алгоритмическое проектирование, а также компьютерное моделирование, стали доступными для архитекторов, облегчив их работу и позволив создавать более сложные и инновационные формы. Эти цифровые инструменты предоставляют возможность анализировать большие объемы данных, оптимизировать проекты и выявлять возможные проблемы на ранних стадиях. Это существенно повышает эффективность процесса проектирования и строительства, позволяет сократить затраты времени и ресурсов на строительство и ускоряет внедрение новых

проектов. Цифровые технологии также играют ключевую роль в визуализации архитектурных идей. Они позволяют архитекторам создавать реалистичные трехмерные модели и виртуальные прогулки по проектам, что позволяет лучше донести свои идеи до заказчиков и широкой общественности [42]. 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 [145].

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.

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 [57].

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.

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 [60].

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 Ньюнэма (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 [65].

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 большой уровень автоматизации и оптимизации процесса проектирования.

### **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 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 [63]. 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 [122]. Такое положение вещей в значительной степени изменяет и продвигает восприятие человеком окружающей среды и пространства.

Обобщая сказанное выше, можно заключить, что изменение архитектурной теории происходит слишком быстро для достаточно инертных институтов. Однако, данная проблема касается не только области образования, но и самой архитектуры как дисциплины в целом. Встает вопрос о смысле теории, которая ранее использовалась если не буквально для управления формообразованием, но хотя бы для его объяснения. На данный момент проблема заключается в том, что архитектура не способна изменяться так же быстро как происходят структурные преобразования в самом программировании.

Помимо этого, перед исследователями исторических процессов возникает ряд проблем, связанных с созданием и анализом виртуальных моделей памятников архитектуры. Сложность возникает в сборе большого количества данных, необходимых для моделирования. Помимо значительного объема информации, необходимые для моделирования данные могут быть представлены различных форматах: различные текстовые документы, изображения или чертежи. Данную проблему удастся частично решить преобразованием собранного массива данных в совместимый с компьютерной программой формат. Однако, такую конвертацию не всегда удастся выполнить, что существенно затрудняет работу и увеличивает время создания модели. Вторая важная проблема связана с выбором программ, привлекаемых для решения задач моделирования и презентации результатов. Таким образом, в самом начале работы над моделью необходимо определить методы и соответствующие им программные продукты из большого множества существующих инструментов. Данный этап является крайне важным, поскольку, этим выбором будет во многом определено качество создаваемой модели, а также, время, потраченное на ее разработку. Вдобавок, сложности возникают в процессе оценки достоверности интерпретации исследуемых объектов.

Автор 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 [126].

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. С целью решения ряда проблем, существующих

сегодня в архитектурном сообществе, в Европе по инициативе Хелен де Мандро был создан «Международный Конгресс Современной Архитектуры» [81]. 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.

### **Выводы по третьему разделу**

1. Выявлены диалектические взаимоотношения между архитектурой и цифровой культурой, включая их взаимное "сращивание", обмен и взаимообогащение между специфическими "предметами" этих областей деятельности.

2. Проанализированы влияние и функции цифровой культуры и технологий на выбор методов проектирования, показано, как они меняют традиционные подходы в области архитектуры.

3. На основе проведенного анализа разработана теоретическая модель, описывающее влияние цифровых технологий на процесс архитектурного формообразования.

Также, исследованно, как цифровая культура повлияла на изменение подходов к архитектурному формообразованию, в том числе на формулирование принципов проектирования, использование материалов и технологий, взаимодействие с пространством и окружающей средой.

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.

## 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. САД-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. САД-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 [93].

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.

Аддитивное производство (АМ), также известное как 3D-печать, представляет собой трансформационный подход к промышленному производству, позволяющий создавать более легкие и прочные детали и системы. Еще одно технологическое достижение стало возможным благодаря переходу от аналоговых процессов к цифровым. В последние десятилетия коммуникации, визуализация, архитектура и инженерия претерпели свои собственные цифровые революции [98]. Аддитивное производство обеспечивает цифровую гибкость и эффективность производственных операций. Он использует программное обеспечение автоматизированного проектирования данных (САПР) или 3D-сканеры объектов для направления оборудования на нанесение материала, слой за слоем, в точных геометрических формах. Как следует из названия, аддитивное производство добавляется материал для создания объекта. Напротив, когда вы создаете объект традиционными средствами, часто необходимо удалить материал с помощью фрезерования, механической обработки, резьбы, формования или других средств [45].

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 [11]. 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 [28]. 3D-печать или аддитивное производство (АМ) обладает огромным потенциалом, с помощью которого архитектура может извлечь выгоду из одной из этих технологий. Самый основной, отличительный принцип 3D-печати заключается в том, что это аддитивный производственный процесс. И это действительно ключ, потому что 3D-печать — это радикально иной метод производства, основанный на передовой технологии, которая аддитивно создает детали слоями в масштабе субмиллиметровых размеров. Это принципиально отличается от любых других существующих традиционных технологий производства. Существует ряд ограничений для традиционного производства, которое широко базировалось на человеческом труде и идеологии ручной работы. Однако мир производства изменился, и автоматизированные

процессы, такие как механическая обработка, литье, формование и формование, являются (относительно) новыми, сложными процессами, требующими машин, компьютеров и робототехники. Однако все эти технологии требуют вычитания материала из более крупного блока, будь то для достижения самого конечного продукта или для производства инструмента для литья или формования, и это является серьезным ограничением в рамках общего производственного процесса.[45]

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 [48].

Существуют глобальные сложности в архитектурном построении в тяжелых климатических условиях и труднодоступных регионах. Так, в работе авторы рассматривают методы внедрения новых передовых проектных методов и технологий и грамотного использования имеющейся теоретической базы архитектурно-градостроительной науки в Арктике. Огромный ресурсный потенциал арктической зоны требует комплексного развития Северного морского пути – кратчайшего морского пути между Европейской частью России и Дальним Востоком. 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 [47]. 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 [55].

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 [50].

Цифровая архитектура преобразует традиционное понимание дизайна, добавляя в него слой цифровых технологий. Этот переход к цифровому представлению требует от архитекторов новых навыков и подходов, включая взаимодействие с программированием. Сегодня компьютеры стали неотъемлемой частью проектирования, но часто их роль ограничивается простыми инструментами вроде Autocad. Но возможности цифровизации в архитектуре намного шире. Сосредотачиваясь лишь на стандартном программном обеспечении, мы упускаем из виду множество инновационных подходов и методов, которые могут полностью изменить наше представление о дизайне и возможностях создания пространства. 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 [31].

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.

Марк Гарсия в своей книге "The Diagrams of Architecture" акцентирует внимание на роли диаграммы как центрального инструмента в архитектурном проектировании, начиная с 1980-х годов. Он утверждает, что диаграммы стали ключевым способом исследования, теоретизации и визуализации архитектурных идей, представляя собой одно из наиболее значимых нововведений в современной методологии дизайна. Книга предлагает обширный обзор, охватывающий диаграммы от древних времен до наших дней, собрав в одном томе как ранее опубликованные, так и новые работы мировых экспертов по архитектуре. Этот сборник демонстрирует разнообразие подходов к использованию диаграмм и подчеркивает их ценность в современной проектной деятельности [25].

Аналитические программы позволяют моделировать и анализировать системы вентиляции и качество воздуха в здании. Они учитывают параметры, такие как расположение воздуховодов, расход воздуха и фильтрацию, чтобы обеспечить оптимальное качество воздуха для здоровья и комфорта пользователей. Они позволяют архитекторам анализировать структурную прочность здания и оптимизировать его конструкцию, рассчитывают нагрузки на различные элементы здания, моделируют поведение материалов и помогают определить оптимальные конструктивные решения.

Анализ устойчивости и экологичности является важной частью современного архитектурного проектирования. Использование специализированных программ и симуляций позволяет архитекторам оценить и оптимизировать устойчивость здания и его экологическую эффективность. Вот некоторые примеры инструментов и методов, используемых для анализа устойчивости и экологичности здания: специализированные программы позволяют оценить энергетическую производительность здания и его потребление энергии. Они учитывают факторы, такие как изоляция, системы отопления и кондиционирования, освещение и использование возобновляемых источников энергии. Анализ энергетической эффективности помогает определить области для улучшений и принять меры для снижения потребления энергии и выбросов вредных веществ.

Программы анализа материалов позволяют оценить экологические показатели строительных материалов, такие как выбросы CO<sub>2</sub>, энергозатраты на производство и возможность их переработки. Также проводится анализ жизненного цикла здания, включающий стадии строительства, эксплуатации и сноса, для определения и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Программы анализа водоснабжения и стоков позволяют архитекторам оценить и оптимизировать потребление и утилизацию воды в здании. Это включает анализ эффективности системы сбора и использования дождевой воды, систем орошения, систем очистки стоков и управления расходом воды.

Программы анализа устойчивости здания помогают оценить его способность сопротивляться нагрузкам и воздействию экстремальных условий, таких как сейсмические действия или непогода. Анализ устойчивости и сейсмической надежности является важным этапом в проектировании зданий, особенно в регионах, где землетрясения могут быть значительными. Использование специализированных программ и методов позволяет архитекторам оценить и улучшить устойчивость здания перед возможными сейсмическими событиями. Вот некоторые инструменты и подходы, используемые в анализе устойчивости и сейсмической надежности:

Современные программные инструменты позволяют архитекторам создавать трехмерные модели зданий и проводить симуляции сейсмического воздействия. Это позволяет оценить динамическое поведение здания, его реакцию на сейсмические нагрузки и выявить потенциальные слабые места или проблемы в конструкции. Используя инженерные расчеты и аналитические методы, архитекторы могут оценить статическую и динамическую нагрузку на здание, а также его устойчивость в сейсмической зоне. Расчеты включают определение сил, напряжений, деформаций и перемещений, чтобы гарантировать, что здание способно противостоять сейсмическим силам. Устойчивое проектирование включает выбор материалов и конструктивных решений, способных обеспечить устойчивость здания. Это может включать применение железобетонных или стальных рам, использование армированного бетона или других материалов с высокой прочностью и деформационной способностью.

Для существующих зданий, которые не соответствуют современным стандартам устойчивости, проводится процесс усиления и ретрофитинга. Это включает добавление дополнительных элементов укрепления, улучшение соединений, установку амортизационных и управляемых устройств, чтобы повысить устойчивость и снизить риск разрушения в случае землетрясений.

Усиление и ретрофитинг являются важными процессами в области архитектуры и инженерии, особенно для существующих зданий, которые нуждаются в повышении устойчивости и сопротивляемости различным нагрузкам. Усиление и ретрофитинг включают в себя различные техники и методы, направленные на улучшение существующих конструкций и повышение их производительности. Вот некоторые основные аспекты усиления и ретрофитинга зданий. Оценка состояния: Процесс усиления и ретрофитинга обычно начинается с оценки текущего состояния здания. Это включает проведение осмотров, измерений, анализов и тестов, чтобы определить степень повреждений, возможные проблемы и слабые места в конструкции.

На основе оценки состояния здания, инженеры проводят расчеты и анализы, чтобы определить необходимость усиления и ретрофитинга. Это включает оценку сейсмической устойчивости, нагрузок на конструкцию, деформаций и напряжений.

В зависимости от характеристик и требований здания, могут быть применены различные методы усиления. Это может включать добавление

дополнительных стальных или бетонных элементов, использование углепластиковых или стеклопластиковых лент, установку дополнительных опорных конструкций, замену или усиление фундамента и другие техники, которые повышают прочность и устойчивость здания.

Часто слабые места в здании находятся в стыках и соединениях. При ретрофитинге проводится усиление этих элементов с помощью дополнительных металлических пластин, болтов, клеев или других материалов, чтобы повысить их прочность и способность переносить нагрузки. Улучшение защиты от сейсмических воздействий является важным аспектом усиления и ретрофитинга зданий, особенно в регионах, подверженных землетрясениям. Это включает различные меры и техники, которые направлены на повышение сейсмической устойчивости здания и снижение риска разрушения во время сейсмических событий. Вот некоторые основные аспекты улучшения защиты от сейсмических воздействий: одним из важных шагов в улучшении защиты от сейсмических воздействий является усиление конструкций здания. Это может включать добавление дополнительных элементов жесткости и прочности, использование стальных или бетонных арматурных элементов, а также применение специальных техник, таких как обмотка ферм и колонн углепластиковыми или стеклопластиковыми лентами.

Введение систем изоляции и демпфирования позволяет снизить вибрации и энергию, передаваемую зданию во время сейсмических воздействий. Это может быть достигнуто с использованием специальных сейсмических изоляторов, амортизаторов, а также гибких соединений и деталей, которые амортизируют сейсмическую энергию и уменьшают нагрузки на само здание. Важным аспектом улучшения защиты от сейсмических воздействий является улучшение соединений и деталей здания. Это может включать замену слабых или устаревших соединений на более прочные и устойчивые, использование более продвинутых технологий сварки и крепления, а также обеспечение правильной и надежной фиксации всех элементов конструкции.

Эффективная планировка и распределение нагрузок в здании играют важную роль в его сейсмической устойчивости. Это включает определение оптимальной формы и геометрии здания, а также правильное размещ Планировка и распределение нагрузок являются важными аспектами в проектировании зданий с целью обеспечения их устойчивости и безопасности в случае сейсмических воздействий. Эффективная планировка и распределение нагрузок позволяют равномерно распределить силы и напряжения в здании, минимизировать точки перегиба и концентрации нагрузок, а также обеспечить оптимальное использование материалов и конструкций. Вот некоторые основные принципы планировки и распределения нагрузок в архитектуре: Форма здания имеет большое значение в планировке и распределении нагрузок. Оптимальная форма, такая как прямоугольник или квадрат, обеспечивает равномерное распределение нагрузок на стены, столбы и фундамент. При этом следует избегать сложных и несимметричных форм, которые могут создавать неравномерные нагрузки и увеличивать риск разрушения.

Расположение центра масс и центра жесткости здания играет важную роль в распределении нагрузок. Центр масс должен быть согласован с нижними частями здания, чтобы обеспечить стабильность и предотвратить перекосы. Центр жесткости, связанный с жесткими элементами здания, должен быть распределен равномерно и оптимально, чтобы обеспечить равномерное распределение сил. Распределение нагрузок может быть оптимизировано путем правильного размещения несущих элементов, таких как стены, столбы и балки. Эти элементы должны быть расположены таким образом, чтобы равномерно переносить нагрузки от верхних частей здания до фундамента и земли. Также важно обеспечить достаточную жесткость этих элементов для предотвращения деформаций и разрушений.

Для улучшения планировки и распределения нагрузок в здании можно применять специальные системы амортизации и изоляции. Эти системы, так

Использование систем амортизации и изоляции является важным аспектом в планировке и распределении нагрузок в зданиях. Эти системы способны снизить воздействие сейсмических сил и вибраций на здание, обеспечивая его устойчивость и безопасность. Вот некоторые основные виды систем амортизации и изоляции, которые могут использоваться:

Сейсмические изоляторы представляют собой устройства, размещаемые между основанием здания и его нижними частями, такими как столбы или фундамент. Эти изоляторы обычно состоят из слоя эластомерного материала или смеси материалов, которые способны поглощать и разряжать энергию сейсмического воздействия. Они позволяют зданию двигаться горизонтально во время землетрясения, уменьшая передаваемые силы и вибрации на само здание.

Амортизационные системы используются для поглощения и снижения энергии, возникающей при сейсмическом воздействии. Они включают в себя применение специальных амортизационных устройств, таких как демпферы, которые создают сопротивление движению и поглощают энергию, уменьшая колебания здания. Эти системы могут быть интегрированы в структурные элементы здания или установлены отдельно.

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.

Инструменты цифрового проектирования, такие как CAD, и 3D-моделирование, стали неотъемлемой частью современной архитектуры, обеспечивая точность, эффективность и гибкость.

## **4.2 BIM технология в архитектуре**

*Предпосылки появления BIM технологии.*

ВІМ-технология представляет собой комплексный подход к проектированию, в котором все данные и информация о здании собраны и интегрированы в единую модель. ВІМ-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 САД 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 [139]:

- 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 ВІМ проектирования*

ВІМ проектирование является одним из самой развивающихся на сегодняшний день САД системой, основанной на информационном моделировании зданий. В архитектурной деятельности под методом с использованием ВІМ 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 ВІМ-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 ВІМ-инструментов

Данная концепция берет начало своего существования с 70-х годов XX века. Первым ВІМ инструментом считается программа ArchiCAD [130], 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

ВМ-инструментами и стало революционным продуктом. Данная платформа использовала визуальную среду программирования с целью создания «семейств», которые будут оснащены определенным набором параметров, также Revit стал первым продуктом, который ввел временной показатель как неотъемлемый элемент четырехмерного моделирования, это предоставило возможность прогнозировать строительные процессы на основе ВМ-модели, а также полноценно моделировать процесс строительства [139].

Одним из первых случаев применения программы в реальном проекте служит кейс проектирования Башни Свободы в Манхэттене. Этот проект был разработан в нескольких отдельных, но между тем взаимосвязанных между собой моделях, в режиме реального времени связи проецировались в графическом представлении, что позволяло своевременно оценивать экономический аспект проекта и затраты на материальные ресурсы. наблюдающийся прогресс в координации строительных процессов и эффективное планирование операций на площадке стали аргументом в пользу разработки совершенствования программного обеспечения, которое может использоваться для единовременного взаимодействия всех участников, задействованных в реализации проекта.

Сегодня Revit является одной из самых популярных программ информационного моделирования, предназначенная для различных специалистов в области строительства: инженеров, конструкторов и архитекторов. ВМ-проектирование является крайне эффективным и перспективным инструментом, совершенствующимся и дополняющимся разработчиками ежегодно.

### Практика применения ВМ в России

В Российской Федерации данная технология развита довольно слабо, однако правительство активно способствует внедрению ВМ в процессы проектирования. Уже был разработан ряд законопроектов, касающихся применению ВМ-инструментов. В 2014 году главой Минстроя был подписан приказ «Об утверждении плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства». Позднее, 2 марта 2017 года свет увидел первый из четырех запланированных сводов правил, посвященных информационному моделированию. В СП 301.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами». В данном тексте указаны главные особенности использования ВМ технологий в производственно-технической области и приводится ряд требований, приписываемых модели.

Все большее число компаний в ходе своей работы обращаются к инструментам информационного моделирования. Отсюда повышается спрос у работодателей в

специалистах, имеющих опыт работы с BIM программами. В России также идут активные разработки.

### *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 [24]. 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 конструировании 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.

