

Е. И. Петровская, А. Н. Милашевская, М. А. Жеблиенок, П. А. Берова,

И. А. Неллина, В. А. Ермаков, М. К. Крылов

E. I. Petrovskaya, A. N. Milashevskaya, M. A. Zheblienok, P. A. Berova, I. A. Nellina, V. A. Ermakov, M. K. Krylov

Цифровые инструменты сбора, анализа данных и современные технологии моделирования и визуализации градостроительно-архитектурных решений *Digital tools for data collection, analysis and modern technologies for modeling and visualization of urban planning and architectural solutions*

Ключевые слова: многофакторный градостроительный анализ, открытые данные, квалиметрическая оценка городских инфраструктур, цифровые инструменты, искусственный интеллект, виртуальная реальность, дополненная реальность, метавселенные, генерация и автоматизация моделирования застройки, матрица структурирования общественных пространств Петровской Е. И., Rhino, Grasshopper 3D, Python и C#, плагин RailClone для программы 3ds Max

Keywords: multifactor urban planning analysis, open data, qualimetric assessment of urban infrastructures, digital tools, artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, metaverses, generation and automation of development modeling, matrix for structuring public spaces E. I. Petrovskaya, Rhino, Grasshopper 3D, Python and C#, RailClone plugin for 3ds Max

Аннотация. Статья посвящена обзору современных цифровых инструментов визуального анализа и сбора градостроительных данных, инструментов эскизирования, автоматизации генерации с учетом заданных параметров и визуализации конкретных градостроительных решений; а также оценке удобства их применения и интегрированности в процессы градостроительной деятельности в российской практике от обоснования решений до их иллюстрации.

Abstract. The article is devoted to a review of modern digital tools for visual analysis and collection of urban planning data, sketching tools, generation automation taking into account specified parameters and visualization of specific urban planning solutions; as well as assessing the convenience of their use and integration into the processes of urban planning activities in Russian practice, from justification of decisions to their illustration.

История появления цифровых городов и сетевых городских платформ как запрос на разработку и применение цифровых сервисов

Первые цифровые платформы для объединения городских сервисов разного масштаба появились в конце XX века. Одной из главных целей их продвижения было вовлечение новых пользователей в цифровые сервисы, а также способствование развитию онлайн коммуникаций и партисипатизации [8, 12]. В последующие десятилетия объемы цифровых решений возрастали, постепенно формируя концепцию умного (цифрового) города.

В России проект «Умный город» (Минстрой) стартовал в 2018 году, с 2019 года он включен в нацпроекты «Цифровая экономика» и «Жилье и городская среда». Тогда же был утвержден и национальный стандарт «Умный город». Российские города активно «цифровизируются»: трансформируют собственные системы муниципального управления, тестируют программы цифровой оптимизации работы ЖКХ и общественного транспорта [3, 8]. Специализированные инструменты сбора, анализа, оценки и визуализации различных городских данных широко применяются на всех стадиях принятия и реализации градостроительных решений. При этом их внедрение ведется такими активными темпами, что теория градостроительства не успевает систематизировать данные о новых программных пакетах и различных аспектах их применения.

Настоящее исследование представляет собой обзор ряда прогрессивных цифровых инструментов в сфере градостроительного анализа и моделирования, а также обобщение потенциала их применимости при решении

различных практических и аналитических задач. Актуальность выбранной темы определяется отсутствием подобных обобщений на фоне постоянно растущих масштабов применения исследуемых программных пакетов в самых разных областях городской индустрии. Теоретическая значимость исследования определяется необходимостью оценки роли отдельных программных пакетов в решении комплексной задачи цифровизации российского города.