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. Данную технологию принято обозначать аббревиатурой A-BIM. Такой метод информационного моделирования подразумевает алгоритмический подход к BIM технологии и пока только набирает свою популярность [115].

Поскольку для реализации метода A-BIM нужно разработать новый подход в архитектурном программировании, ряд ученых сегодня работают над решением этой задачи. В исследовании [83] 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

Внедрение информационного проектирования в структуру строительных работ обеспечивает повышенную эффективность принимаемых решений на каждом этапе проектирования, и, как следствие, к повышению рентабельности применения BIM-технологии.

Огромное количество существенных преимуществ, которыми обладает BIM-моделирование, определенно обеспечит данному архитектурному инструменту в будущем широкое распространение и повышение влияния в сфере строительства.

Ландшафтные архитекторы начинают включать BIM в свои цифровые наборы инструментов. Недавний опрос, проведенный сетью профессиональной практики Американского общества ландшафтных архитекторов в области цифровых технологий обнаружили, что 21,8 процента из 480 членов ASLA, ответивших, сказали, что их фирма в настоящее время использует Revit, и 30,6 процента были заинтересованы в принятии рабочего процесса BIM [83]. С увеличением числа архитекторов, внедряющих BIM, ландшафтные архитекторы начали прокладывать свой путь к этой сложной технологии.

Основное преимущество использования BIM для ландшафтных архитекторов заключается не в его мастерстве моделирования, а скорее в способах, которыми он обеспечивает связь между дизайнерами. Ландшафтные архитекторы, которые работают с архитекторами, обычно сталкиваются с разочарованием, когда приходит время обмениваться файлами, в основном из-за отсутствия координации файлов между моделями BIM архитектора и чертежами AutoCAD ландшафтного архитектора. Это отсутствие координации означает, что

проекты архитектуры и ландшафтной архитектуры происходят в отдельных параллельных рабочих процессах. Для обмена файлами архитекторы преобразуют свою трехмерную модель BIM в двухмерный план САПР, сокращая сложную модель здания до простого чертежа, в котором отсутствует важная информация. Ландшафтный архитектор, в свою очередь, предоставит двухмерный чертеж САПР архитектору, который вставит чертеж в трехмерную модель BIM. Этот процесс повторяется и отнимает много времени, но он также приводит к тому, что проекты постоянно не синхронизированы друг с другом, что требует бесконечных изменений, чтобы сохранить выравнивание здания и ландшафта.

Преимущества использования BIM технологий в ландшафте:

1. С BIM все моделируется в 3D с самого начала. По сравнению с традиционным способом составления проектов в планах, разрезах и 2D-чертежах и, наконец, создания 3D-модели для визуализации, BIM потребляет

гораздо меньше времени даже при сложностях в программном обеспечении. Модель 3D BIM с большим объемом данных может помочь архитекторам представить, как будет выглядеть проект в конце.

2. С BIM каждый объект в дизайне связан с его базой данных. Которые могут включать такие детали, как размеры, вес, стоимость и т.д. Это очень помогает в подсчете объемов материалов, составлении графиков и определении затрат. Не говоря уже о том, что любые изменения в дизайне могут быть сделаны с минимальными хлопотами.

3. BIM — это облачный инструмент, позволяющий взаимодействовать в реальном времени между командой, работающими над различными аспектами одного и того же проекта.

Главная претензия ландшафтных архитекторов заключается в том, что программы BIM плохо разработаны для моделирования сложных топографических поверхностей. Другим большим недостатком является то, что BIM - информация - недоступна для компонентов ландшафта, как для архитектурных элементов [указать ссылку авторов] [137].

Данные BIM становятся все более доступными для определенных компонентов ландшафта, таких как осветительные приборы, скамейки, столбики и другие предметы обстановки промышленного производства.

Таким образом, BIM технология в архитектуре существенно улучшает процесс проектирования и строительства, обеспечивая совместимость данных и интеграцию всех этапов проекта. Но имея преимущества возникают ряд вопросов о которых требуется развития времени. Наблюдения выделяют ключевые проблемы и вызовы, с которыми сталкивается индустрия в процессе внедрения BIM (Building Information Modeling):

Недостаток стандартов и нормативов - данный аспект затрудняет интероперабельность — возможность совместного использования информации в рамках одного проекта, что критично для эффективной работы.

Недостаток квалифицированных специалистов - профессионалы, способные эффективно работать с БИМ, требуются на рынке, и их недостаток может стать существенным препятствием.

Недостаток инвестиций и финансирования - внедрение БИМ требует существенных инвестиций в оборудование и программное обеспечение, а также в обучение персонала.

Проблемы безопасности и защиты данных - в эпоху цифровизации данные становятся все более ценным активом, и их утечка или неправомерное использование может привести к серьезным последствиям.

Решение этих проблем требует комплексного подхода, включая участие государства для создания стандартов, внедрение программ обучения и переподготовки, а также разработку стратегий финансирования и защиты данных.

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

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, равно, 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. 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).

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.

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.

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 [141]. 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.

Поскольку данная технология относительно нова и находится в процессе постоянных изменений и доработок, не существует четких правил каким должно быть пространство VR. Однако, для достижения конкретных задач все же существует набор необходимых элементов в системе VR, наличие которых необходимо отслеживать для получения желаемых эффектов. Так, описывая VR, многие исследователи говорят об ее иммерсивности и интерактивности, принимая во внимание, что одно виртуальное пространство может сочетать в себе обе эти характеристики [150]. Принципиальное отличие данных понятий заключается в принципе организации описываемого ими пространства и информации внутри конкретной виртуальной системы. Такая категоризация является удобной и крайне актуальной для эпохи постмедиальности, в которой, как считает американский искусствовед Р. Краусс, пребывает современное искусство и архитектурный дизайн [108]. Для данного периода характерно слияние стилей и жанров, что усложняет описание и универсализацию стилистических объектов, и именно поэтому, так необходимо оперировать понятиями иммерсивности и интерактивности в пространстве цифровой архитектуры.

Иммерсивные пространства VR предполагают использование технологических средств для создания у человека ощущения пребывания в сгенерированном компьютером пространстве. Это своего рода попытка объединить два физически непересекающихся мира: реального и виртуального. Приведенные ранее панорамные аналоги VR очень конкретно отражают ранние аналоги данного замысла, однако добиться высокого уровня иммерсивности стремились творцы различных областей. В произведениях литературы, живописи и музыки глубина восприятия во многом определяла интерес к тому или иному произведению. Сегодня иммерсивные эффекты можно наблюдать в сфере киноиндустрии, театральных представлениях и пространстве взаимодействия виртуальных сообществ. Сложность данного понятия и его оценки заключается в крайне размытых границах понимания человеческого восприятия, того, как создание распознает и разделяет образы реального и виртуального мира. Однако, исследования по данной теме продолжают проводиться и основной фокус внимания ученых здесь направлен на технологические аспекты моделирования человеческого сознания посредством визуализации искусственного окружения.

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 [33]. 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 – постараться сделать 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 [88]. 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 [8].

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

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

На рисунке 2 представлена диаграмма процентного распределения различных областей применения ВР в проектировании [8].

Самой популярной областью применения ВР выступает презентация архитектурных объектов в виде виртуальной трехмерной модели. Использование такого устройства позволяет оценить проектируемые объекты как архитекторами, разрабатывающими макеты, так и заказчиком для согласования хода работы. Как следствие наблюдается увеличение скорости проектирования, а также повышение качества создаваемого объекта и степень его соответствия заявленным требованиям. Помимо гарнитурного формата, существует возможность реализации ВР в виде проекционных систем и комнат ВР. 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 ВР 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.

Второй по распространённости применения функцией ВР предстает мониторинг процессов проектирования на всех его этапах. Данный метод может упрощать анализ расположения оборудования или разрабатывать более эффективную и продуманную логистику строительной площадки. Следующая область применения – координирование участников проекта, которое обеспечивает корректную работу готовой системы в результате постоянной сверки и оценки результатов работы специалистами разных производственных отделов. И наконец, небольшой процент применения технологий ВР занимают обучение неопытных работников. Инструмент хорошо себя показывает в

ситуациях, когда тренировки в реальных условиях слишком дорого обходятся компании или вовсе опасны для самого обучающегося. В рамках строительного дела примером выступает обучение сварочному делу, которое является достаточно опасным процессом, особенно для новичка. Стоит отметить, что применение каждого из этих методов ведет уменьшению недочётов и ошибок в проекте, что в свою очередь позволяет экономить средства на их исправлении, а также повышать репутацию компании.

Данное распределение, составленное на базе опроса специалистов архитектуры и проектирования, позволяет увидеть какие сферы применения VR не используются совсем или используются мало. На основании таких данных разработчики технологий VR могут сделать выводы о том, в каких сферах существующие устройства недостаточно удобны для применения их в проектировании и по возможности доработать их.

Сегодня VR проявляется в трех архитектурных методах: параметрическое проектирование, алгоритмическое построения форм, а также применение компьютерных программ при эксплуатации сооружений. В области дизайна и архитектуры технологии VR позволяют представлять объекты в условиях, максимально близких к реальным, экономить на исправлении недочетов и ошибок, а также оценивать промежуточные этапы строительства.

Музеи выполняют важную культурно-историческую, исследовательскую и образовательно-воспитательную функцию, сохраняя память об исторических событиях и связывая современного человека с представителями давно ушедших поколений. Пожалуй, данные учреждения никогда не утратят своей актуальности благодаря уникальной способности побуждать человека чувствовать сопричастность к миру и времени.

Технологии VR позволяют музеям лучше выполнять свою обучающую функцию, а также повышают степень наглядности предоставления информации [58]. Известно, что человеческий мозг способен лучше понять и усвоить информацию, если он сталкивается с ней на практике, контактирует с изучаемым объектом и может изучить его визуальный образ. Такой опыт сильнее отпечатывается в сознании человека и с большей вероятностью вызовет глубокие размышления, нежели набор сухих данных. Однако, не всегда у музеев существует возможность представить экспонат на своих выставках. Иногда это нереализуемо с финансовой, транспортной или договорной точек зрения, а в случае архитектурных сооружений и памятников архитектуры это в принципе не представляется возможным ни при каких условиях.

Технологии VR – недавний инструмент, появившихся в арсенале музейных работников, однако очень хорошо вписавшийся в форматы экскурсий, онлайн-туров и виртуальных реставраций. От полного внедрения данной технологии музеи сдерживает высокая стоимость и тяжелая доступность необходимых технических продуктов, что часто является определяющим фактором для образовательных учреждений и культурных центров. Однако, очевидные плюсы данной технологии, а также коммерческое давление, побуждает владельцев музеев обратить внимание на виртуальное дополнение к своим выставкам. Для

музеев особую ценность представляют дисплеи VR и интерактивные цифровые программы, которые позволяют посетителям совершить путешествия в пространстве и времени, не выходя из помещения [58].

В архитектурной практике прием трехмерного моделирования применяется уже достаточно давно, однако широкое внедрение данной методики в процессы реставрации наблюдается сравнительно недавно. Новейшие компьютерные технологии помогают воссоздавать наиболее достоверный исторический вид памятников архитектуры на основании сохранившихся данных, позволяя отходить от применения традиционных методов: макетов и художественных изображений. Использование современных компьютерных программ облегчило процесс погружения в культурный контекст прошлого без использования дорогостоящего и, зачастую, нереализуемого конструктивного изменения реального здания. В данном случае виртуальные технологии выполняют важную просветительскую роль, визуализируя внешний облик сооружений культурного наследия. С их помощью архитекторы и историки смогли существенно расширить и развить музейную деятельность, поскольку трехмерные модели дают более полное представление не только о самом облике того или иного памятника архитектуры, но и о людях, которые с этим сооружением взаимодействовали. Применение компьютерных технологий укрепляет и делает более глубокой связь современного человека с его предшественниками, позволяет заглянуть в прошлое и лучше его понять. В качестве яркого примера можно привести недавнюю виртуальную реконструкцию Михайловского замка в Санкт-Петербурге, результатами которой явились трехмерные модели оригинального здания, подкрепленные накопленными историческими фактами [101].

В целях культурного просвещения VR позволяет ученым привлечь большее внимание к результатам своей работы, что особенно актуально для археологических исследований [42]. Для знакомства посетителей с интересными археологическими находками важно не только представить обнаруженные объекты, которые есть возможность транспортировать в здание музея, но и дать понимание о самом месте раскопок, само по себе обладающее огромной музейной ценностью. В таком случае как нельзя кстати приходятся визуальные средства технологий VR.

Ярчайшим примером внедрения технологий визуализации в музейное пространство является расположенный в Греции «Фонд эллинского мира», целью которого является объединение археологов, историков, IT-специалистов и художников для создания визуальных инструментов представления объектов культурного наследия Греции с целью просвещения. Виртуальные технологии применяются в качестве средств обучения, визуализации и трехмерных реконструкций. В здании фонда установлены две иммерсивные системы VR: панель, расположенная под углом 45%, и кубическая установка с четырьмя поверхностями обратной проекции. Посетители видят проецируемое изображение в объеме благодаря очкам трехмерного видения и могут свободно передвигаться внутри виртуального пространства, взаимодействуя с цифровыми

объектами при помощи специального ручного портативного устройства. Все это побуждает посетителей активно учувствовать в виртуальном сюжете и исследовать его особенности.

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 [6].

Автор работы [121] считает, что в будущем основным аспектом архитектуры станет так называемое «электронно-биоморфное» пространство, совмещающее в себе реальное и в 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. Такая среда может стать значительно более комфортной и дружелюбной, она будет как бы образовывать с человеком единое целое.

Однако, несмотря на существующие преимущества и очевидную перспективность технологий нейронных сетей, ее внедрение в архитектурные процессы происходит крайне медленно, чаще всего локально в отдельных передовых компаниях. Такие низкие темпы распространения связаны со слишком большой стоимостью данной инфраструктуры VR. Но уже сегодня существует возможность значительно сократить эти расходы благодаря использованию технологии виртуального рабочего места (VRM). Вместо покупки собственных графических интерфейсов архитектурные компании в ряде случаев могут использовать их удаленно. Интеграция трёхмерных технологий и VRM в структуру одного рабочего места способствует более рациональному распределению ресурсов. Так, на одной видеокарте могут одновременно работать несколько архитекторов.

На основании изложенного выше можно заключить, что возможно уже в ближайшем будущем технологии VR будут распространены в архитектуре повсеместно в качестве различных инструментов визуализации, оценки и коммуникаций. С каждым новым годом технологические разработки становятся все более доступными для потребителей. Как только произойдет снижение стоимости данных инструментов визуализации, технология начнет быстро распространяться во многих архитектурных учреждениях.

Технологии виртуальной реальности и дополненной реальности обещают революционизировать многие индустрии, включая ритейл и производство. С использованием настольного шоу-рума клиенты могут погрузиться в виртуальную среду, где они видят реальные изображения продукции или слышат реальных продавцов, преодолевая географические ограничения. Например, продукты, представленные в Токио, могут быть просмотрены клиентом из другой префектуры, как если бы он проходил через удаленный шоу-рум. С

другой стороны, в механике обсуждаются преимущества пантографного механизма, который улучшает рабочий объем и обратную подвижность параллельного манипулятора. Отмечается, что дополненная реальность обогащает реальный мир, накладывая виртуальные данные на физическую среду, что особенно полезно в областях, таких как строительная инженерия и архитектура [19].

VR и AR технологии позволяют архитекторам и клиентам взаимодействовать с моделями зданий в виртуальной среде. Это позволяет пользователям пройти 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 [75].

Словосочетание «виртуальная реальность» всё чаще встречается во всех сферах нашей жизни. Но для начала внесём ясность в терминологию. Итак, всё что существует вокруг нас — это объективная реальность; когда мы погружаемся в полностью смоделированный человеком мир — это виртуальная реальность. Между двумя этими крайностями расположена смешанная реальность. Смешанную или дополненную реальность получают путём наложения виртуальных объектов на реальный мир [58].

Дополненная реальность (augmented reality- далее AR) — это технология, позволяющая совместить реальное пространство и виртуальные объекты в режиме реального времени. Эти объекты могут представлять собой любой тип информации: изображение, текст, видео, ЭБ-модель [62].

При помощи виртуальной реальности (virtual reality - далее VR) мы можем создать виртуальное пространство, воспринимаемое человеком непосредственно через органы чувств - зрение, осязание, слух и т.д. [10].

Современный рынок может предложить разработчику довольно широкий спектр программного обеспечения необходимого для создания дополненной реальности. Самой популярной платформой является Unity, обуславливается это существованием бесплатной версии данной программы и разнообразием руководств по использованию.

Как правило, для разработки используют плагины и библиотеки, так как они открывают множество возможностей. Наиболее мощной и функциональной библиотекой считается Vuforia. Она имеет достаточное количество преимуществ относительно других, например, одновременное распознавание нескольких целей, возможность их отслеживания, распознавание 2D и 3D форматов, сканирование для последующего распознавания реального объекта и т.д.

Какие возможности предоставляет виртуальная реальность в архитектуре? В первую очередь, AR позволяет создать более эффективную визуализацию. Благодаря этой технологии значительно упрощается решение начальных задач при проектировании. Начиная с исследования локации будущего строительства, проверки возможности совместить архитектурные и дизайнерские решения и заканчивая, оценкой интерьера и представления его заказчику. Кроме того, появляется возможность быстрого внесения правок в проект. При помощи

устройства с поддержкой AR/VR можно вносить изменения в модель мгновенно, ведь предметы, расположенные в виртуальном пространстве, можно передвигать, видоизменять и заменять.

На 2020 год можно выделить несколько приложений, созданных под нужды архитектуры и дизайна.

Среда IrisVR является лидером среди ПО для AR в архитектуре. Она позволяет переместить до 12 человек в виртуальную модель будущего объекта. Находясь внутри, можно вносить изменения в габариты и масштабы объектов, делать наброски и подписи к элементам модели. Она используется специалистами BIM и VDC (Virtual Design and Construction, проектными фирмами и инженерами, которые координируют 3D-модели и реализуют процессы проектирования и строительства [44].

Revizto - самое многофункциональное программное обеспечение, которое объединяет все части проекта в единую 3D модель. С помощью удобного инструмента отслеживания ошибок участники проекта могут легко идентифицировать и управлять проектными задачами как в 3D, так и в 2D. InsiteVR по своему функционалу схожа с IrisVR, позволяет также находясь внутри объекта корректировать его, оставлять заметки на элементах макета [56].