Цифровизация российских городов незаметно стала неотъемлемым городским процессом, который активно внедряется в жизнь каждого жителя, привнося новые возможности и расширяя сервисные горизонты. Проектировщики, социологи и архитекторы включают в свой профессиональный инструментарий открытые данные и все чаще обращаются к материалам неспециализированного характера (например, таким как данные Федеральной налоговой службы, которая позволяет анализировать количество чеков/трат с привязкой к объектам обслуживания), дополняя ими возможности по визуализации своих решений. Границы узкоспециализированных и широкодоступных программных продуктов размываются. Мы наблюдаем, как профессионалы учатся рассказывать о городских проблемах на бытовательском языке, а жители используют краудсорсинговые методы [7, 9, 11]. Цифровые инструменты сбора, анализа и визуализации данных выходят за пределы рабочих мастерских и становятся востребованы более широким кругом пользователей, что значительно повышает актуальность систематизации их возможностей и обсуждения различных аспектов их потенциального применения.

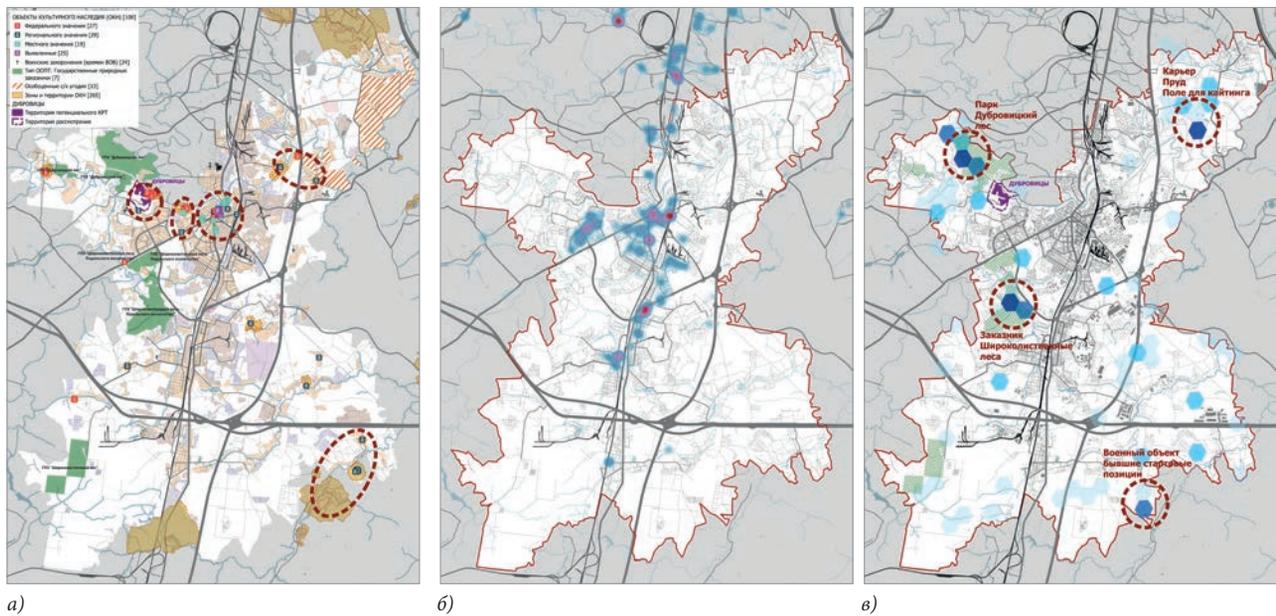


Рис. 1 Визуальный анализ посещаемости и популярности открытых мест на основе источников открытых данных (на примере г.о. Подольск): а – визуализация пространств с высокой концентрацией памятников истории и культуры; б – наиболее посещаемые общественные места (по количеству чеков); в – визуализация мест, наиболее часто указываемых на фотографиях в социальных сетях (на примере сети VK) (авт. Жеблиенок М. А., 2023)

Источники открытых данных: Q-GIS; OpenStreetMap; Google Maps, google.com, Google Street View, Parkopedia; Cadmapper; YouTube.

Различные сервисы и инструменты оценки качества городской среды и способы работы с ними в архитектурном и градостроительном проектировании

Успех современной городской индустрии связан с тем, насколько успешно она синтезирует, обобщает и анализирует данные о городах [3, 8]. А. Ю. Береговских называет это «последовательным переходом от управления градостроительством, основанного на документах, к управлению на основе данных, что полностью соответствует задачам повышения «цифровой зрелости» государственного и муниципального управления» [1].

На фоне роста такого спроса возникают новые инструменты, позволяющие автоматически генерировать квалитетрическую оценку как городских инфраструктур, так и предоставляемых городом услуг внутри каждого коммуникационного коридора. Среди зарубежных инструментов можно выделить: Инструментарий оценки «Здоровых улиц», Новая Зеландия (<https://www.healthystreets.com/resources>); Инструментарий оценки доступности улиц для МГН, Великобритания (<https://www.cityoflondon.gov.uk/services/streets>); Рейтинг состояния дорог iRAP (International Road Accessment Programme) для составления инвестиционного плана (<https://irap.org>).

Многие отечественные информационные порталы также предоставляют богатые возможности для составления визуализированных отчетов и комплектования аналитических схем с индикацией или квалитетрической оценкой заданных параметров [1, 9]. Так, Геопортал Подмосковья (<https://rgis.mosreg.ru>), сайт Министерства Культуры РФ (<https://opendata.mkrf.ru>) и статические данные портала «Показатели состояния безопасности дорожного движения» (<http://stat.gibdd.ru>) позволяют

объединять данные по местонахождению объектов массового посещения, памятникам культуры и истории, информацию по количеству дорожно-транспортных происшествий (рис. 1 а), выявляя места сгущения общественной городской жизни, актуальные конфликтные точки, пропускную способность улично-дорожной сети. В комплексе с материалами ФНС России (<https://vpd.nalog.gov.ru>) это дает возможность выявить наиболее посещаемые общественные пространства (рис. 1 б, в), визуализировать узлы финансовой активности населения.

Только на текущий момент у каждого бюро или агентства протоколы и методики сравнения групп данных и интерпретации закономерностей в городских процессах или отсутствуют, или носят закрытый корпоративный характер. По этой причине невозможно соотносить между собой заключения по исследованиям даже на один объект, например малый город в рамках конкурсов на общественные пространства, выполненные разными подрядчиками. Несколько последних лет только вырабатывается необходимый и достаточный для принятия градостроительных решений набор исследований и визуализации сопоставлений блоков информации о городской среде для того или другого формата и масштаба градостроительных изменений территорий. При этом растет объем данных, а способов их комплексной оценки слишком мало. При этом специалисты-аналитики разных направлений (экономисты, девелоперы, транспортники, политологи, социологи, инженеры инфраструктуры, градостроители и архитекторы) представляют приоритеты исходя из узких внутрипрофессиональных предпочтений и табу. Также нет четкого алгоритма перевода аналитических выводов в проект-