ARki - это приложение, которое позволяет создавать архитектурные 3D модели с несколькими уровнями интерактивности и визуализировать их. Принцип его работы заключается в наложении трёхмерных моделей на существующие планы этажей. Кроме того, приложение позволяет в режиме реального времени изменять модели и производить их анализ, изменять материалы и перемещать объекты. Поддерживается на платформах Android и IOS.

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 [78].

Использование цифровых технологий вместе с творческими идеями архитектора переопределяет взаимоотношения между архитекторами и производителями, а также меняет понимание формы в архитектуре. Прогресс компьютерных технологий за последние десятилетия расширил границы пространственного моделирования архитектурных объектов, позволяя с помощью виртуальной реальности отображать объекты в условиях, максимально приближенных к реальности. Виртуальная реальность, концепция которой возникла в 60-х годах XX века, объединяет исследования в сфере трехмерной компьютерной графики и взаимодействия человека и машины [107]. 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. [3, стр. 3].

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 [140].

Виртуальная реальность представляет собой инструмент, который может использоваться в процессе проектирования и архитектурных исследованиях. Восприятие играет ключевую роль в контексте виртуальной реальности, так как оно связано с такими концепциями разработки VR-приложений как погружение, присутствие и движение в виртуальной среде. В 1965 году Иван Сазерленд, один из первых исследователей в этой области, предложил идею виртуальной реальности как системы, способной передавать информацию о различных ощущениях, таких как запах, вкус, визуализация, звук и телесное восприятие. Таким образом, в одном из первых определений виртуальной реальности акцентировалось внимание на значимости восприятия [141].

Существенным является понимание природы восприятия и его функционирования. Алгоритм восприятия информации человеческим мозгом сводится к следующим шагам: в каждый момент времени мозг воспринимает окружающий мир, обрабатывает полученную информацию и реагирует на неё действиями. По своей сути, восприятие информации человеческим мозгом можно сравнить с процессом компьютерной обработки входной информации. Ведь во время сессии виртуальной реальности или компьютерной игры процессор выполняет три основных действия: обработку входящих данных, определение текущего состояния игры и визуализацию этого состояния, выдаёт конечный результат в форме изображения игрового процесса (Рисунок 36).

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 (Рисунок 37).

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 (Рисунок 38).

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 [121].

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 [66].

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 [146].

Таким образом, технологии виртуальной и дополненной реальности значительно упрощают и ускоряют процесс проектирования сооружений и разработки дизайна для них. Смешанная реальность уже активно используется во многих фирмах не только для представления модели здания, но и для коллективной работы над его проектированием. VR-технологии в архитектуре обеспечивают возможность непосредственного взаимодействия с проектом еще на этапе проектирования, что позволяет более точно понимать и оценивать пространственные качества проекта.

### **Выводы по четвертому разделу**

1. Показано, как цифровая культура и связанные с ней технологии влияют на архитектурное формообразование, включая использование новых материалов, техник и концепций.
2. Выявлена, как архитектура, в виде обратной реакции, влияет на развитие цифровой культуры, используя ее в своих "целях", при создании общественных пространств, социального взаимодействия и культурных практик.
3. На основе конкретных примеров проанализировано взаимодействие архитектуры и цифровой культуры и определены ключевые тенденции и паттерны в этом взаимодействии.
4. Разработана комплексная теоретическая модель взаимодействия между архитектурой и цифровой культурой, включающей в себя все выявленные современных методов проектирования.
5. Формообразование в Revit: проведены эксперименты на основе Хан-Шатыр, ЭКСПО-2017 и других объектов.

## **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, также 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.

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.

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 [15]. 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 [64].

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.

Проектирование на основе данных, собранных с помощью IoT, позволят архитекторам создавать здания, которые наиболее точно отвечают потребностям пользователей и контексту окружающей среды, в этом будет заключаться функционал направление как часть комфорта и безопасность, и энергоэффективность в устойчивой архитектуре. Интернет вещей (IoT) в архитектуре может значительно трансформировать процессы проектирования, строительства и эксплуатации зданий. IoT предполагает использование сети взаимосвязанных физических объектов, которые собирают и обмениваются данными. Применение IoT в архитектуре открывает возможности для более точного сбора и анализа данных о зданиях и их окружении. Использование сенсоров и устройств IoT позволяет мониторить и контролировать различные параметры зданий в реальном времени, включая температуру, влажность, освещенность, энергопотребление и другие. Эти данные могут использоваться

для оптимизации работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC), освещения и других систем здания. Кроме того, данные, собранные с помощью IoT, могут использоваться для предиктивного обслуживания - прогнозирования потребности в обслуживании или ремонте систем здания до того, как они выйдут из строя. Это может помочь снизить затраты на обслуживание и увеличить продолжительность жизни здания. В этом ключе использование IoT, здания могут стать "умными" и реагировать на изменения внешней и внутренней среды, автоматически адаптируясь к ним. Например, системы управления зданием могут автоматически регулировать освещение и температуру в ответ на изменение погодных условий или присутствие людей.

Индустрия 4.0 также включает в себя использование больших данных и машинного обучения. В архитектуре эти технологии могут использоваться для анализа больших объемов данных, собранных с помощью сенсоров и устройств IoT, для прогнозирования тенденций и выявления инсайтов, которые могут быть использованы для оптимизации процессов проектирования, строительства и эксплуатации зданий. Машинное обучение также может использоваться для автоматизации некоторых задач проектирования и анализа [32].

Включение IoT в процесс архитектурного проектирования позволяет проектировщикам внедрять разнообразные симуляции и вычисления на этапах разработки проектов.

Информация, получаемая от IoT-устройств, может быть использована для генерации детальных моделей и симуляций, что позволяет архитекторам и инженерам предсказать и оптимизировать различные параметры здания, включая его энергоэффективность, комфортность для жителей и влияние на окружающую среду. Помимо этого, сведения, собранные IoT-устройствами, можно использовать во время эксплуатации здания. Эти данные могут помочь в обнаружении и предотвращении различных проблем, связанных с обслуживанием здания, и улучшить общую эффективность его работы. Так, IoT становится одним из элементов цифровой культуры в архитектуре, оказывая влияние на процесс формообразования на различных стадиях проектирования и эксплуатации зданий.

Создавать точные трехмерные модели зданий и применять компьютерные программы для анализа и оптимизации дизайна. Это позволяет предвидеть результаты и эффекты проектирования еще до начала строительства, что снижает риски и позволяет вносить корректировки на ранних этапах. Прогностическое моделирование также позволяет анализировать энергетическую эффективность, освещение, вентиляцию и другие факторы, что помогает оптимизировать проект с точки зрения устойчивости и комфорта. В Индустрии 4.0 объекты могут быть подключены к сети интернета вещей и обмениваться данными между собой. В архитектуре это открывает возможности для сбора данных о здании, таких как энергопотребление, использование пространства, качество воздуха и другие параметры. Эти данные могут быть

использованы для анализа и прогнозирования, а также для управления зданием с целью повышения эффективности, комфорта и безопасности.

Использование роботов и автоматизированных систем в строительстве и эксплуатации зданий может привести к повышению производительности и точности работ. Роботы могут выполнять сложные задачи, такие как строительство, монтаж и техническое обслуживание с высокой степенью эффективности.

Роботизация и автоматизация стали неотъемлемой частью современного архитектурного процесса, открывая новые горизонты для повышения эффективности, точности и скорости выполнения различных задач. Роботы стали не только инструментами для автоматизированного изготовления прототипов и конструкций, но и способны выполнять сложные операции по резке, сварке, формовке и сборке материалов. Это приводит к значительному ускорению процесса создания прототипов и возможности экспериментировать с различными формами и материалами. Помимо производства, роботы активно внедряются в процесс строительства зданий. Они могут быть задействованы в таких работах, как укладка кирпича, установка элементов фасада, монтаж конструкций и даже в роботизированном строительстве. Применение роботов в строительстве способствует увеличению скорости работ, снижению затрат на рабочую силу и повышению качества выполненных работ. С учётом после завершения строительства, роботы и автоматизированные системы продолжают играть важную роль, используя для управления и обслуживания зданий. Автономные роботы могут выполнять множество задач, начиная от уборки здания и заканчивая обслуживанием систем отопления и кондиционирования, мониторингом безопасности и даже доставкой грузов внутри здания. Это не только повышает эффективность работы здания, но и снижает необходимость в присутствии человека для выполнения рутинных задач.

Автоматизированные системы сбора данных и аналитики могут использоваться для мониторинга энергопотребления и эффективности зданий. Роботизированные сенсоры могут собирать информацию о температуре, освещении, вентиляции и других параметрах в режиме реального времени. Эти данные могут быть анализированы для оптимизации энергопотребления и повышения энергоэффективности здания. Индустрия 4.0 в архитектуре открывает новые перспективы промышленности для прогнозирования и автоматизации процесса проектирования и строительства, обеспечивая повышение эффективности и устойчивости архитектурных проектов.

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

Основания цифровизации начинается с появлением компьютеризации. Период ЭВМ отчасти является началом цифровизации, но не относится к цифровому миру, это как искусственный интеллект в начале периода цифровизации осуществлен, но активное его использования ИИ во всех сферах не наступил еще. Но, тем не менее, уже претерпевает вездесущие рекламное ИИ, а также, лозунгом «Нейросети».

Нейросети представляют перспективное направление в архитектурном проектировании и могут значительно влиять на его развитие. Нейросети могут использоваться для генерации новых и инновационных архитектурных форм. Путем обучения нейронных сетей на большом объеме архитектурных данных, можно создать модели, способные генерировать новые формы и структуры, учитывая заданные критерии и ограничения. Такой подход может помочь архитекторам и дизайнерам в исследовании и экспериментировании с различными вариантами формообразования.

Нейросети стали важным инструментом в современном архитектурном дизайне и планировании, обеспечивая анализ и оптимизацию проектов. Используя архитектурные данные и историческую информацию о проектах для обучения нейронных сетей, архитекторы могут создавать модели, которые предсказывают такие важные аспекты, как энергопотребление, воздействие на окружающую среду или стоимость проекта. Это упрощает принятие более информированных решений, учитывающих различные факторы проекта. В создании более реалистичных визуализаций и виртуальных моделей архитектурных проектов нейросети также незаменимы. Модели, обученные на больших объемах графических данных, могут генерировать высококачественные и детализированные изображения, улучшая тем самым взаимопонимание между архитекторами, клиентами и другими заинтересованными сторонами. Наконец, нейросети могут быть использованы для анализа и прогнозирования использования пространства в зданиях и городских средах. При обучении на данных о потоках людей, транспорте или использовании помещений, они могут создать модели, способные предсказывать и оптимизировать использование различных вариантов решений. Таким образом, нейросети оказываются мощным инструментом, упрощающим процесс проектирования и обеспечивающим эффективное использование ресурсов.

Анализ и прогнозирование использования пространства являются важными аспектами архитектурного проектирования. Применение нейросетей в этой области открывает перспективы для более точного анализа и прогнозирования использования пространства. Вот некоторые способы, которыми нейросети могут быть применены в анализе и прогнозировании использования пространства. Нейросети могут быть обучены на данных о движении людей в определенных пространственных контекстах, таких как торговые центры, аэропорты или городские площади. Это позволяет анализировать и предсказывать потоки людей, оптимизировать планировку пространства и принимать решения о размещении объектов и инфраструктуры для улучшения эффективности и безопасности.

Нейросети могут помочь в оптимизации использования помещений в зданиях. Анализируя данные о пользовании помещений, нейросети могут предсказывать наиболее эффективное использование пространства, оптимизировать расположение мебели и объектов, учитывая потребности и предпочтения пользователей. Они могут использоваться для прогнозирования

спроса на жилье и коммерческие помещения. Анализируя данные о демографических и экономических показателях, а также о предпочтениях и поведении потребителей, нейросети могут предсказывать изменения спроса на определенные типы недвижимости и помогать в принятии решений о развитии и инвестициях в данную область. Нейросети могут быть применены для адаптивного и интеллектуального управления зданиями. Анализируя данные о потреблении энергии, качестве воздуха и использовании пространства, нейросети могут оптимизировать системы управления, автоматически регулируя условия в зданиях для обеспечения комфорта пользователей и энергоэффективности.

Адаптивное и интеллектуальное управление зданиями является важным направлением развития в области архитектуры. Применение нейросетей в этой сфере открывает новые возможности для создания эффективных и умных зданий. Вот некоторые способы, которыми нейросети могут быть применены в адаптивном и интеллектуальном управлении зданиями. Нейросети могут быть обучены на основе данных о потреблении энергии, качестве воздуха, освещении и других параметрах здания. После обучения они могут принимать решения об оптимальных настройках систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и освещения. Такой подход позволяет улучшить комфорт пользователей, снизить потребление энергии и повысить энергоэффективность здания. Исследования в области машинного обучения и проектирования, основанного на знаниях, взаимно обогащают друг друга. Машинное обучение может облегчить трудоемкий процесс представления знаний о дизайне, а также способствовать разработке и оптимизации методов проектирования [20].

Нейросети могут использоваться для прогнозирования изменений внешних условий, например, погоды, и адаптировать системы управления зданиями соответственно. Они могут анализировать данные о температуре, влажности, интенсивности света и других факторах, чтобы определить оптимальные настройки систем в различных условиях. Таким образом, здание может эффективно реагировать на изменения и обеспечивать комфортные условия для пользователей. Они могут взаимодействовать с устройствами сети Интернет вещей, такими как датчики, счетчики и умные устройства, в здании. Они могут собирать и анализировать данные от этих устройств для оптимизации управления зданием. Например, нейросети могут автоматически регулировать освещение и температуру в помещениях на основе данных о присутствии пользователей или о солнечной инсоляции.

Обучение и адаптация нейросетей со временем будет играть все более важную роль в адаптивном и интеллектуальном управлении зданиями. Эти процессы позволяют нейросетям приспосабливаться к изменяющимся условиям и оптимизировать свою работу для достижения наилучших результатов. Вот несколько способов, которыми обучение и адаптация со временем могут быть применены в архитектурном контексте. Нейросети могут непрерывно собирать данные о потреблении энергии в здании и анализировать их с течением времени. На основе этих данных они могут учиться оптимизировать работу систем

отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) для снижения энергопотребления и экономии ресурсов. Например, нейросети могут адаптировать расписание работы HVAC системы в зависимости от изменений в погоде или потребности пользователей. Они могут обучаться анализировать данные о освещении в здании и предсказывать оптимальные настройки осветительных устройств в разных условиях. Они могут учитывать внешний свет, присутствие пользователей и предпочтения, чтобы создавать комфортные и энергоэффективные условия освещения. С течением времени нейросети могут адаптировать свои рекомендации и настройки освещения на основе обратной связи от пользователей. Могут быть обучены анализировать данные о работе различных систем и оборудования в здании, чтобы прогнозировать возможные сбои и неисправности. Это позволяет принимать преактивные меры по обслуживанию и предотвращению проблем. Например, нейросети могут анализировать данные о работе лифтов, систем безопасности или системы электропитания и предупреждать о возможных сбоях или неисправностях.

Нейросети могут обучаться анализировать данные о предпочтениях и поведении пользователей в здании. Улучшение пользовательского комфорта является важной целью в архитектуре, и нейросети могут играть значительную роль в достижении этой цели. Они могут анализировать данные и обучаться на основе предпочтений и потребностей пользователей, а затем адаптировать и оптимизировать условия в здании для обеспечения максимального комфорта. Вот некоторые способы, которыми нейросети могут улучшить пользовательский комфорт в архитектуре - они могут учитывать предпочтения пользователей, такие как температура, освещение и уровень шума, и оптимизировать эти параметры в соответствии с индивидуальными предпочтениями. Например, они могут настроить систему отопления и кондиционирования воздуха (HVAC) в каждом помещении в соответствии с предпочтениями пользователей, создавая комфортные условия для каждого отдельного человека.

Нейросети могут контролировать осветительные устройства в здании и адаптировать их яркость и цветовую температуру в зависимости от времени суток, погодных условий и активности пользователей. Это может помочь создать приятную атмосферу и оптимальные условия освещения для различных задач, таких как работа, отдых или социальное взаимодействие. Могут анализировать уровень шума в разных зонах здания и принимать меры для его снижения. Они могут контролировать звуковые системы, шумоизоляцию помещений и даже регулировать фоновую музыку или звуки природы, чтобы создать спокойную и приятную атмосферу.

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 [69].

Ввиду сложности понятия ИИ, в частности обозначения того, что конкретно понимается под «интеллектом», существует несколько определений ИИ, приводимые разными авторами. Одно из самых популярных гласит, что ИИ – это «научное направление, в рамках которого ставятся и решаются задачи аппаратного или программного моделирования тех видов человеческой деятельности, которые традиционно считаются интеллектуальными» [27]. В архитектуре применение интеллектуальных систем обычно нацелено на автоматизацию производственных операций и уменьшение времени принятия решений. 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, базирующихся 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 [46].

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 [27] 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 [86]. 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.

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. На рисунке 3 представлена упрощенная блок-схема модели ГСС. 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 [54]. 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 [54]. 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 [20]. 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 [94].

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 [18].

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 [52].

### **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» [147]. 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.

В XXI веке наблюдается всеобщее распространение концепции "зеленой архитектуры" в процессе проектирования и строительства зданий различного назначения, включая здания для сельскохозяйственных поселений. Эта тенденция оказывает значительное влияние на формирование как предметного, так и архитектурно-пространственного окружения, меняя критерии формирования архитектурных типов зданий. В контексте постоянного развития и прогресса, важную роль в повышении качества жизни в малых сельских поселениях играют прогрессивные социально-пространственные принципы организации проживания, которые соприкасаются с архитектурной деятельностью и цифровизацией. Определение их влияния имеет первостепенную важность для формирования типологии объектов сельскохозяйственного строительства, предусматривающих интенсивное взаимодействие с природной средой и современными технологическими ресурсами сельскохозяйственной деятельности, включая цифровые инструменты. Новые подходы к проектированию, включая цифровые, акцентируют внимание на значимости экологических аспектов сельскохозяйственной деятельности, в основе которых лежит использование природно-климатических ресурсов местности и принципы устойчивого развития и сохранения природы. Все это подразумевает применение современных технологий для оптимизации процессов и повышения эффективности использования ресурсов. Все это направлено на достижение синергии типологических особенностей архитектурной среды автономных сельских поселений на территории Казахстана с применением технологий [97].

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 цифровых фабрикационных технологий позволит реализовывать сложные архитектурные формы и структуры, а также сократить время и затраты на строительство. Это способствует развитию инновационных и экологически устойчивых решений в архитектуре Казахстана. Развитие интерактивных и умных систем в архитектуре Казахстана поможет создать более комфортную и удобную городскую среду. Применение сенсоров, сетей Интернет вещей и искусственного интеллекта позволит создать адаптивные и интеллектуальные здания, способные реагировать на потребности пользователей и оптимизировать использование ресурсов.

По мнению автора, в рамках «цифровизации» основное внимание уделяется влиянию цифровых технологий на профессиональную сферу архитектуры и на образовательный процесс в этой области. С одной стороны, происходит масштабная трансформация образовательных методов и программ, особенно в контексте вступления в Болонский процесс. Этот процесс подразумевает радикальную модернизацию дисциплин и учебных программ, в том числе в предмете "Архитектурное проектирование", где особое внимание уделяется компьютерному моделированию. Однако, несмотря на признанное значение информационных технологий в современной стратегии развития, их внедрение в архитектурное образование остается несистематизированным и часто основывается на интуитивных подходах. Это может привести к переосмыслению акцентов в образовательном процессе, уменьшая значение творчества и художественной экспрессии в пользу технических аспектов [125].

Цифровая культура способствует развитию устойчивого и энергоэффективного подхода к архитектуре. Использование цифровых инструментов позволяет анализировать и оптимизировать энергопотребление и использование ресурсов в проектах. Внедрение инновационных систем энергосбережения и возобновляемых источников энергии поможет значительно оптимизировать эти процессы. С появлением интернета в мире ежесекундно генерируется и циркулирует огромное количество информации, вместе с этим технологический прогресс продолжает ускоряться. В таких переменчивых условиях картина мира человека трансформируется, ровно как его запросы и нужды. Наблюдается общая тенденция движения от обособленности к связанности, от стабильности и устойчивости к хаотичности, содержащей в себе упорядоченные структуры. Все эти трансформации проявляют о себя в усложняющихся процессах формообразования, которые во многом отражают состояния и стремления современного общества.

В связи быстрым и, зачастую, непредсказуемым развитием технологий, на данный момент сложно предугадать как будет выглядеть архитектура даже через несколько лет. В будущем процессы слияния цифрового и реального миров вероятнее всего приведут к наступлению ряда переломных для архитектуры

моментов, которые могут иметь как положительные, так и негативные последствия для развития дисциплины.

В контексте трансформации взаимоотношений архитектуры и компьютерных технологий автор работы [4] 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 функции 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 воззрениях архитектора, результатом которых послужит появление множество разнообразных, быстроменяющихся стилей. Помимо этого, у исследователей есть серьезные опасения касаясь 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.

В связи связанная со стремительным развитием и внедрением компьютерных технологий сегодня в архитектурной среде существует обеспокоенность, касающаяся снижения спроса в специалистах, которое в будущем, по многочисленным прогнозам, будет лишь усугубляться. Система традиционных профессий разрушается цифровыми технологиями, и многие компетенции, востребованные ранее, сейчас все чаще поручаются роботам и компьютерам. В ближайшие годы вероятнее всего резко встанет вопрос о переквалификации. Сложно сказать, насколько радикально будут происходить эти изменения, но одно ясно точно: в скором будущем профессия архитектора, как и множество других, претерпит серьезные изменения и будет ожидать от специалистов новых компетенций.

Исследователи возлагают большие надежды на будущие возможности трехмерной печати. Данная технология кажется крайне перспективной и, возможно, в будущем будет повсеместно применяться во многих областях, в частности в архитектуре. Строительство станет автономным, более быстрым и точным.

В последнее десятилетие, кажется, вернулся интерес к развитию космической промышленности, который был несколько заторможен со времен СССР. В частности, компанией SpaceX был возобновлен общественный интерес к освоению космоса. Путешествия к планетам солнечной системы уже не кажется такой фантастикой как виделось это раньше. Сегодня происходит довольно быстрое развитие космической промышленности: последовательно происходят тестовые запуски ракет с безопасной посадкой на различных поверхностях, разрабатываются космические корабли многоцелевого использования. Возможно уже ближайшие к нам поколения смогут побывать на Марсе и тогда, возникнет необходимость воздвижения новых архитектурных сооружений за пределами Земли. Как раз-таки в области освоения космического пространства технология 3D печати зданий вписывается как нельзя лучше

благодаря своей автономной работе и отсутствию необходимости в большой команде рабочих. В будущем данная технология может помочь в возведении сооружений различного назначения на поверхности других планет [37].

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 [33] 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.

Цифровая архитектура (ЦА) предлагает перспективы и ограничения, связанные с адаптивным формообразованием, цифровой культурой и окружающей средой. Современные публикации акцентируют внимание на взаимосвязи между ЦА и адаптивным формообразованием, а также на роли цифровых технологий в проектировании. Отмечается, что современные проектировщики работают в контексте виртуальной реальности, и их творческая интуиция поддерживается возможностями программных комплексов, предлагающих нелинейные, креативные и футуристические решения.

Изучение эволюции методов архитектурного формообразования и роли цифровизации в архитектуре является актуальной темой для исследователей. Возникающие дискуссии помогают понять противоречия и перспективы развития цифровой архитектуры в контексте современного мира.

В данной диссертации было изучено влияние цифровой культуры на архитектуру. Обращено внимание на несколько факторов, которые, согласно содержанию исследования, оказывают значительное воздействие на связь этих двух областей. Методика исследования включает в себя развёрнутого социологического опроса, Рис XX, который позволяет более полно исследовать выбранный пласт знаний. В рамках опроса исследование разделено на ранжирование, каждый из которых рассматривает определенный аспект вопроса по:

Раздел 1. Осознание и понимание цифровой культуры - для осознания и понимания цифровой культуры;

Раздел 2. Применение цифровых технологий - раздел фокусируется на использовании цифровых технологий, их роли и важности в современной архитектуре;

Раздел 3. Влияние цифровой культуры на формообразование - раздел исследует, как цифровая культура влияет на формообразование в архитектуре.

Раздел 4. Преимущества и недостатки - раздел описывает преимущества и недостатки цифровой культуры в контексте архитектуры;

Раздел 5. Обучение и развитие навыков - раздел посвящен вопросам обучения и развития навыков в сфере цифровой культуры;

Раздел 5.1. Прогнозирование будущего в контексте цифровизации - подраздел 5.1 делает акцент на прогнозирование будущего в контексте цифровизации, обсуждая возможные сценарии и перспективы.

По результатам анализа развёрнутого социологического опроса выведены следующие выводы, которые показывают существенные детали влияния цифровой культуры на архитектуру Рис XX, это:

Многообразие форм

Цифровые технологии стали важным инструментом для современных архитекторов, обеспечивая возможности для исследования и реализации более сложных и разнообразных форм, которые ранее были трудно воплощаемы. 3D-моделирование, например, позволяет создавать сложные геометрические структуры, расширяя рамки традиционных методов и открывая новые горизонты для экспериментов с формой и пространством. Промышленность, включая такие технологии как 3D-печать и лазерная резка, предоставляет возможность воплощения этих сложных форм в физическом мире, обеспечивая создание детализированных и уникальных архитектурных элементов. Эти инновации раздвигают границы того, что возможно в архитектуре, увеличивая визуальное и функциональное разнообразие, а также делая архитектуру более гибкой и адаптивной к изменяющимся потребностям и условиям.

Сокращение времени проектирования

Цифровые инструменты и программное обеспечение стали ключевыми факторами в сокращении времени проектирования в современной архитектурной практике. Они обеспечивают возможности для быстрого и точного моделирования и визуализации архитектурных форм, что значительно упрощает процесс разработки проекта. Программы 3D-моделирования, такие как AutoCAD, Revit и Rhino, позволяют архитекторам создавать, изменять и анализировать архитектурные модели в цифровом пространстве с высокой точностью и эффективностью. Это открывает двери для быстрого экспериментирования с различными концепциями дизайна, быстрого создания прототипов и немедленного визуального представления внесенных изменений. Также, программы для архитектурной визуализации, такие как 3ds Max, Corona, Lumion и многие другие предоставляют визуальное представление проекта, помогающее архитекторам и зрителям лучше понять и оценить замысел до его реализации. В целом цифровые инструменты ускоряют процесс утверждения проекта, позволяя архитекторам и участникам процесса обмениваться идеями и

предложениями в режиме реального времени. Это способствует снижению числа ошибок и недопониманий.

#### Профессиональная трансформация

Развитие цифровой культуры преобразовывает роль архитектора, требуя новых навыков и знаний в области цифровых технологий. От профессионалов ожидается знание немало графических САД программ, начиная от 2D до сложных алгоритмичекое проектирование. Архитекторам уже необходимо быть знакомыми с новыми процессами и методами, включая использование данных, машинного обучения и искусственного интеллекта для оптимизации проектных решений, а также применение виртуальной и дополненной реальности. Это предполагает умение работать с новыми инструментами, и понимание того, как они могут улучшить качество и эффективность проектного процесса, включая понимание взаимодействия между программным обеспечением и физическими материалами, и их способность интегрировать в более широкий контекст архитектурного проектирования.

#### Общественное влияние

Цифровая культура оказывает значительное влияние на общество, меняя способы взаимодействия людей с зданиями и городской средой. Возможности виртуальной и дополненной реальности позволяют исследовать архитектурные объекты и города виртуально, что меняет наше восприятие пространства и открывает новые образовательные и социальные возможности. В то же время, развитие смарт-городов и "умной" инфраструктуры, оснащенной датчиками и сетями связи, позволяет собирать и анализировать данные для оптимизации городских функций и повышения качества жизни горожан. Кроме того, цифровые технологии могут вносить изменения в общественные нормы и ценности, например, позволяя проектировать и создавать архитектурные пространства, адаптированные для людей с различными способностями, обеспечивая принципы доступности и инклюзивности.

#### Будущие перспективы

Архитектура в контексте цифровой культуры претерпевает значительные изменения, включающие в себя развитие новых материалов, методов проектирования и строительства, и более тесное взаимодействие с IT и искусственным интеллектом. Возможности 3D-печати открывают новые горизонты для создания сложных и уникальных структур, в то время как использование цифровых инструментов и данных помогает в создании более устойчивых и адаптивных зданий. Интеграция с информационными технологиями и искусственным интеллектом ведет к появлению "умных" зданий, способных автоматически адаптироваться к изменениям окружающей среды и потребностям пользователей, что в перспективе может коренным образом трансформировать будущие города и здания.

#### Вызовы

Цифровая культура стимулирует развитие архитектуры, предлагая новые инструменты и методы проектирования, однако, эти преобразования несут и определенные вызовы. Компьютерное моделирование, 3D-визуализация и цифровые технологии расширяют границы творчества, позволяя реализовывать сложные и адаптивные проекты. Однако, для эффективного использования этих возможностей архитекторам требуется постоянное обучение и развитие новых навыков. С другой стороны, цифровые инструменты вроде виртуальной и дополненной реальности преобразуют представление архитектуры, делая проекты более понятными и доступными для клиентов и общества. Однако, вместе с этим возникают вопросы безопасности и конфиденциальности, требующие новых подходов к обработке и хранению данных.

На основе анализа и выводов, проведенных в третьем, четвертом и пятом разделах исследования, была сформулирована теоретическая модель, названная "Матрица влияния - интегральный подход к оценке эффекта цифровых технологий на будущую архитектуру Казахстана". Модель "Матрица влияния" на системном подходе охватывает технологические и экологические аспекты, социальные и культурные факторы, связанные с использованием цифровых технологий в архитектуре. Модель обосновывает необходимость и значимость цифровых технологий в современной архитектуре, а также раскрывает потенциал этих технологий для стимулирования устойчивого развития архитектурного ландшафта Казахстана.

Цифровые технологии, такие как искусственный интеллект, BIM (Building Information Modeling), 2D/3D программное обеспечение, 3D-печать и виртуальная/дополненная реальность, играют важную роль в формировании современного архитектурного ландшафта. Используя эти технологии, специалисты могут автоматизировать процессы, улучшать координацию проектов, проводить более точное планирование и исполнение, а также визуализировать и представлять свои идеи на более понятном и доступном уровне.

Зеленые технологии, такие как водоэффективность, солнечные технологии, аналитика данных и использование материалов с низким углеродным следом, становятся все более актуальными в контексте устойчивого развития. Эти технологии направлены на оптимизацию использования ресурсов, сокращение вреда для окружающей среды и создание более здорового и благоприятного пространства для жизни.

Природные, социально-экономические и культурно-исторические аспекты играют существенную роль в формировании архитектуры. Они определяют не только эстетические и функциональные особенности зданий, но и их взаимодействие с окружающим контекстом. Эти факторы включают в себя природные и климатические условия, социально-экономические условия и культурные и исторические традиции.

Уникальность регионов Казахстана определяет разнообразие архитектурных форм и подходов в стране. Каждый регион имеет свои особенности, которые влияют на выбор подходящих материалов, технологий и стилей в архитектуре.

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 (Приложение Д рис. 15).

### **Выводы по пятому разделу**

1. Представлена оценка текущих тенденций в области цифрового формообразования и прогнозирование возможных направлений их развития в будущем.

2. Выявлен потенциал современных перспективных технологий, таких как искусственный интеллект и их влияние на архитектурное формообразование.

3. Определены возможные влияния цифровой архитектуры будущего на социальные, культурные и экологические процессы.

4. Проведена развернутый социологический опрос в выявлении цифровой культуры на архитектурное формообразование.

5. Разработана теоретическая модель влияния - интегральный подход в оценке эффекта цифровых технологий на будущую архитектуру Казахстана, которая может служить для дальнейших исследований и практического применения в архитектуре Казахстана.

Полученные результаты могут способствовать продвижению и развитию цифровой архитектуры, а также помочь архитекторам-практикам, преподавателям и студентам адаптироваться к меняющемуся цифровому методу для создания новых, инновационных форм и пространств, в том числе и в архитектуре Казахстана.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Проведенное исследование в диссертационной работе, подчеркивает значимость феномена цифровой культуры в архитектурном формообразовании. Изучение эволюции цифровой культуры в архитектуре, начиная от истории её развития до предпосылок использования цифровых программ в процессе архитектурного проектирования, обнаруживает растущее влияние цифровых технологий на проектирование и реализацию архитектурных форм.

2 Механизмы и факторы архитектурного формообразования в цифровых технологиях представляют особый интерес. 'Встраивание' цифровых технологий в архитектуру и цифровое формообразование стали важнейшими факторами в современном архитектурном проектировании, существенно влияющими на диалектику взаимодействия архитектуры и цифровой культуры. Это влияние продолжает расти, формируя новые тенденции в архитектурном формообразовании и расширяя функциональные возможности цифровой культуры в архитектурном формообразовании.

3 Современные методы архитектурного проектирования, такие как использование BIM, VR и другие технологий, позволяют максимально эффективно использовать возможности цифровой культуры в архитектуре. Эти технологии обеспечивают более высокую точность и контроль над процессом проектирования, а также позволяют более тесно интегрировать различные аспекты проекта.

4 В перспективе, мы видим, что культура технологии продолжит играть ключевую роль в развитии архитектуры. Концепции производства Индустрия 4.0 и применение нейросетей откроют новые горизонты для архитектурного проектирования, позволяя создавать более сложные, но в то же время более эффективные и адаптивные формы. В контексте Казахстана, развитие цифровой культуры может стать катализатором для создания инновационной архитектуры, которая будет отражать исторические и культурные особенности страны, вмещаясь в современные технологии и мировые тренды.

В рамках исследования были опрошены специалисты и любители архитектуры. Участники опроса поделились своими представлениями о цифровой культуре, применении цифровых технологий в архитектуре и о том, как цифровая культура влияет на формирование архитектурных форм. В ходе опроса были обсуждены 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 развёрнутого социологического опроса о влиянии цифровой культуры на архитектуру указаны в Таблице 1. Рис 7.

В разделе, посвящённом осознанию и пониманию цифровой культуры, участники опроса привели свои представления о цифровой культуре, подчеркнув её растущую значимость в современном обществе и особенно в архитектуре.

Раздел, посвящённый применению цифровых технологий, освещал тему интеграции цифровых решений в проектирование и воплощение архитектурных объектов. Влияние цифровой культуры на формообразование было особенно заметно в отношении использования инновационных 3D-моделирования и компьютерного дизайна.

Преимущества и недостатки цифровизации обсуждались в контексте эффективности проектных работ, доступности архитектурного образования, а также проблем, связанных с цифровым неравенством. В контексте обучения и развития навыков обсуждались вопросы о цифровой грамотности, необходимой для работы с современными архитектурными программами и инструментами. Результаты анализа соцопроса дали следующие выводы:

Профессия архитектора трансформируется, требуя от специалистов новых навыков и знаний, связанных с цифровыми технологиями. Эта трансформация включает в себя и изменение общественного влияния архитектуры, так как цифровая культура меняет способы взаимодействия людей с зданиями и городской средой. Будущее архитектуры в контексте цифровой культуры полно перспектив, связанных с развитием новых материалов, методов проектирования и строительства, а также более тесной интеграции с другими областями, такими как информационные технологии и искусственный интеллект [105].

Однако вместе с возможностями появляются и новые вызовы. Один из таких вызовов — это необходимость 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.

Второй вызов связан с вопросами безопасности и конфиденциальности. Использование цифровых технологий, особенно в области "умных" зданий и городов, может создать новые риски для безопасности и приватности пользователей. Необходимо разработать стратегии и механизмы, которые будут обеспечивать защиту данных и информации.

Третий вызов — это адаптация к новым ролям и процессам. Трансформация профессии архитектора под влиянием цифровой культуры означает, что архитекторы будут сталкиваться с новыми задачами и ответственностями, что может потребовать изменения установившихся процессов работы и взаимодействия.

Таким образом, развитие цифровой культуры оказывает глубокое влияние на архитектуру, преобразуя её формы, процессы и социальные функции. Дальнейшее исследование этих изменений будет способствовать пониманию и

управлению теми вызовами и возможностями, которые возникают на пересечении цифровых технологий и архитектуры.

На основе анализа и выводов, проведенных в третьем, четвертом и пятом разделах исследования, была сформулирована теоретическая модель, названная "Матрица влияния - интегральный подход к оценке эффекта цифровых технологий на будущую архитектуру Казахстана". Данная модель обосновывает необходимость и значимость цифровых технологий в современной архитектуре, а также раскрывает потенциал этих технологий для стимулирования устойчивого развития архитектурного ландшафта Казахстана. Путем объединения различных аспектов цифровизации, устойчивости и архитектурных принципов, "Матрица влияния" предлагает интегральный подход к оценке и планированию будущего архитектурного пространства, формируя основу для более глубокого понимания и эффективного использования цифровых технологий в архитектуре.