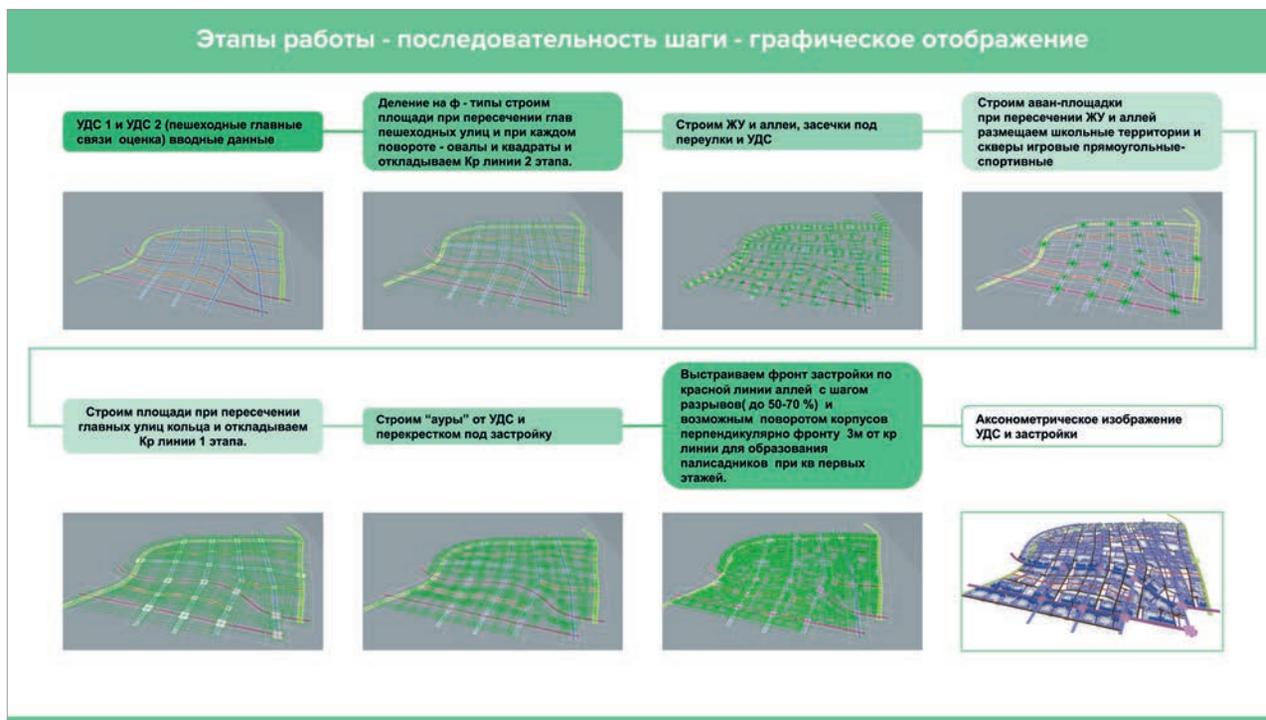


Рис. 2. Последовательность шагов – графическое отображений этапов. Авт. методики Петровская Е. И., авт. кода Ермаков В. А., 2024

ные решения. Часто разделы обоснования и предложения делают разные команды, контактирующие только на том этапе, когда уже поздно вносить глобальные изменения в проект на благо экологичности или человеческого масштаба.

Сегодня в сфере архитектурно-градостроительной деятельности существуют потребности в автоматизации процесса создания концепций фрагментов застройки, поиска новых решений и оптимизации временных и экономических издержек на проектные процессы. Одним из возможных способов удовлетворения этих потребностей является внедрение параметрического моделирования. В настоящее время в России еще не полностью раскрыт потенциал параметрического моделирования. Однако в условиях замедления развития рынка, крупные застройщики ищут способы сокращения затрат на проектирование и логистику. Для этого проводятся внутрикорпоративные исследования (ПИК, «Эталон», «Самолет» и т. д.) и разрабатываются новые внутрикорпоративные стандарты, делаются попытки написания программ «роботов-проектировщиков» под текущие технологии строительства и проектирования, т. е. в основу этих продуктов заложен «вчерашний день» Но стандарт не «переводится напрямую в проектный алгоритм, учитывающий и ставящий в основу приоритет человеческого восприятия» [4; 10; 13 р. 357-372], а тот факт, что разработкой алгоритмов занимаются не архитекторы, а программисты и корпоративная администрация, приводит к тому, что страдает пространственное качество получаемых решений и масштабность, которые не влияют на ТЭП, но влияют на качество получаемой среды.

Авторские алгоритмы анализа, кодирования и композиционного структурирования морфологии застройки и структур общественных пространств

Матрица пересечений Петровской Е. И. [6]¹ как инструмент комплексного подхода при формировании правил и регламентов к пространственным решениям для территорий масштаба 15-минутной доступности предложена для учебного проектирования в МАРХИ с 2017 года. Корреляционная матрица пересечений Петровской Е. И. позволяет проследить взаимосвязи пространственных характеристик структуры сетки и общественных пространств в связи с характером морфологии застройки. Заложенные в матрицу «жесткие сцепки» информационных блоков данных проверялись Автором на визуальном и параметрическом исследовании различных видов городской ткани европейской плотной среднеэтажной застройки разных временных периодов [7]. За прошедшее время разработаны принципы структурирования блоков данных, определяющих характер «поведения» УДС; удалось систематизировать последовательности влияния одних параметров на другие при построении конверта застройки и связь их с ТЭП. На основе этого предложен пошаговый алгоритм построения структуры и объема застройки от «вручную» заданных главных градостроительных направлений, осей и крупных природных и функциональных территорий (городского или районного назначения) до автоматизированных цепочек шагов и логических блоков для каждого этапа построения по правилам желаемой морфологии. Например, по правилам классической городской компо-

¹ Первая публикация в 2016 г.

зиции XIX века, или «жилой сталинской застройки», или принципов современной «скандинавской» комплексной застройки [7], т. е. прописаны правила построения паттернов и блоков застройки, свойственных для разных исторических периодов и градостроительных традиций. Матрица и алгоритм, основанный на ее правилах, – это способ заложить человеческий масштаб и традиции в процесс автоматизации градостроительного проектирования.

Применение параметрического моделирования и ИИ для формирования структур городского пространства и визуальных решений в них

Используя технологию параметрического моделирования, можно эффективнее и быстрее решать широкий спектр проектных задач с учетом множества требований, что позволяет выполнить работу быстрее и качественнее, исключая человеческий фактор.

Программа Rhino с интегрированной средой Grasshopper 3D поддерживает установку плагинов и встроенную поддержку языков программирования Python и C#, что позволяет оптимизировать алгоритмы. Этот софт также интегрируется с Revit для создания BIM модели и проектной документации.

Этот подход был применен в рамках дипломной работы Ермакова В. А. (рук. Петровская Е. И.). На основе Матрицы пересечений Петровской Е. И. и предложенной последовательности этапов и фаз построения конверта застройки, Ермаковым В. А. среде Grasshopper 3D написан Код алгоритма для автоматического формирования сети УДС нижних уровней (жилых улиц, аллей, переулков) и конверта застройки по «правилам формирования фронта». Пока наш алгоритм настроен только на диапазоне характеристик, свойственных для «современной скандинавской квартальной застройки» [7], но в нем есть возможность добавления модулей проверки ТЭП, сверки с требуемыми показателями и принятии решений об уплотнении объема застройки, согласно «правилам и нормативам» для данного типа территории. Также в дальнейшем возможно подключить модули правил для выделяемых зон, т. е. формировать сетку и объем по подобию любого существующего морфотипа в заданном историческом стиле, а следовательно, за счет настроек «правил поведения элементов» соз-

давать новые варианты городской среды и сравнивать полученные результаты с вариантами, основанными на традиционном наборе правил построения застройки как визуально и композиционно, так и параметрически с точными ТЭП (рис. 2).

Еще одним технически простым вариантом автоматизации проектного процесса является применение плагина RailClone для программы 3ds Max, который появился в 2010 году. Для работы с этим инструментом не требуется знание языков программирования, т. к. построение «логических цепочек» производится во встроенном визуальном редакторе стилей. В RailClone объекты создаются путем размещения и повторения готовой геометрии, т. е. конструктора элементов застройки, например типовых секций, с использованием легко настраиваемого набора правил. Плагин копирует геометрию по путям-сплайнам, которые можно импортировать в 3ds Max из AutoCAD или GIS программ, что позволяет координировать работу между участниками проекта, а также получать технико-экономические показатели.

Применительно к разработке градостроительных концепций, плагин позволяет быстро менять и настраивать: застройку, проработанную до фасадных решений и деталей; улично-дорожную сеть с тротуарами, благоустройством, разметкой; МАФы и элементы благоустройства. При «настроенных логических цепочках» возможно работать с параметрами создаваемых объектов, например, «в один клик» варьировать этажность застройки или отступ от красной линии, менять геометрию, сохраняя заданные интервалы, размеры и прочие характеристики с проверкой ТЭП. При таком подходе размерности шаг фасадов, ширина и сечения УДС, размеры и типы общественных пространств задаются «вручную» и качество решения напрямую зависит от знаний, методичности и стиля работы архитектора-оператора. В данном варианте построения Матрица пересечений Петровской Е. И., отформатированная под какой-либо исторический морфотип, может послужить инструкцией для оператора по настройке правил построения геометрии и «логических цепочек» системы, способов ускорения эскизной разработки градостроительных и архитектурных концепций (рис. 3, 4).