В разделе о прогнозировании архитектуры Казахстана в будущем, участники высказывали мнение о возможном влиянии дальнейшей цифровизации на архитектуру. Прогнозы варьировались от положительных прогнозов о появлении новых архитектурных форм и стилей до более осторожных оценок, связанных с возможными проблемами перехода к полностью цифровому дизайну.

Таким образом, "цифровая сфера" Казахстана в области архитектуры, должна развиваться специфическим образом, учитывая весь спектр трех основных групп факторов (природно-климатических, социально-экономических и культурно-исторических), при этом 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.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Agkathidis Ast. *Generative Design*. London. 2015. - P. 160.
2. Aiello C. *eVolo Skyscrapers 3: Visionary Architecture and Urban Design*. eVolo Press, 2017. - P. 628.
3. 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 (No.1). - p. 14-21.
4. 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*. EAEA 11 2013. Politecnico di Milano: Italy. p. 151-158.
5. Apris Cor [Электронный ресурс]. URL: <https://www.apis-cor.com/> (Дата обращения: 1.09.2021).
6. *Artificial Intelligence & Architecture* // An exhibit produced by the Arsenal Pavilion jUne exposition produite par le Pavillon de l'Arsenal & conceived by Stanislas Chaillou, Architect & Data Scientist & conçue par Stanislas Chaillou, Architecte & Data Scientist. March 2020.
7. Ascott R. "The Architecture of Cyberception." *Architects in Cyberspace* / R Ascott; ed. M. Toy. - London: Academy Editions, 1995.
8. Augmented (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) market size worldwide from 2021 to 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/> (Дата обращения: 10.09.2021).
9. Baitenov E. Modern Challenges and the Outline of the Future of Architecture // *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, volume 471. Proceedings of the 2nd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2020). - pp. 6-11.
10. Better urban planning with Virtual Reality NMBU [Electronic resource]. URL: <https://www.nmbu.no/en/news/node/31738>.
11. 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. doi: 10.1145/3424630.3425413
12. Burry M. *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming*. – London: Wiley, 2011. – P. 230.
13. 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. №412 - P. 81-87.
14. Carpo M. *The Alphabet and the Algorithm*. – Cambridge: MIT Press, 2011. – P. 170.
15. Chaillou S. AI + Architecture. Towards a new approach // Harvard GSD. 2019. URL: <http://stanislaschaillou.com/articles.html>.

16. Charles M. Eastman, Paul Te., Rafael Sa., Kathleen Li. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey; BIM Handbook: John Wiley & Sons, Inc. 2008.
17. Charles M. Eastman. Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction. - Boca Raton: CRC Press, 1999. 1st Edition. - P. 424.
18. Daedalus pavilion [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture#> (Дата обращения: 1.09.2021).
19. Daniela B. Designing Digital Space: An Architect's Guide to Virtual Reality. John Wiley & Sons, 1996. - P. 368.
20. Duffy Alex H.B., David C. Brown, Mary Lou Maher. Special Issue: Machine learning in design // Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 10(2), pp.81-82. 1996.
21. Efanova T.A. Problems of interaction of digital technologies and modern architecture // Actual problems of regional sociology. – 2019. – Pp. 156-160.
22. Engelbart D. // Augmenting human intellect: a conceptual framework. 1962.
23. Esaulov G.V. Identity in architecture and urban planning // Academia.
24. Feist S. T. A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling. Tecnico Lisboa. May 2016
25. Garcia M. The Diagrams of Architecture. John Wiley & Sons LTD, 2010.
26. Gere Ch. Digital Culture. – London: Reaktion Books, 2008. – P. 256.
27. Gero J.S. Computational models of creative design processes // AI and Creativity, Kluwer, Dordrecht, pp.269-281. 1994
28. Hansmeyer M. Digital Grotesque: Computation in Architecture. – Zurich: ETH, 2015. – P. 95.
29. Hauwa O. Y. The Impact of Digital-Computational Design on The Architectural Design Process // University of Salford School of the Built Environment. 2012.
30. Iwamoto Li. Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques (Architecture Briefs) // New York. Princeton Architectural Press. 2009 - P. 144.
31. 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. (Chapter 3: Digital Tools.)
32. 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.
33. Knish V.I. Catharsis or pencils for the dynamic architecture // Journal of ACC. Number 1, 2004.
34. Kolarevic B., Malkawi A.M. Performative Architecture: Beyond Instrumentality // New York, London. Spon Press. p. 195. 2005.

35. Kostas Terzidis. *Algorithmic Architecture* // Oxford: Architectural Press is an imprint of Elsevier, 2006. - P. 159.
36. Krawczyk R. J. *Experiments in Architectural Form Generation Using Cellular Automata* // Illinois Institute of Technology, College of Architecture, USA. 2002.
37. Lee J. *Digital-Green architecture: a new design process that integrates digital technology and sustainable concepts* // Department of Architecture, National Chiao-Tung University, Taiwan. *Eco-Architecture III* p.173 *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 128. 2010.
38. Lévy P., *L'Intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, La Découverte, Paris, 1994.
39. Lynn G. *Animate Form*. – New York: Princeton Architectural Press, 1999. – P. 224.
40. Lynn Gr. *The Structure of Ornament* // *Digital Tectonics*, Chichester, West Sussex: Wiley-Acadmy, 2004, pp 62-68.
41. 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*, Moscow, April 23-24, 2021, Pp.188-195.
42. Maver Tom, and Alvarado, Rodrigo G.// *Virtual Reality in Architectural Education: defining possibilities*// *ACADIA Quarterly* 18:4 1999.
43. Menges A. *Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design*. – London: Wiley, 2012. – P. 190.
44. 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*. – Moscow: MGHPA named after S.G. Stroganov, Moscow Architectural Institute, Russian Academy of Arts, 2021. – Pp.69-75.
45. Mokeeva O.D. *3D printing of architectural models and equipping them with engineering printers during the printing process* // *Young scientist*. - 2016. - No. 7 (111). – Pp.128-131. – URL: <https://moluch.ru/archive/111/27719/> (date of access: 09/01/2022).
46. Morel P. *Computational Architecture*. – London: Architectural Design, 2008. – P. 135. Режим доступа - <https://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I>
47. Morel P. *The Origins of Discretism: Thinking Unthinkable Architecture*. March 2019. *Architectural Design*. 89(2):14-21. DOI:10.1002/ad.2407
48. Mostafavi S. *Materially Informed Design to Robotic Production: A Material System of Folded Concrete*. – Zurich: ETH, 2016. – P. 150.
49. Moussavi F., Kubo M. *The Function of Ornament*. Harvard University, 2006.
50. Neil Leach. *Architectural Design*. Vol 79, No 4 (July/August 2009) - P. 60
51. Oosterhuis K. *Hyperbodies: Towards an E-motive Architecture*. – Basel: Birkhäuser, 2003. – P. 190.

52. 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. URL: <https://www.oosterhuis.nl/we-robots/>.
53. P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, F. Kishino. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum // Telem manipulator and Telepresence technologies. - 2005. - Vol. 23. – p. 282-292.
54. Raina A., McComb, C., and Cagan, J. Learning to Design from Humans: Imitating Human Designers Through Deep Learning // ASME. J. Mech. Des. 2019.
55. 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.
56. Revizto.com URL: <https://revizto.com/ru/>. 15.03.2020.
57. Roussou M. Incorporating Immersive Projection-based Virtual Reality in Public Spaces // Proceedings of 3rd International Immerse Projection Technology Workshop. Stuttgart, Germany. 1999 – pp.33-39
58. Roussou M. Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum // Foundation of the Hellenic World. Athens, Greece. 2001.
59. Smart architecture laboratory. Research [Электронный ресурс]. URL: <https://salab.org/news/2017/12/4/-research> (Дата обращения: 1.09.2021).
60. Steampunk. <https://karamba3d.com/projects/steampunk/>. 07.01.2023.
61. Stsesel Siarhei the problem of introducing parametrisation into architectural design // Architecture and construction of Russia. 2015. - P.32.
62. Tanaka T. et al. A Web Application for an Interior-Design Simulator using Augmented Reality //The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Osaka, Japan, November 28-30, 2011, The Virtual Reality Society of Japan
63. Uhrík M., Špaček R. The experiment as a programme: new schemes in architectural education // Slovak University of Technology in Bratislava Bratislava. Slovakia. World Transactions on Engineering and Technology Education Vol.13, No.3. 2015.
64. Werner Liss C. Cybernetics: state of the art. «CYBERNETIFICATION I: Cybernetics Feedback Netgraft in Architecture» (Con-Versations; Vol. 1). - Berlin: 2017. - pp. 58–60.
65. Whyte J. Virtual Reality and the Built Environment, Oxford: Architectural, 2002. Print.
66. Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту // М.:Радио и связь, 1992. – 256 с.
67. Алгоритмическое проектирование.2017. <http://gipgar.ru/obuchenie/povyshenie-kvalifikacii/algorithmicheskoe-proektirovanie-moskva/>. 20.10.2022.
68. Алтунян А.О. Методы формообразования в компьютерном искусстве и проектные технологии в архитектуре [Сетевой ресурс]. – URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/2kvart12/altunian/altunian.pdf>

69. Аналоговый компьютер. [Электронный ресурс] – URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.95d2096d-648ea314-0eb0e71b-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Analog\\_computer](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.95d2096d-648ea314-0eb0e71b-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Analog_computer). (дата обращения: 14.08.2021).
70. Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности. АМІТ 4 (25) 2013. с. 19.
71. Бензе М. Введение в информационную эстетику / М. Бензе // Семиотика и искусствометрия / Ред.-сост. Ю.М. Лотман. – М.: Мир, 1972. – С. 368.
72. Браславский П. И. Технология виртуальной реальности как феномен культуры конца XX-начала XXI веков: Дис. ... канд. культурол. наук: 24.00.01 / П. И. Браславский; Науч. рук. Д. В. Пивоваров; Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького. - Екатеринбург: Б. и., 2003. - 163 с. - Библиогр.: с. 152-163 (144 назв.).
73. Веснин А.А. Современность и наследство // Журнал «Архитектура СССР», № 3, стр. 37—39. 1940.
74. Вильковский, М. Социология архитектуры. – М.: Фонд «Русский авангард», 2010. – 592 с., ил. ISBN 978-5-91566-021-1
75. Виртуальная архитектура. <http://www.x-4.narod.ru/asp/a5.html>. 23.09.2019.
76. Воличенко О.В. Концепции нелинейной архитектуры // Архитектон: известия вузов № 44. 2013.
77. Воронина Т. П. Информационное общество: сущность, черты, проблемы. - М.: Проспект, 2011. – С.7.
78. Гаврилов А. А. Основные подходы к определению категории "виртуальная реальность" в современном философском дискурсе // Молодой ученый. 2012. № 9. С. 162-166.
79. Галанин Р. Как Пифагор придумал цифровую Вселенную. [Электронный ресурс] – 2020. – URL: <https://knife.media/pythagoras/>. (дата обращения: 05.08.2021).
80. Государственная программа. "Цифровой Казахстан". 23.09.2019. <https://egov.kz/cms/ru/digital-kazakhstan>. 23.09.2019.
81. Данилов Д.С. Закономерности развития и смены архитектурных стилей // Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов. 2014.
82. Дедовец Р.В. Деконструктивизм в музеях современного искусства // Строительство и техногенная безопасность. 2016. №3 (55).
83. Демидова М.А., Стерликова А.И. BIM при проектировании объектов ландшафтной архитектуры \\\ Символ науки, №3. Москва. 2020
84. Дженкс Ч. Новая парадигма в архитектуре [Электронный ресурс] / Ч. Дженкс; пер. с англ. Александр Ложкин, Сергей Ситар // – URL: <http://www.a3d.ru/architecture/stat/155>.

85. Добрицына И.А. Новые проблемы архитектуры в эпоху цифровой культуры / И.А. Добрицына // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 4. – С. 42-53. - статья из журнала
86. Долгова А. Перестать изобретать колесо. Как переосмыслить процесс создания типового жилья при помощи блокчейна [Электронный ресурс]. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/a-new-approach-to-rethinking-housing-production> (Дата обращения: 1.09.2021).
87. Елькина Е.Е. Цифровая культура: понятие, модели и практики. 2018. Университет ИТМО. 196-197 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://openbooks.itmo.ru/ru/file/8471/8471.pdf/> (дата обращения: 05.03.2022).
88. Емельянова О.И., Гавриленко Т. В. Виртуальная архитектура – новая модель цифрового формообразования // Проблемы архитектуры і містобудування. Випуск 2(106). 2014.
89. Жан Б. Симулякры и симуляции / пер. с фр. А. Качалова. М., 2015.
90. Иванов В. Ф. Массовая коммуникация: Монография / В.Ф. Иванов. Киев: Академия Украинской Прессы, Центр Свободной Прессы, 2013. - 902 с.
91. 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 URL: [https://enotabene.ru/arch/article\\_27749.html](https://enotabene.ru/arch/article_27749.html)
92. Игумнова, А.С. Дигитальная архитектура. Возможности и пространственный опыт / А.С. Игумнова // Культура и искусство. – 2018. – № 2. – С. 66 - 73. - статья из журнала
93. Исабаев Г.А., Консольные архитектурные конструкции современных зданий и сооружений с уникальной образностью преодоления гравитации. QazBSQA Хабаршысы. Сәулет және дизайн. №4 (86), 2022.
94. Искусственный интеллект в строительстве – URL: <https://pro-tim.ru/news/iskusstvennyy-intellekt-v-stroitelstve/> 15.05.2023
95. История возникновения архитектурной графики. - [Электронный ресурс] – 2015. - URL: <https://helpiks.org/4-115205.html> (дата обращения: 16.09.2021).
96. История черчения. [Электронный ресурс] – URL: <https://kompaswork.ru/stati/12-stati/29-istoriya-chercheniya.html> (дата обращения: 07.01.2020).
97. Исходжанова Г.Р., Сәлімбекова С.Н. Влияние устойчивых технологий сельскохозяйственного производства на архитектуру застройки для малых поселений. QazBSQA Хабаршысы. Сәулет және дизайн. №2 (84), 2022.
98. Кавтарадзе С. Архитектура как средство коммуникации. Курс № 12. 2006. <https://arzas.academy/materials/499> 05.08.2021.
99. Кавтарадзе С. Очень краткая история архитектуры. 2020. <https://arzas.academy/materials/499?ysclid=lj132eqwxs623427834>. 05.08.2021.

100. Калинина Е.Е., Каримова И.С. Психоделика и дизайн среды // Новые идеи нового века. 2013.
101. Кальницкая Е. Реальное и виртуальное восстановление памятников архитектуры // *Welterbestätten: Die Schlösser und Gärten von St. Petersburg und von Potsdam und Berlin*. 2010 – pp. 112-116.
102. Кастельс М. Информационная эпоха: экономика, общество и культура. – Москва: ГУ ВШЭ, 2000. – 608 с.
103. Кобзева И.А. Формообразование в архитектуре и ее структурный элемент // ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс». Орел. 2015.
104. Колодий В.В. Визуальность как феномен современной культуры. // Актуальные проблемы гуманитарных наук: Сб. науч. тр. – Томск: из-во ТПУ, 2008. – С. 380–382.
105. Компьютерные технологии создают образ архитектуры будущего. Цифровая архитектура майкла ханмейера [Сетевой ресурс]. – URL: <http://trendymen.ru/lifestyle/design/81967/>
106. Кондратьев, Е.А. Киберархитектура: выразительные возможности и эстетические измерения / Е.А. Кондратьев // *Искусствознание*. – 2012. - № 3-4. – С. 192-204. - статья из журнала
107. Корсунцев И. Г. Проблемы виртуального в философии / И. Г. Корсунцев // *Труды лаборатории виртуалистики*. Вып. 3. Виртуальные реальности и современный мир. - М., 1997.
108. Краусс Р. «Путешествие по Северному морю»: искусство в эпоху постмедиаальности // 2017.
109. Крылов Д.А. Техногенная цивилизация и культура: основные тенденции развития в современном контексте // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=16946>
110. Ломхольт И. Эксперименты в архитектурном материале и форме, выставка в Aedes // Германия. Design Show Новости, изображения. 2020.
111. Лурье Д. А. Проблемы виртуализации современного общества и их социологическое осмысление / Д. А. Лурье // *Философия и общество*. - 2009. - № 4.
112. Лучкова В.И. История градостроительства доиндустриального периода. Часть 2. Лекционный курс. — Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет (ТОГУ). — 214 с. - книга, учебное пособие
113. Манович Л. Язык новых медиа. – Санкт-Петербург: Академический проект, 2005. – 320 с.
114. Меерович М.Г., Иванова А.С. Новая парадигма в архитектуре: от прогноза Чарльза Дженкса к «виртуальной реальности» // *Архитектон: известия вузов* № 3. 2018.
115. 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-tsifrovoj-kazakhstan-bim-tekhnologii-v-arkhitekture-i-stroitelstve. 23.08.2019.
116. Мокшанцева, О.А. Анализ основных структурных элементов архитектурного формообразования / О.А. Мокшанцева, О.В. Королева // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства: сб. докладов IV Национальной науч.-практ. конф. Часть 1. – Пенза: ПГУАС, 2021. – С. 71-76 с. - статья из журнала
117. Надыршин Н.М. Параметризм как стиль в архитектурном дизайне // Вестник ОГУ. 2013.
118. Негропonte Н. Быть цифровым. – Москва: АСТ, 2002. – 256 с.
119. Носов Н. А. Виртуальная психология / Н. А. Носов. – М.: Аграф, 2000. – 432 с.
120. Об утверждении Государственной программы "Цифровой Казахстан". <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000827>. 25.08.2019
121. Орзунова О.Э. Виртуальная архитектура. Оболочка будущего // Уральская государственная архитектурно-художественная академия, Екатеринбург. 2014.
122. Поморов С.Б., Исмаил Халед Д. Альдин. Терминология нелинейной архитектуры и аспекты ее применения. // Вестник ТГАСУ, № 3 (44), – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2014. – С.78-87.
123. Репкин Д. Виртуальная реальность [Электрон. ресурс] // Виртуальная реальность, тренажеры и киберпространство. - Режим доступа: [http://www.virtual.ru/virtual\\_reality.html](http://www.virtual.ru/virtual_reality.html) 12.03.2023
124. Ресин В., Бачурина С., Мамышева Е. Опыт создания и пути развития интегрированной системы информационного обеспечения строительного комплекса Москвы // СNews, июль, 2007.
125. Рочегова Н. А. Компьютерное моделирование в процессе формирования основ архитектурной композиции: начальная стадия высшего профессионального архитектурного образования: автореф. ... к. арх. н.: 05.23.20. –Москва: МАРХИ, 2010. –27с.
126. Рочегова Н.А. На волнах цифровой архитектуры. Опыт отечественной проектной мастерской. [Сетевой ресурс]. – URL: <https://marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/rochegova/rochegova.pdf>. AMIT 4 (25) 2013. - С. 10.
127. Рочегова Н.А., Барчугова Е.В. 2021. [Сетевой ресурс]. – URL: <https://archi.ru/elpub/92573/dvoistvennyi-kharakter-cifrovoi-kultury>. 16.08.2022.
128. Рузавин Г. И. Виртуальность / Г. И. Рузавин //Новая философская энциклопедия: в 4 т. / Ин-т философии РАН; Нац. общ.-науч. фонд. - М.: Мысль, 2000. - Т. 1.
129. Рябова О.В., Друцкая Д.М. Архитектурное проектирование объектов использованием звуковых волн // Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. Строительство и техногенная безопасность №42. 2012.