Рис. 3. Визуализации градостроительных решений, разработанные в 3Ds Max с помощью RailClone. Авт. Крылов М. А., 2024

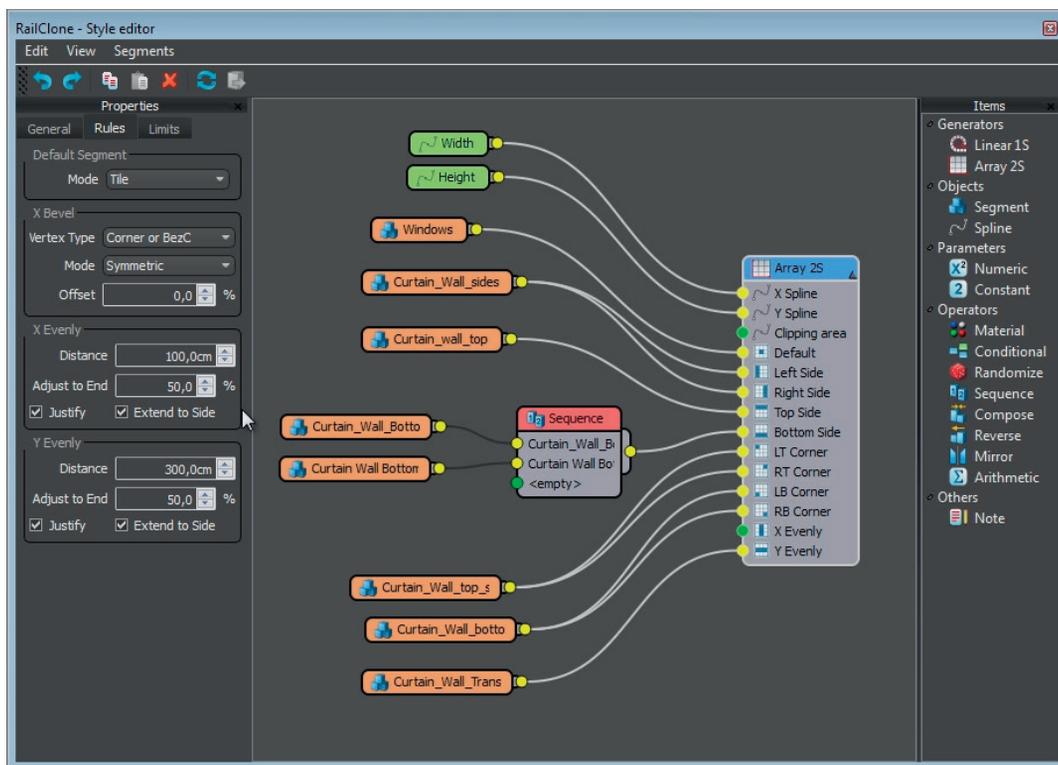


Рис. 4. Интерфейс плагина RailClone в программе 3Ds Max

Системы, способы ускорения эскизной разработки градостроительных и архитектурных концепций¹

Из-за постоянно растущей потребности ускорения процессов деятельности архитектора и градостроителя идет постоянный поиск способов автоматизации генерации планировочных решений. Выйдя на широкий рынок, AutoCAD, Archicad и Revit вместе с программами 3D-моделирования и расчета конструкций сделали большой шаг к автоматизации ряда задач в данных областях. Они ускорили процесс концептуального и рабочего проектирования вместе с процессом возведения объектов. Сегодня новую волну автоматизации в этой области создает искусственный интеллект (ИИ). Десять лет назад подобный элемент был частью Galapagos – одного из дополнений программы Grasshopper. Сегодня такие элементы нейросетей внедрены в распространенные для архитекторов программы – Revit, Rhinoceros, Blender. Такое внедрение происходило плавно, не позволяя рядовому пользователю заметить формирование таких дополнительных структур. Но одновременно вышли приложения на основе простых алгоритмов, призванные решать узконаправленные вопросы генерации планировки зданий и решения узких вопросов архитектурного проектирования (ArchiGAN, Maket.ai, Plan Finder, MasterMind Code Generator). Каждый

инструмент является концептуальным продуктом, которому необходим контроль решений со стороны пользователя, что налагает на него высокий уровень ответственности. Сейчас рядовой пользователь часто показывает невысокий уровень результата из-за плохого знания продукта. Генерация планировок не представляется абсолютно уникальной историей, будучи лишь элементом ускорения процесса работы автора, который при его подготовке способен улучшить методы формирования пространственных решений.

Искусственный интеллект, виртуальная реальность, дополненная реальность, метавселенные – эти определения можно услышать как в научных, так и в научно-популярных работах и даже в обычных популярных современных газетах и журналах. Однако история этих понятий началась в 60-м году прошлого столетия [2]. Искусственный интеллект понимается сегодня как способность искусственных интеллектуальных систем выполнить творческие функции, схожие со способностями человека. ИИ представляет собой область науки и технологии, посвященную созданию интеллектуальных компьютерных программ. Такие технологии, как Stable diffusion, Mid Journey позволяют добиться на этапах эскиза яркого образа в реалистичной или стилизованной подаче. Это позволяет ускорить процесс поиска образа, но ИИ интерпретирует запрос самостоятельно, что искажает представление архитектора. Проектирование в работе с искусственным интеллектом переходит в игру «да/нет». Важным фактором является точно по алгоритму нейросети написанный запрос и читаемые референсы. Однако существуют технологии ИИ,

¹ В 2023 году в рамках общего проекта направления «Идеи несмежных специальностей» студенческого научного общества команда студентов МАРХИ, в которую также вошли Милашевская А. Н., Борова П. А., Неллина И. А. (а также Коверга Д. Д., Синицын М. Д., Айрапетян Е. К., Маркина А. О.), изучали различные способы ускорения и уточнения разработки архитектурных и градостроительных решений с помощью ИИ.

которые больше заточены под архитектурную практику и позволяют упростить работу градостроителей и проектировщиков. Обычно это частные программы, используемые только в определенных бюро.

Виртуальная реальность представляет собой мир, созданный с использованием технических средств и передаваемый человеку через его чувства, такие как зрение, слух, осязание и другие. Эта технология имитирует как воздействие на пользователя, так и реакции пользователя на это воздействие.

Дополненная реальность – это продукт интеграции визуального поля разнообразных сенсорных данных с целью обогащения информации об окружающей среде и изменения восприятия окружающего пространства. В нашей стране сейчас популярны программы для девелоперов, используемые с целью погружения покупателя в среду объекта недвижимости. Например, ГК «Пионер» использует VR-очки для туров по будущим апартаментам при покупке недвижимости. Таким образом, частью архитектурного проекта становится и подготовка реалистичной подробной модели для демонстрации заказчику. В зарубежной же практике VR чаще всего можно увидеть в качестве инструмента для исследования [2] и выявления оптимальных решений в строительстве. Часто анализируется эмоциональное состояние испытуемого, что ускоряет формирование конкретных решений.

Метавселенная – это непрерывное виртуальное пространство, где люди взаимодействуют друг с другом и с цифровыми объектами, используя свои аватары с помощью технологий виртуальной реальности. Metaverse можно назвать возрождением движения бумажных архитекторов, но в объемном моделировании, доступном для изучения на любом конце света. Наиболее передовые архитектурные бюро попробовали себя в формировании своих «миров». Также встречаются частные проекты, когда внутри «мира» формируется предложение, разрабатываемое для заказчика.