130. Савельева Л.В. Современные информационные технологии в образовательном процессе // Международная научная конференция «Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании». 21 сентября 2016 г. – Новосибирск: НГУАДИ, 2016. – С. 188-191.
131. Савельева, Л.В. Феномен «виртуальности» в архитектуре / Л.В. Савельева // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Тр. МАРХИ: мат-лы науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. – М.: МАРХИ, 2014. – С. 202–204.
132. Садриев А. Ш. Компьютерные технологии и виртуальная реальность: Опыт философского анализа: дис. ... канд. филос. наук /А. Ш. Садриев. -Набереж. Челны, 2005.
133. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре // Архитектура-С. Москва. 2005.
134. Сомов Г.Ю. Проблемы теории архитектурной формы // Форма в архитектуре: проблемы теории и методологии. 1990.
135. Социалистическая компьютеризация. Глава 3. <https://museum.dataart.com/ru/history/glava-3-sofialisticheskaya-komputerizaciya>. 23.01.2023.
136. Степанов А.В., Мальгин В.И. Объёмно-пространственная композиция // Стройиздат. Москва. 1993.
137. Стерликова А.И. BIM при проектировании объектов ландшафтной архитектуры // Символ Науки. - № 3 / 2020. - С. 105-107.
138. Строительство и архитектура в Древнем Риме. [https://studref.com/570884/kulturologiya/stroitelstvo\\_arhitektura\\_drevnem\\_rome](https://studref.com/570884/kulturologiya/stroitelstvo_arhitektura_drevnem_rome) 02.09.2021.
139. Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий Подробнее. - ДМК-Пресс, 2015. - 410 с.
140. Таратута Е. Е. Философия виртуальной реальности. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007.
141. Тахиров Б. Н. Понятие виртуальной реальности // Наука, образование и культура. 2020. №8 (52).
142. Тёркль Ш. Вторая самость: компьютеры и человеческий дух. – Москва: АСТ, 2011. – 400 с.
143. Трамбовецкий В. Электронное моделирование в практике проектирования и строительства //Строительная газета, 2006, №11 (9866) от 17 марта 2006 г.
144. Харари Ю.Н. 21 урок для 21 века. – Москва: Синдбад, 2018. – 432 с.
145. Харауэй Д. Манифест киборга: наука, технологии и социалистический феминизм в конце XX века. – Москва: Издательский дом "Институт экспериментальной социологии", 2010. – 45 с.

146. Хуторной С. Н. Киберпространство и реальный мир / С. Н. Хуторной // Вестн. Моск. гос. об. ун-та. Сер. Философские науки. - 2011. - № 2.
147. Стратегия «Казахстан-2050. Государственная программа «Цифровой Казахстан». "Умные" города. Постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827. URL: [https://www.akorda.kz/ru/official\\_documents/strategies\\_and\\_programs](https://www.akorda.kz/ru/official_documents/strategies_and_programs). 23.09.2019.
148. Черниченко Е.А. Метод преобразования природной формы в ассоциативную модель архитектурного объекта // Академия архитектуры и искусств. Ростов-на-Дону. 2015.
149. Шумахер П. Параметризм: 6 статей Патрика Шумахера. перевод с англ. П. Белого. – Режим доступа: [http://patrikschumacher.com/Texts/Parametricism\\_Russian%20text.html](http://patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html). 20.01.2019.
150. Эвалльё В. Д. Интерактивность и иммерсивность в медиасреде. К проблеме разграничения понятий // Художественная культура. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/interaktivnost-i-immersivnost-v-mediasrede-k-probleme-razgranicheniya-ponyatiy> (дата обращения: 21.10.2021).

## СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА (РИСУНКИ И ТАБЛИЦЫ)

### Рисунки

#### Глава 1

- 1.1 Экологически устойчивый дом, напечатанный на 3D-принтере из глины, воды, волокон рисовой шелухи Источник: <https://novate.ru/blogs/220521/59002/>
- 1.2 "The Institute of Arab World" National Stadium, Beijing - Herzog & de Meuron | Arquitectura Viva
- 1.3 Офисное здание The Edge (archi.ru)

#### Глава 2

- 2.1 Параметризм - Новый Глобальный Стиль для Архитектуры и Городского Дизайна  
[https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism\\_Russian%20text.html](https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html)
- 2.2 Аналитическое проектирование (GIF) Онлайн-марафон «Grasshopper. Анализ городской среды» | Софт Культура (softculture.cc)

#### Глава 3

- 3.1 Зеленые небоскребы. Одобрено птицами: lakhtacenter — ЖЖ (livejournal.com)
- 3.2 Michael Hansmeyer <https://www.michael-ansmeyer.com/digital-grotesque-I>

#### Глава 4

- 4.1 "The Institute of Arab World" Arab World Institute | Architecture-Studio | Archello
- 4.2 "Sagrada Familia" Саграда Фамилия – главный храм Барселоны. Испания по-русски - все о жизни в Испании (espanarusa.com)

#### Глава 5

- 5.1 "Bjarke Ingels' Via 57 West" VIA West57 | Bjarke Ingels Group (BIG) - RTF | Rethinking The Future (re-thinkingthefuture.com)
- 5.2 "Dancing House" ("Fred and Ginger") Танцующий дом архитектор - 61 фото (colodu.club)

### Таблицы

#### Глава 1

- 1.1 Экологически устойчивый дом, напечатанный на 3D-принтере из глины, воды, волокон рисовой шелухи Источник: <https://novate.ru/blogs/220521/59002/>
- 1.2 "The Institute of Arab World" National Stadium, Beijing - Herzog & de Meuron | Arquitectura Viva
- 1.3 Офисное здание The Edge (archi.ru)

#### Глава 2

- 2.1 Параметризм - Новый Глобальный Стиль для Архитектуры и Городского Дизайна  
[https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism\\_Russian%20text.html](https://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html)
- 2.2 Аналитическое проектирование (GIF) Онлайн-марафон «Grasshopper. Анализ городской среды» | Софт Культура (softculture.cc)

### Глава 3

3.1 Зеленые небоскребы. Одобрено птицами: lakhtacenter — ЖЖ (livejournal.com)

3.2 Michael Hansmeyer <https://www.michael-hansmeyer.com/digital-grotesque-I>

### Глава 4

4.1 "The Institute of Arab World" Arab World Institute | Architecture-Studio | Archello

4.2 "Sagrada Familia" Саграда Фамилия – главный храм Барселоны. Испания по-русски - все о жизни в Испании (espanarusa.com)

### Глава 5

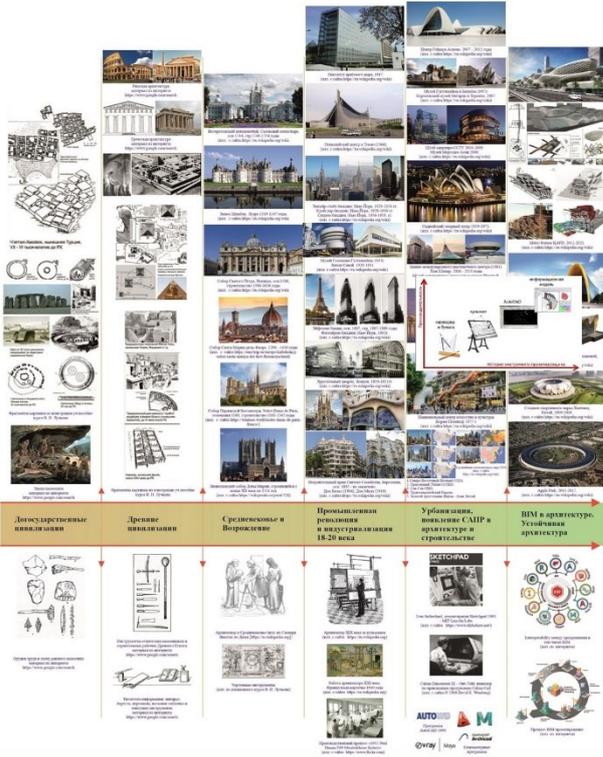
5.1 "Bjarke Ingels' Via 57 West" VIA West57 | Bjarke Ingels Group (BIG) - RTF | Rethinking The Future (re-thinkingthefuture.com)

5.2 "Dancing House" ("Fred and Ginger") Танцующий дом архитектор - 61 фото (colodu.club)

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

# 1 ЭВОЛЮЦИЯ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В АРХИТЕКТУРЕ

## 1.1. История развития цифровой культуры в архитектуре



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

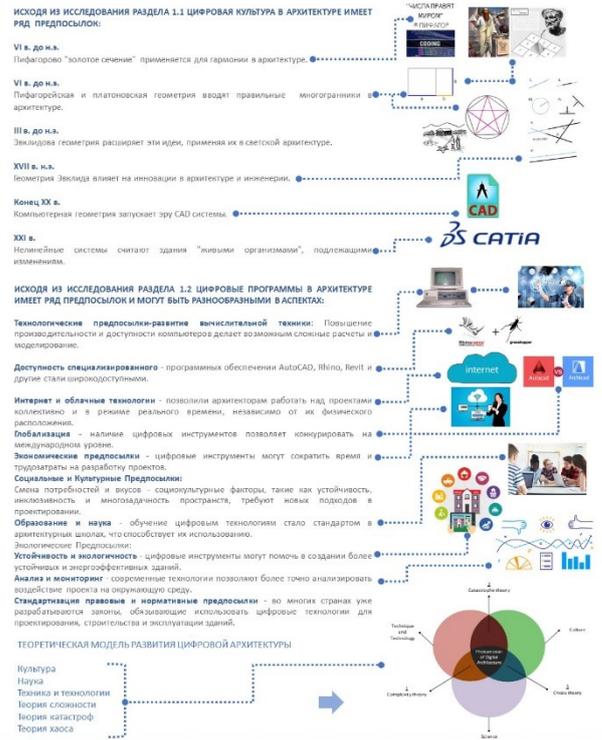
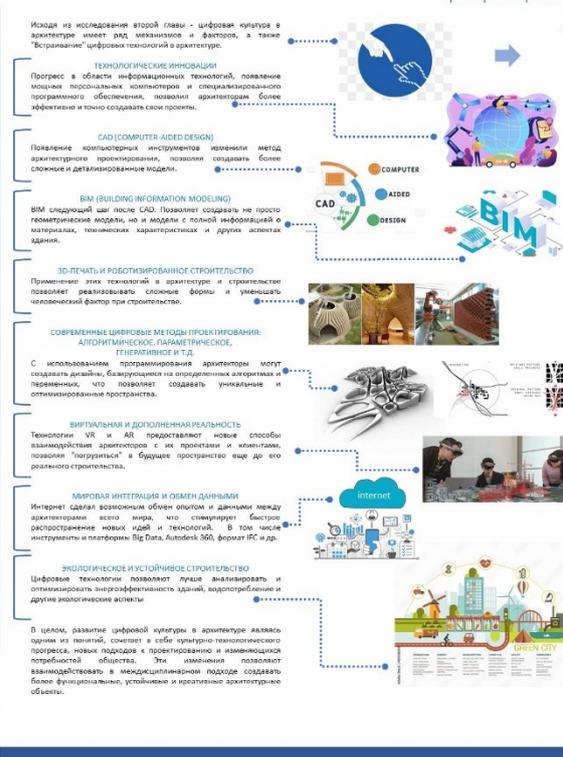


Рисунок А. 1 - От ручных чертежей и кульмана к цифровому проектированию в архитектуре.

# 2 МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

## 2.1 "Встраивание" цифровых технологий в архитектуру



## 2.2 Цифровое формообразование как важнейший фактор в современном архитектурном проектировании

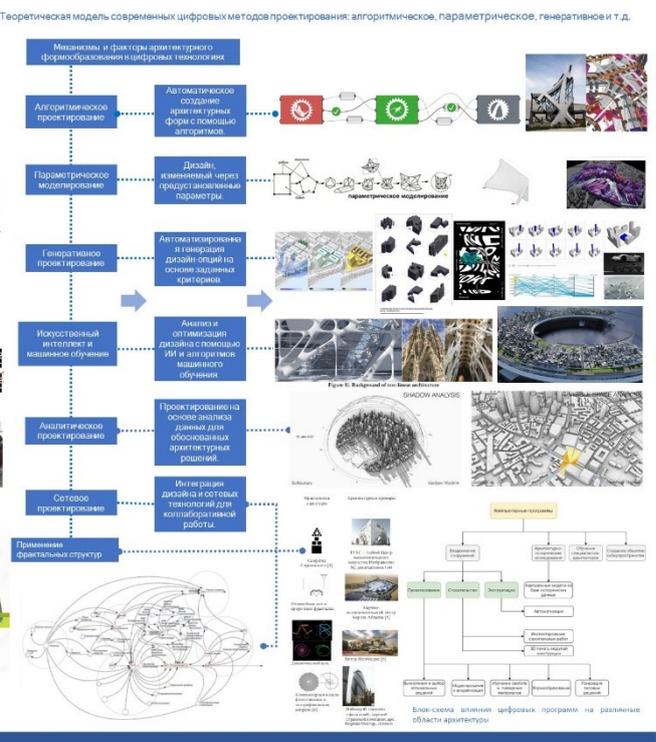


Рисунок А. 2 - От ручных чертежей и кульмана к цифровому проектированию в архитектуре.

### 3 АРХИТЕКТУРА И ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА: ДИАЛЕКТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

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

3.1.1. Интеграция цифровых технологий в архитектурный процесс. Примеры: "The Shard" (London), "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai).

3.1.2. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.3. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.4. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.5. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.6. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.7. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.8. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.9. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

3.1.10. Использование цифровых технологий для создания сложных форм. Примеры: "The Gherkin" (London), "The Burj Khalifa" (Dubai), "The Shard" (London).

#### 3.2 Влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование

Основные направления цифровизации и их влияние на формообразование в архитектуре

| № | Влияние цифровой культуры        | Описание   | Влияние на архитектурное формообразование   |
|---|----------------------------------|--|---|
| 1 | 3D-моделирование                 | позволяет архитектору визуализировать свои проекты в 3D, что помогает в поиске оптимальных решений               | может изменить процесс проектирования, позволяя архитектору использовать более сложные и нестандартные формы  |
| 2 | Алгоритмическое проектирование   | генерирует проекты на основе заданных параметров и алгоритмов  | может привести к созданию новых, уникальных форм, которые сложно реализовать традиционными методами   |
| 3 | Виртуальная реальность (VR)      | позволяет архитектору и клиенту погрузиться в виртуальную среду проекта и оценить его в полном объеме и масштабе | VR может влиять на восприятие архитектурных форм и пространств, позволяя архитектору создавать более реалистичные проекты, чем 2D-моделирование               |
| 4 | Цифровые технологии производства | такие как 3D-печать, CNC, позволяют создавать сложные архитектурные формы и детали                               | технологии могут влиять на формообразование, позволяя архитектору создавать более сложные и нестандартные формы   |
| 5 | Интернет вещей (IoT)             | IoT позволяет использовать данные в реальном времени для управления зданиями и инфраструктурой                   | IoT может влиять на формообразование, позволяя архитектору создавать более сложные и нестандартные формы, которые могут быть созданы с помощью IoT-технологий |

Теоретическая модель факторов и механизмов цифровых технологий

1. Основное влияние цифровой культуры на архитектуру - это изменение процесса проектирования и создания архитектурных форм.

2. Применение цифровых технологий позволяет архитектору создавать более сложные и нестандартные формы, которые сложно реализовать традиционными методами.

3. Влияние цифровой культуры на архитектурное формообразование заключается в том, что архитекторы могут использовать более сложные и нестандартные формы, которые сложно реализовать традиционными методами.

4. Применение цифровых технологий позволяет архитектору создавать более сложные и нестандартные формы, которые сложно реализовать традиционными методами.

5. Основное влияние цифровой культуры на архитектуру - это изменение процесса проектирования и создания архитектурных форм.

6. Применение цифровых технологий позволяет архитектору создавать более сложные и нестандартные формы, которые сложно реализовать традиционными методами.

7. Основное влияние цифровой культуры на архитектуру - это изменение процесса проектирования и создания архитектурных форм.

8. Применение цифровых технологий позволяет архитектору создавать более сложные и нестандартные формы, которые сложно реализовать традиционными методами.

9. Основное влияние цифровой культуры на архитектуру - это изменение процесса проектирования и создания архитектурных форм.

10. Применение цифровых технологий позволяет архитектору создавать более сложные и нестандартные формы, которые сложно реализовать традиционными методами.

"Интегральный подход в оценке влияния цифровых технологий на будущую архитектуру Казахстана".

#### 3.3 Проблемы архитектурного цифрового формообразования

Исследование цифровой культуры в архитектурном формообразовании выявило проблемы в двух ключевых направлениях:

Теоретическая модель проблем цифровых технологий

**Культурная сторона**

- интеграция цифровых технологий приводит к культурной конвергенции, которая ассимилирует уникальные региональные стили в архитектуру. Это вызывает опасения относительно потери культурного разнообразия и идентичности.

**Технологическая сторона**

- сбой в технологиях могут привести к узким местам в проекте, включая зависимость от технологических платформ, ориентацию на клиента в ущерб архитектурной целостности, и конкуренцию, которая может привести к унификации проектирования.

**Сложность интеграции**

- внедрения новых технологий затруднено из-за необходимости адаптации к текущим процессам.

**Недостаток стандартизации**

- отсутствие общих стандартов создает проблемы совместности и сотрудничества.