Таким образом, архитектуре и градостроительству, как и любой отрасли, нужно идти в ногу со временем, но, чтобы это сделать, необходимо осознать происходящее и найти всем новым продуктам правильное применение, адаптируя их под проектный процесс, а также начать формировать свои собственные продукты, которые станут локомотивами области. Современные технологии уже формируют новую группу архитекторов, работающих и мыслящих иначе. Инновации меняют подход к проектированию на всех стадиях проекта.

Список литературы

1. *Береговских, А. Ю.* Государственное и муниципальное управление развитием территорий: градостроительство и пространственные данные / А. Ю. Береговских // *Градостроительство*. – 2022. – № 34 (79-80). – С. 10-15.
2. *Булдаков, В. С.* Применение искусственного интеллекта в творческой, научной и архитектурной деятельности / В. С. Булдаков, В. Е. Карпенко // *Архитектура и дизайн: история, теория, инновации*. – 2023. – № 7. – С. 136-139. – EDN GECSBR
3. *Жеблиенок, Н. Н.* Некоторые аспекты развития концепции «нового города» в теории отечественного градостроительства / Н. Н. Жеблиенок, С. В. Малинина // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2022. – № 3. – С. 132-141. – DOI 10.22337/2077-9038-2022-3-132-141. – EDN KSKHBT.
4. *Петровская, Е. И.* Апробация методики формирования локальных средовых и фасадных регламентов / Е. И. Петровская, Д. А. Ежикова, Е. А. Валенкова // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2021. – № 2 (55). – С. 276-308. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2021/2kvart21/PDF/20_petrovskaya.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-276-308
5. *Петровская, Е. И.* Методика выполнения графического градостроительного экспресс-анализа (в программе Photoshop): Приложение 1 / Е. И. Петровская; кафедра градостроительства МАРХИ. – Москва : МАРХИ, 2017. – URL: http://lib.marhi.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link_FindDoc&id=49705&idb=2. – Режим доступа: для авторизованных пользователей (дата обращения: 12.11.2021).
6. *Петровская, Е. И.* О методе кодирования «пешеходно-комфортной» городской среды и сочетании центральных и линейных городских пространств / Е. И. Петровская, А. Г. Подобулкин, И. А. Печенкин, А. И. Мавлѐнкин // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2018. – № 3 (44). – С. 392-426 – URL: http://marhi.ru/AMIT/2018/3kvart18/24_petrovskaya/index.php (дата обращения: 12.11.2021).
7. *Петровская, Е. И.* Особенности формирования современной морфологии районов комплексной застройки городов Европы / Е. И. Петровская // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2023. – № 4 (65). – С. 236-264. – URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/4kvart23/PDF/16_petrovskaya.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-236-264
8. *Урбанистика. Городская экономика, развитие и управление : Учебник и практикум для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим, социально-экономическим, инженерно-техническим направлениям / Л. Э. Лимонов, А. С. Баранов, А. Р. Батчаев [и др.].* – Москва : ЮРАЙТ, 2023.
9. *Шестернева, Н. Н.* Транспортно-пересадочные узлы: мониторинг уровня безопасности и комфорта для пешеходов / Н. Н. Шестернева, М. А. Жеблиенок // *Транспорт Российской Федерации*. – 2013. – № 5(48). – С. 29-32.
10. *Barton, H.* *Healthy Urban Planning* / H. Barton, C. Tsourou. – London; New York: Spon Press, 2000.
11. *Chaillou, S.* *Artificial Intelligence and Architecture from Research to Practice* / Stanislas Chaillou. – Basel : Birkhauser Verlag GmbH, 2022.
12. *Ishida, Toru.* *Digital City Kyoto* / Toru Ishida // *Communications of the ACM*. – 2022. – Vol. 45 (7). – P. 76-81. DOI:10.1145/514236.514238
13. *Paddison R.* *Urban studies. Society. Vol. 1: Cities as social spaces* / R. Paddison, W. Ostendorf. – Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC: SAGE, 2010.