**Стоимость внедрения**

- высокая затраты на программы, оборудование и обучение.

**Недостаток специалистов**

- нехватка квалифицированных людей для работы с новыми инструментами.

**Безопасность**

- увеличивается риск кражи интеллектуальной собственности.

Таким образом, данные наблюдения подчеркивают необходимость более глубокого и критического подхода к интеграции цифровых технологий в архитектурное формообразование.

Рисунок А. 3 - От ручных чертежей и кульмана к цифровому проектированию в архитектуре.

### 4 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 4.1 Инструментарий цифрового проектирования в современной архитектуре

Софткультура по архитектуре

31 опрос

Не является пользователем: 2 (6,5%)

Autodesk Revit: 15 (48,4%)

Autodesk AutoCAD: 19 (61,3%)

Autodesk Architecture: 12 (38,7%)

Chief Architect: 9 (28,7%)

IndaCAD: 1 (3,2%)

InfraWorks: 1 (3,2%)

MicroStation: 0 (0%)

Model Builder: 0 (0%)

NavisWorks: 3 (9,7%)

Revit + Dynamo: 3 (9,7%)

Revit Architecture: 9 (28,7%)

Revit Structure: 13 (41,9%)

Revit MEP: 9 (28,7%)

Решение 3D + Grasshopper: 9 (28,7%)

Revit + Dynamo: 9 (28,7%)

Tecla Structures: 7 (22,6%)

Leap CAAT: 7 (22,6%)

Autodesk Maya: 21 (67,7%)

3ds Max: 6 (19,4%)

Blender: 6 (19,4%)

Enscape: 2 (6,5%)

Lumion: 17 (54,8%)

Технологии: 7 (22,6%)

Другие программы/технологии: 6 (19,4%)

Показатель из опроса по использованию компьютерных архитектурных программ.

31 опрос

Не является пользователем: 1 (3,2%)

Autodesk Revit: 2 (6,5%)

Autodesk AutoCAD: 3 (9,7%)

Autodesk Architecture: 1 (3,2%)

Chief Architect: 5 (16,1%)

IndaCAD: 1 (3,2%)

InfraWorks: 3 (9,7%)

MicroStation: 8 (25,6%)

Model Builder: 3 (9,7%)

NavisWorks: 11 (35,5%)

Revit + Dynamo: 11 (35,5%)

Revit Architecture: 16 (51,6%)

Revit Structure: 18 (58,1%)

Revit MEP: 10 (32,3%)

Решение 3D + Grasshopper: 2 (6,5%)

Revit + Dynamo: 10 (32,3%)

Tecla Structures: 1 (3,2%)

Leap CAAT: 1 (3,2%)

Autodesk Maya: 1 (3,2%)

3ds Max: 2 (6,5%)

Blender: 10 (32,3%)

Enscape: 1 (3,2%)

Lumion: 1 (3,2%)

Технологии: 1 (3,2%)

Другие программы/технологии: 1 (3,2%)

Показатель из опроса по использованию компьютерных программ для создания сложных архитектурных форм.

#### 4.2 BIM технология в архитектуре

Полная схема взаимодействия между программами

Все развитие BIM и ПК

Уровни зрелости BIM описывают степень интеграции технологий BIM в проекты:

- Уровень 0 - 2D CAD, нет совместного использования.
- Уровень 1 - 3D CAD, на каждый элемент работает независимо.
- Уровень 2 - Совместно используются 3D модели, но они создаются отдельно команд дисциплин и потом объединяются.
- Уровень 3 - Единая модель для всех, обновляется в реальном времени.

Некоторые проблемы во внедрении BIM в индустрии:

- Отсутствие стандартов, затрудняющее совместную работу в проектах.
- Нехватка квалифицированных специалистов в области BIM.
- Ограниченное финансирование для оборудования и обучения.
- Вопросы безопасности и защиты данных.

Для решения этих проблем требуется комплексный подход, включая государственное регулирование, обучение и стратегическое финансирование.

Программное обеспечение для реализации концепции BIM проектирования

BIM-team Building Site

Министерство Цифровой Трансформации

#### 4.3 VR- технологии в архитектуре

Диаграмма распределения областей применения VR в процессах проектирования

VR в архитектуре обещает революционные изменения, но имеет свои недостатки

Технологические ограничения

- Высокие системные требования:** Высокие системные требования и проблемы совместности с архитектурным ПО.
- Экономические аспекты:** Дорогостоящее оборудование и сложность внедрения, особенно для малых предприятий.
- Ограничения взаимодействия:** VR не может полностью заменить реальное взаимодействие с физическим миром.
- Социальные и этические проблемы:** Риск социальной изоляции и проблемы доступности технологий.

Эти проблемы и недостатки необходимо учитывать при внедрении VR в архитектурные проекты.

Рисунок А. 4 - От ручных чертежей и кульмана к цифровому проектированию в архитектуре.



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 - Результаты развёрнутого социологического опроса о влиянии цифровой культуры на архитектуру.

| №  | Вопрос   | Варианты ответа % |      |            |
|--|--|-------------------|------|------------|
|  |  | Да                | Нет  | Воздержусь |
| <b>1 ЭВОЛЮЦИЯ ЦИФРОВОЙ КУЛЬТУРЫ В АРХИТЕКТУРЕ</b>        |  |                   |      |            |
| <b>Раздел 1. Осознание и понимание цифровой культуры</b> |  |                   |      |            |
|  | 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<br>Как вы определяете "цифровую культуру" и какие ключевые концепции и идеи она включает в себя с точки зрения философии архитектуры?  |                   |      |            |
|  | <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 являются 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 автоматизируют и упрощают 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> <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> </ul> |                   |      |            |

|   | <ul style="list-style-type: none"> <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> |   |       |       |            |
| <b>Раздел 2. Применение цифровых технологий</b>                                     |   |       |       |            |
| №   | 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   |       |       |            |
|   | Какие элементы и аспекты цифровой культуры особенно значимы для архитектурного формообразования?  |       |       |            |
|   | <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> <li>• Простые инструменты редактирования для создания сложных форм</li> <li>• затрудняюсь с ответом</li> <li>• Визуал</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 размещение 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>                 |   |       |       |            |
| <b>Раздел 3. Влияние цифровой культуры на формообразование</b>                      |   |       |       |            |
| №   | Вопрос  | Да    | Нет   | Воздержусь |

|  |  |       |       |       |
|--|--|-------|-------|-------|
|  | Как Вы считаете, цифровые технологии позволили создавать более устойчивые или энергоэффективные здания?  | 80%   | 11,4% | 8,6%  |
|  | Считаете ли Вы, что использование цифровых технологий в архитектуре ведет к появлению новых архитектурных стилей и направлений?  | 71,4% | 20%   | 8,6%  |
|  | Текстовый ответ<br>Как, по Вашему мнению, цифровые технологии и цифровая культура влияют на взаимодействие людей с зданиями и городской средой?  |       |       |       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• да</li> <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; we're 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 friend and enemy at the same time. We need to understand how to use it and big tech companies rarely talk about that, they just care about making you more addicted and sucking money out of you. Being aware of all of this is the key.</li> <li>• Не влияет</li> <li>• Нет. Хотя проектировать стало и немного проще благодаря цифровым технологиям, но все исходит из возможностей человеческой фантазии и воображения, а также использованием передовых строительных материалов. Цифровые технологии помогают лишь перенести свою задумку в цифровой вид для дальнейшей, более детальной разработки.</li> <li>• Люди все больше времени проводят за экраном в цифровой среде, цифровые технологии помимо строительных и профессиональных аспектов затрагивают и социальные, при их использовании в теории можно продемонстрировать потенциальным жильцам здание, не выходя из дома, а используя определенный софт</li> <li>• Люди всё чаще предпочитают цифровой способ взаимодействия с окружающей средой, думаю просто потому, что так им проще и часто быстрее.</li> <li>• Больше в позитивную сторону, так как цифровые технологии позволяют видеть все подробные детали сооружении</li> <li>• Думаю, что для пользователей архитектурных проектов, цифровая культура пока не особо влияет. Это сложный вопрос, который требует детального раскрытия. Тенденция увеличения проведения рабочего и свободного времени в персональных гаджетах и смартфонах, позволяет человеку находится почти, где угодно 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> |       |       |       |
|  | Как Вы думаете, использование цифровых технологий повышает стоимость проектов?   | 60%   | 25,7% | 14,3% |
|  | Считаете ли Вы, что цифровые технологии могут снижать качество традиционной архитектуры?   | 43,8% | 25,7% | 31,3% |
|  | Текстовый ответ  |       |       |       |

|  |  |
|--|--|
|  | <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> |
|--|--|

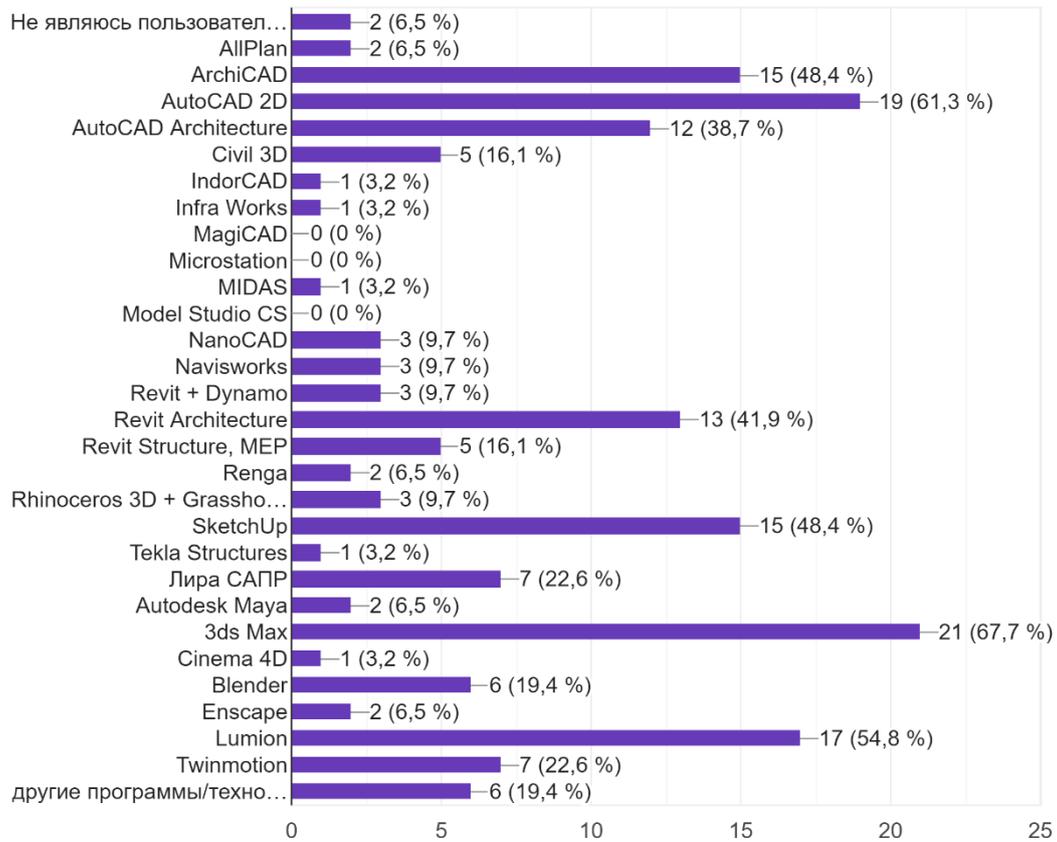
#### 4 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

##### 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%      |

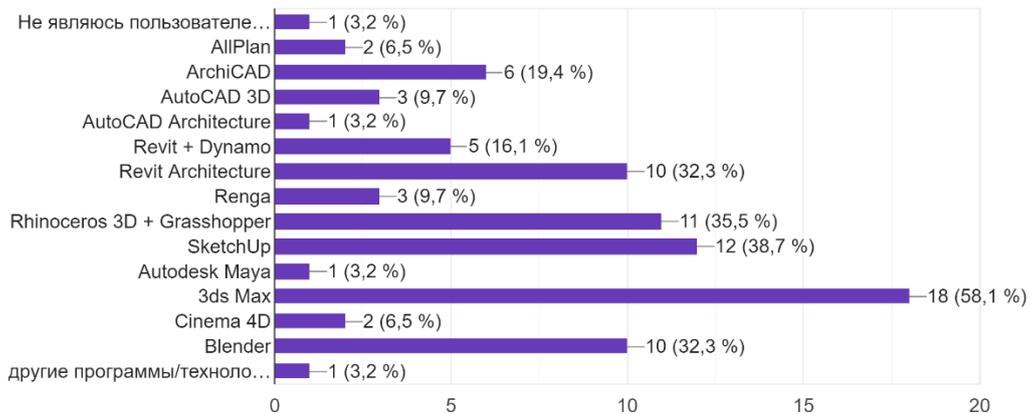
Отметьте пожалуйста одну или несколько программ, которыми Вы пользуетесь в своей практике:

31 ответ



Отметьте пожалуйста одну или несколько программ, которые Вы считаете наиболее функциональными для создания сложных архитектурных форм?

31 ответ



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 пр.</li> <li>Позволяет улучшать проектное решение зданий и градостроительство участием инженеров конструкций и инженерных сетей. Т.к. у Архитекторов очень узкое восприятие проблем градостроительства при дальнейшем эксплуатации.</li> <li>незначительное влияние</li> <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> <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>  |   |           |            |                   |
| <b>Раздел 5. Обучение и развитие навыков</b>  |   |           |            |                   |
| <b>№</b>  | <b>Вопрос</b>   | <b>Да</b> | <b>Нет</b> | <b>Воздержусь</b> |
|   | 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<br>Какими навыками и знаниями, на ваш взгляд, должен обладать современный архитектор в контексте развития цифровой культуры?  |           |            |                   |
|   | <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 использований 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> </ul> |           |            |                   |

- обязательно базовыми (классическими: композиция, основы проектирования, арх. детали, арх. конструкции, ручные техники), прежде чем приступать к цифровым технологиям
- Профессиональными компетенциями архитектора
- Software skills like Rhino/Grasshopper, Revit, Unreal Engine, understanding of AI, understanding of VR/AR in architecture, digital fabrication and 3D printing
- 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.
- Должен уметь владеть современными 3д, 2д программами, или возможность передать образ через рисунок, либо понятливым словесным описанием до мельчайших деталей
- 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.
- Архитектурное планирование, 3д визуализация, строительные программы по типу Ревит и Автокад, скульптура и живопись
- программы каждый раз обновляются, нужно быть в тренде и постоянно обучаться
- Не только архитектору, но и любому смежному специалисту необходимы навыки работы с 3D (создавать, дополнять, вносить/извлекать данные и т.д.)
- логикой
- Владеть BIM
- Система единиц измерения, и самые базовые фундаментальные понятия.
- Владение цифровыми инструментами. Наличие базовых знаний в программировании. Понимание концепции BIM.
- Знать цикл жизнедеятельности города и проблем при ее динамическом развитии с инженерными магистралями и путями эвакуации и снабжения.
- умение дать толковое техническое задание модератору процесса
- Знание компьютерной графики, программирования, знание нормативов и стандартов, творческому мышлению в работе над проектами, широкий кругозор.
- Знаем программ, их детальное изучение и опыт
- Знание 3д программ
- Прежде всего хорошим кругозором в возможностях цифровых инструментов, затем навыками в использовании нужных ему.
- На фоне развития цифровой культуры архитектор должен оставаться композитором и гуманистом - знать историю архитектуры, законы архитектурной композиции, быть способным к творческому поиску.
- Считаю необходимыми.
- Знание и умение работать (сбор и анализ) с ГИСами и Большими данными.
- Знание правил создания Программы на проектирования (прежде, технического задания).
- Знание норм и правил проектирования.
- Знание принципов и методов вычислительного проектирования (параметрического, алгоритмического и генеративного).
- Знание одной или нескольких программ 3d моделирования, информационного моделирования, вычислительного моделирования.
- Навыком работать в команде с инженерами, смежниками, строителями и эксплуатационными службами в процессе создания информационной модели здания.
- Знание программ визуализации и презентации проектного процесса и его результатов.
- Владеть навыками фундаментального обоснования и защиты своего проекта.

## 5 ЦИФРОВАЯ АРХИТЕКТУРА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

### Раздел 6. Прогнозирование будущего в контексте цифровизации

| № | Вопрос  | Да    | Нет   | Воздержусь |
|---|---|-------|-------|------------|
|   | Считаете ли Вы, что важность цифровых навыков для архитекторов будет увеличиваться в будущем?             | 88,6% | 11,4% |            |
|   | 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

Результаты выводов опроса Влиянии цифровой культуры на архитектуру.

| № | Выводы               | Детали влияния   |
|---|----------------------|--|
|   | Существенное влияние | Цифровая культура оказывает значительное влияние на архитектурное формообразование, расширяя |

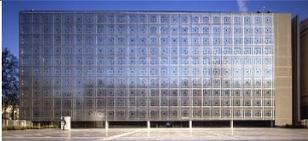
|  |   |  |
|--|---|--|
|  |   | возможности архитекторов и представляя новые способы создания и представления архитектурных форм.  |
|  | Многообразие форм                           | Цифровые технологии позволяют создавать более сложные и разнообразные формы, которые ранее были трудно воплощаемы.   |
|  | 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.  |
| <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.   |
|  |   | Использование технологий цифровой фабрики, 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.   |

Таблица Б. 2 - Элементы и аспекты цифровой культуры, которые оказывают влияние на архитектурное формообразование.

| № | Элемент цифровой 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 | 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. |

Таблица Б. 3 - Базы данных анализа примеров зданий и проектов, которые отражают влияние цифровой культуры.

| № | Название проекта                           | Архитектор                                      | Местоположение / фотографии   | Особенности цифровой культуры  | Ссылка источник   |
|---|--|---|---|--|---|
| 1 | "Guggenheim Museum Bilbao"                 | Frank Gehry                                     | <br>Бильбао, Испания       | Инновационный музей искусства. Применение программного обеспечения для аэрокосмической отрасли в процессе проектирования   | <a href="#">Музей Гуггенхайма в Бильбао (archi.ru)</a>  |
| 2 | "Beijing National Stadium" ("Bird's Nest") | Herzog & de Meuron                              | <br>Пекин, Китай           | Олимпийский стадион. Сложные геометрические формы, созданные с использованием компьютерного 3D-моделирования для создания его уникальной "птичьей гнездо" структуры.   | <a href="#">National Stadium, Beijing - Herzog &amp; de Meuron   Arquitectura Viva</a>                                    |
| 3 | "The Edge"                                 | PLP Architecture                                | <br>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>  |
| 4 | "Chicago Aqua Tower"                       | Studio Gang Architects, Loewenberg + Associates | <br>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>  |
| 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> |
| 6 | "The One Airport Square"                   | Mario Cucinella Architects                      | <br>Аккра, Гана          | Здание офисного типа. Применение солнечного моделирования для оптимизации тени и энергетической эффективности  | <a href="#">Комплекс One Airport Square (archi.ru)</a>  |

|    |                                       |                            |   |  |   |
|----|---------------------------------------|----------------------------|---|--|---|
| 7  | "The Institute of Arab World"         | Jean Nouvel                | <br>Париж, Франция       | Культурный центр. Интеграция фоточувствительных элементов для регулирования света и тени   | <a href="#">Arab World Institute   Architecture-Studio   Archello</a>   |
| 8  | "The J Mayer H's Metropol Parasol"    | J. Mayer H.                | <br>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>  |
| 9  | "Bjarke Ingels' Via 57 West"          | Bjarke Ingels Group (BIG)  | <br>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>   |
| 10 | "Dancing House" ("Fred and Ginger")   | Фрэнк Гери и Владо Милунич | <br>Прага, Чехия        | Этот дом стал примером использования компьютерного моделирования для создания уникальных архитектурных форм.   | <a href="#">Танцующий дом архитектор - 61 фото (colodu.club)</a>  |
| 11 | "Sagrada Familia"                     | Антонио Гауди              | <br>Барселона, Испания | Хотя этот проект начался задолго до эпохи цифровой культуры, сегодня для его завершения используются передовые технологии, включая 3D-печать.                                      | <a href="#">Саграда Фамилия – главный храм Барселоны. Испания по-русски - все о жизни в Испании (espanarusa.com)</a>  |
| 12 | "The High Line"                       | Diller Scofidio + Renfro   | <br>Нью-Йорк, США      | Этот городской парк, созданный на заброшенной железнодорожной линии, был спроектирован с использованием программного обеспечения для анализа микроклимата и оптимизации ландшафта. | <a href="#">Хай-Лайн (The High Line — высокая линия) - парк в Манхэттене на высоте 10 метров. Нью-Йорк, США — Мир красив! - туристический портал, всё о туризме! (mirkrasiv.ru)</a> |
| 13 | "CityLife Milano Residential Complex" | Zaha Hadid,                | <br>Милан, Италия      | Проект был спроектирован с использованием персональных компьютеров, которые позволили создать его уникальные криволинейные формы.  | <a href="#">Citylife Apartments / Zaha Hadid Architects   ArchDaily</a>   |

|        |                         |                                   |   |  |   |
|--------|-------------------------|-----------------------------------|---|--|---|
| 1<br>4 | "Burj Khalifa"          | Skidmore, Owings & Merrill, Дубай | <br>ОАЭ                  | Это здание - пример использования компьютерного моделирования для достижения необычайной высоты и стабильности.  | <a href="#">Небоскрёб Бурдж-Халифа Skidmore, Owings and Merrill Дубай   Структура (sk-struktura.ru)</a>   |
| 1<br>5 | "Louvre Abu Dhabi"      | Жан Нувель                        | <br>Абу-Даби, ОАЭ        | Этот проект использовал компьютерное моделирование для создания сложного купола из звезд.  | <a href="#">Жан Нувель: «Контекстуализм — моя самая большая амбиция»   Пространство (prostranstvo.media)</a>  |
| 1<br>6 | "Linked Hybrid"         | Steven Holl Architects            | <br>Пекин, Китай         | В этом жилом комплексе используются современные технологии для создания "экологического города" с системами переработки воды, геотермальным охлаждением и связями с общественными пространствами | <a href="#">Beijing's Linked Hybrid: one of the largest geothermal cooling and heating systems in the world   Roberta Cucchiaro (wordpress.com)</a> |
| 1<br>7 | "Guangzhou Opera House" | Zaha Hadid                        | <br>Гуанчжоу, Китай     | Этот оперный дом был спроектирован с использованием алгоритмического дизайна для создания уникальных криволинейных форм  | <a href="#">Оперный театр Гуанчжоу Проекты - LG Hausys (hi-macs.ru)</a>   |
| 1<br>8 | "Galaxy Soho"           | Zaha Hadid                        | <br>Пекин, Китай       | Этот коммерческий комплекс использует цифровые технологии для создания бесшовных переходов и сложных криволинейных форм  | <a href="#">РАСШИРЯЯ ПРОСТРАНСТВО: ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ О ЗАХЕ ХАДИД - МОСТ (mostmag.ru)</a>   |
| 1<br>9 | "Absolute Towers"       | MAD Architects,                   | <br>Миссиссога, Канада | Эти башни были разработаны с использованием компьютерного моделирования для создания уникальной волнистой формы.   | <a href="#">Absolute World - Wikipedia</a>  |

|    |   |                                    |   |   |   |
|----|---|------------------------------------|---|---|---|
| 20 | "Learning Hub"                              | Thomas Heatherwick                 | <br>Сингапур, Наньянский технологический университет | Этот учебный хаб использует передовые технологии для создания нетрадиционного пространства для обучения                                       | <a href="http://archi.ru">Двенадцать башен (archi.ru)</a>   |
| 21 | "The Interlace"                             | OMA / Ole Scheeren,                | <br>Сингапур   | Этот резиденциальный комплекс использует инновационные архитектурные подходы для создания сложной интерлокальной структуры.                   | <a href="http://archEstudy">The Interlace in Singapore by Ole Scheeren - archEstudy</a>   |
| 22 | "The Porsche Design Tower"                  | Porsche Design & Dezer Development | <br>Майами, США.                                     | Эта 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> |
| 23 | "BMW Welt"                                  | Coop Himmelbl(1)au,                | <br>Мюнхен, Германия                               | Этот многофункциональный центр автомобильного концерна BMW был спроектирован с использованием компьютерных симуляций и 3D-моделирования.      | <a href="http://myDecor">«Небесная архитектура»: проекты бюро Coop Himmelbl(1)au   myDecor</a>  |
| 24 | "The Diller Scofidio + Renfro Broad Museum" | Diller Scofidio + Renfro           | <br>Лос-Анджелес, США                              | Этот музей использует компьютерные модели для создания своей уникальной медовой фасадной структуры.   | <a href="http://ArchDaily">The Broad Museum / Diller Scofidio + Renfro   ArchDaily</a>  |
| 25 | "The Walt Disney Concert Hall"              | Фрэнк Гери,                        | <br>Лос-Анджелес, США                              | Для создания этого знаменитого здания использовались 3D-модели и алгоритмы для формирования его уникальных криволинейных форм.                | Более 700 работ на тему <a href="http://istockphoto.com">«Концертный зал имени Уолта Диснея»: стоковые фото, картинки и изображения royalty-free - iStock (istockphoto.com)</a>   |

|        |  |  |   |   |  |
|--------|--|--|---|---|--|
| 2<br>6 | "The Shard"                                | Ренцо Пиано                                  | <br>Лондон, Великобритания | Эта небоскрёб был спроектирован с использованием компьютерного моделирования для достижения его уникальной стеклянной формы   | <a href="#">The Shard — Википедия (wikipedia.org)</a>                                    |
| 2<br>7 | "The CCTV Headquarters"                    | OMA  | <br>Пекин, Китай           | Этот телевизионный центр использует инновационные архитектурные подходы для создания своего уникального зигзагообразного контура  | <a href="#">CCTV Headquarters - Alchetron, The Free Social Encyclopedia</a>              |
| 2<br>8 | "The Rolex Learning Center"                | SANA A                                       | <br>Лозанна, Швейцария    | Этот учебный центр использовал компьютерное моделирование для создания своего волнового плана.  | <a href="#">Rolex Learning Center / SANAA   ArchDaily</a>                                |
| 2<br>9 | "Tencent Seafront Towers"                  | NBBJ   | <br>Шэньчжэнь, Китай.    | Этот 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)</a> |
| 3<br>0 | "Harpa Concert Hall and Conference Centre" | Hennin g Larsen Architects и Olafur Eliasson | <br>Рейкьявик, Исландия. | Для создания уникальной стеклянной фасадной структуры этого здания использовались компьютерные модели.  | <a href="#">Концертный зал Харпа, Рейкьявик (lifeglobe.net)</a>                          |
| 3<br>1 | "One Central Park"                         | Ateliers Jean Nouvel                         | <br>Сидней, Австралия    | Этот жилой комплекс использует передовые технологии для включения вертикальных садов и системы концентрированного солнечного освещения.   | <a href="#">One Central Park / Ateliers Jean Nouvel   ArchDaily</a>                      |

|        |   |   |  |   |  |
|--------|---|---|--|---|--|
| 3<br>2 | "The London Aquatics Centre"                        | Zaha Hadid,                                   | <br>Лондон, Великобритания  | Этот спортивный объект, построенный для Олимпийских игр 2012 года, использует компьютерное моделирование для создания своих потрясающих волнообразных форм. | <a href="http://LondonAquaticsCentre.com">London Aquatics Centre – Zaha Hadid Architects (zaha-hadid.com)</a>                        |
| 3<br>3 | "The Gherkin (30 St Mary Axe)"                      | Foster + Partners,                            | <br>Лондон, Великобритания  | Этот небоскреб использует цифровые технологии для оптимизации своего энергоэффективного дизайна   | <a href="http://Хмарочос-огірок">Хмарочос-огірок «Сент-Мери Екс 30» (factum-info.net)</a>  |
| 3<br>4 | "The Singapore University of Technology and Design" | UNStudio и DP Architects                      | <br>Сингапур                | Этот университетский кампус был спроектирован с помощью компьютерных симуляций для создания оптимального образовательного пространства.                     | <a href="http://SingaporeUniversityofTechnologyandDesign.com">Singapore University of Technology and Design - UNStudio</a>           |
| 3<br>5 | "Jockey Club Innovation Tower"                      | Zaha Hadid Architects,                        | <br>Гонконг, Китай         | Эта башня, служащая школой дизайна, была разработана с использованием цифровых технологий для создания уникальной и динамической формы здания.              | <a href="http://JockeyClub.com">Jockey Club Innovation Tower - Wikipedia</a>   |
| 3<br>6 | "The Heydar Aliyev Centre"                          | Zaha Hadid Architects                         | <br>Баку, Азербайджан     | Этот культурный центр использует компьютерные алгоритмы для создания своей криволинейной и потоковой формы.   | <a href="http://HeydarAliyevCenter.com">Heydar Aliyev Center   Zaha Hadid Architects, Barrisol - Normalu Sas, Bolidit   Archello</a> |
| 3<br>7 | "Gardens by the Bay"                                | Grant Associates и Wilkins on Eyre Architects | <br>Сингапур              | Этот сад использует инновационные технологии для создания уникальных супердеревьев и тепличных конструкций.   | <a href="http://GardensbytheBay.com">Gardens by the Bay, Singapore - Garden of the Future (holiday.com)</a>                          |
| 3<br>8 | "Villa NM"  | UNStudio                                      | <br>Верхний New York, USA | Эта резиденция была спроектирована с использованием компьютерного моделирования для создания уникальной серебристой стеклянной и металлической формы.       | <a href="http://VillaNM.com">ViLLA NM - UNStudio</a>   |

Таблица Б. 4 - Для анализа влияния цифровых технологий на устойчивое архитектурное формообразование.

| Матрица влияния - интегральный подход к оценке эффекта цифровых технологий на архитектурное формообразование и устойчивость. |                                      |   |   |  |
|--|--------------------------------------|---|---|--|
| №  | Технология                           | Описание технологии   | Примеры использования в архитектуре   | Влияние на формообразование  |
| 1  | Зеленые технологии                   | Применение экологически дружелюбных и энергоэффективных решений в процессе проектирования и строительства.          | Использование возобновляемых источников энергии, энергосберегающих технологий и материалов с низким углеродным следом.                | Помогает создавать здания с минимальным негативным воздействием на окружающую среду и оптимизировать потребление энергии.                    |
| 2  | Аналитика данных                     | Использование аналитических инструментов и сбора данных для оценки энергоэффективности и производительности зданий. | Мониторинг и сбор данных о потреблении энергии, внутренней климатической среде и использовании ресурсов.                              | Позволяет идентифицировать области, требующие оптимизации, и принимать меры по улучшению энергетической эффективности и устойчивости зданий. |
| 3  | Материалы с низким углеродным следом | Использование материалов, производство которых имеет низкий уровень выбросов парниковых газов.                      | Использование древесных материалов, переработанных материалов, биокompозитов и других экологически устойчивых материалов.             | Уменьшает негативное влияние на климатические изменения и уменьшает потребление конструкционных ресурсов.                                    |
| 4  | Водоэффективность                    | Использование технологий и стратегий для сбережения и эффективного использования воды.                              | Установка систем сбора и переработки дождевой воды, водоэффективные сантехнические устройства, озеленение и ландшафтное планирование. | Снижает потребление пресной воды, улучшает управление стоками воды и повышает устойчивость здания к изменению климата.                       |
| 5  | Солнечные технологии                 | Использование солнечной энергии для генерации электричества и тепла.  | Установка солнечных панелей, солнечных коллекторов и систем солнечного отопления и охлаждения.  | Уменьшает зависимость от ископаемых источников энергии, снижает выбросы парниковых газов и энергозатраты зданий.                             |

| Таблица предназначена для краткого обзора различных технологий, используемых в архитектуре, и их влияния на процесс формообразования.   |   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
| 6   | 3D-моделирование                            | Процесс создания трехмерной цифровой модели объекта с использованием специального программного обеспечения.                                    | Применяется для визуализации архитектурных проектов перед их реализацией, помогает более точно планировать и контролировать процесс строительства. | Облегчает экспериментирование с формами и масштабами, позволяет быстро вносить изменения в дизайн.   |
| 7   | Промышленность                              | Использование цифровых технологий для производства физических объектов, часто применяется в сочетании с 3D-печатью.                            | Применяется для производства сложных архитектурных форм, которые было бы сложно или невозможно создать традиционными методами.                     | Позволяет архитекторам создавать более сложные и инновационные формы, открывает новые возможности для материалов и конструкций.  |
| 8   | Виртуальная и дополненная реальность        | Технологии, которые позволяют создавать и взаимодействовать с виртуальными средами или добавлять виртуальные элементы в реальное пространство. | Применяются для визуализации и презентации архитектурных проектов, помогают пользователям лучше понимать пространство и масштабы проекта.          | Позволяют архитекторам лучше представить свои идеи и получить обратную связь, могут влиять на процесс формообразования путем создания новых способов восприятия и взаимодействия с архитектурой. |
| 9   | 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 | Влияние на формообразование  |
| Таблица, которую можно использовать для анализа влияния цифровых технологий на архитектуру, может быть связана с использованием виртуальной и дополненной реальности (VR и AR). |   |  |  |  |
| 10  | Виртуальная реальность (VR)                 | Технология, позволяющая пользователям погрузиться в иммерсивную виртуальную среду, полностью отделяющую их от реального мира.                  | Используется для создания виртуальных туров по архитектурным проектам, позволяет клиентам и заинтересованным сторонам                              | Позволяет архитекторам и клиентам лучше понимать и визуализировать дизайн, выявлять потенциальные проблемы и вносить   |

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
|   |   |   | "прогуляться" по зданию до его построения.  | изменения до начала строительства.   |
| 11  | Дополненная реальность (AR)             | Технология, которая добавляет виртуальные элементы в реальное окружение пользователя, позволяя взаимодействовать с ними.                    | Применяется для создания масштабных моделей зданий, проецируемых на реальные объекты, позволяет архитекторам и дизайнерам реализовывать проекты прямо на месте строительства. | Улучшает коммуникацию между архитекторами, клиентами и строительными бригадами, позволяет более точно визуализировать и адаптировать дизайн в реальном времени.                        |
| 12  | Моделирование поведения и анализ данных | Использование цифровых технологий для моделирования поведения людей и анализа данных о потоке людей в зданиях и общественных пространствах. | Применяется для оптимизации планировки пространств, оценки проходимости и безопасности, оптимизации энергопотребления и других аспектов проектирования зданий.                | Помогает архитекторам создавать более функциональные и эффективные пространства, а также принимать решения, основанные на данных, для повышения комфорта и безопасности пользователей. |
| 13  | Дроны и дистанционное зондирование      | Использование беспилотных летательных аппаратов (дронов) и дистанционных средств зондирования для сбора данных о местности и зданиях.       | Применяется для создания точных моделей местности, мониторинга состояния зданий, проверки безопасности и других задач, связанных с инспекцией и обследованием.                | Предоставляет архитекторам более точные и актуальные данные для разработки проектов, обеспечивает более точное позиционирование зданий в окружающем пространстве.                      |
| Таблица для анализа влияния определенных цифровых технологий на архитектуру. Эта таблица сосредоточена на определенных программах и платформах, используемых в архитектуре. |   |   |   |  |
| 14  | Программа/Платформа                     | Описание  | Примеры использования в архитектуре   | Влияние на формообразование  |
| 15  | AutoCAD                                 | Это программное обеспечение для 2D и 3D-проектирования и черчения.  | Используется архитекторами для создания детальных чертежей и моделей зданий.  | Снижает время и усилия, необходимые для создания детальных планов, позволяет легко изменять и адаптировать дизайн.   |
| 16  | Revit                                   | Программа для BIM (Building Information Modeling), позволяющая создавать сложные  | Используется для создания более точных и детализированных 3D-моделей зданий   | Облегчает формирование сложных архитектурных форм и структур, упрощает   |

|    |                     |  |   |  |
|----|---------------------|--|---|--|
|    |                     | трехмерные модели с подробной информацией о компонентах здания.  | и для координации работы различных специалистов.  | взаимодействие и координацию между различными участниками проекта.   |
| 17 | Rhino + Grasshopper | Rhino - это программа для 3D-моделирования, а Grasshopper - плагин для Rhino, позволяющий проводить алгоритмическое моделирование. | Применяется для создания сложных архитектурных форм и структур с помощью алгоритмического проектирования. | Расширяет возможности архитекторов в области формообразования, позволяет создавать более сложные и динамичные формы. |
| 18 | SketchUp            | Простое в использовании программное обеспечение для 3D-моделирования.  | Часто используется для быстрого создания трехмерных моделей и визуализации архитектурных идей.            | Облегчает процесс формообразования, позволяет быстро визуализировать идеи и обсуждать их с клиентами и коллегами.    |