

С.В. РАСТОРГУЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Цифровые технологии и искусственный интеллект становятся всё более актуальными в различных областях человеческой деятельности, в частности, в научных исследованиях. Если говорить об истории архитектуры, то технологии расширенной реальности (AR/VR) и 3D моделирования только начинают апробироваться в этом разделе науки. Ставка делается на 3D реконструкцию как отдельных исторических памятников, так и более крупных объектов. В статье описываются способы 3D реконструкции – ручное моделирование, различные варианты 3D сканирования, в том числе фотограмметрический метод. Оцениваются возможности привлечения искусственного интеллекта для развития технологии. Рассматриваются способы воссоздания в цифровой среде сложных архитектурных комплексов вплоть до городов применительно к разным историческим эпохам. Как отдельная ветка исследования приводится вариант реконструкции нереализованных архитектурных проектов известных авторов. В качестве рабочих примеров приводятся цифровые 3D модели Москвы нач. XIX и XX веков, Санкт-Петербурга нач. XVIII века, Ярославля нач. XX века и альтернативной модели Москвы с реализованными объектами Русского авангарда нач. XX века и генплана 1935 г. Оцениваются перспективы дальнейшего развития описываемой технологии.

Ключевые слова: памятник архитектуры, 3D моделирование, расширенная реальность, фотограмметрия, 3D город, авангард, альтернативная история.

S.V. RASTORGUEV¹¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

METHODS OF STUDYING THE HISTORY OF ARCHITECTURE BASED ON 3D MODELING

Abstract. Digital technologies and artificial intelligence are becoming increasingly relevant in various areas of human activity, in particular, in scientific research. If we talk about the history of architecture, then the technologies of extended reality (AR/VR) and 3D modeling are just beginning to be tested in this section of science. The focus is on 3D reconstruction of both individual historical monuments and larger objects. The article considers 3D reconstruction methods – manual modeling and various 3D scanning options, including the photogrammetric method. Artificial intelligence can also be used in different ways to advance technology. The article examines methods for recreating complex architectural objects, including cities, in a digital environment, in relation to different historical eras. As a separate area of research, a variant of reconstruction of unrealized architectural projects of famous authors is given. As working examples, digital 3D models of Moscow of the early 19th and 20th centuries, St. Petersburg of the early 18th century, Yaroslavl of the early 20th century and an alternative model of Moscow with implemented objects of the Russian avant-garde of the early 20th century and the general plan of 1935 are given. The prospects for further development of the described technology are assessed.

Keywords: architectural monument, 3D modeling, extended reality, photogrammetry, 3D city, avant-garde, alternative history.

Введение

Самые современные технологии парадоксальным образом могут быть направлены на то, чтобы ощутить присутствие в исторических эпохах с помощью изучения реконструированных в 3D моделях исторических памятников в дополненной и виртуальной реальности или просто на экране гаджета. Дополненная реальность позволяет рассматривать 3D модель, как макет, расположенный в реальном окружении. Применительно к архитектуре такой способ визуализации больше подходит для моделей отдельных зданий. Также можно дополнять модель различными информационными выносками, метками, разрезами в разных плоскостях и прочими дополнениями, повышающими информативность визуализации [1].

Виртуальная реальность позволяет полностью погрузиться в среду объекта, наблюдать его панорамно, на все 360°. Для просмотра требуются очки виртуальной реальности. Таким способом удобнее изучать архитектурные пространства - от отдельных интерьеров до городских улиц или городов в целом. Также возможны разнообразные информационные дополнения или подсказки при просмотре объекта [2].

Технологии трёхмерного воссоздания архитектурных объектов логично использовать для производства точных цифровых копий зданий. Однако, интереснее с научной точки зрения применять их и другими способами.

В такой цифровой реконструкции или воссоздании в большей мере нуждаются утраченные или потерявшие свой первоначальный облик известные исторические здания [3], кварталы, улицы и в конечном итоге – города. Под этим углом зрения 3D моделирование становится инструментом, позволяющим исследовать и сохранять мировое культурное наследие [4]. Кроме того, можно представить и другие его функции, связанные с изучением истории архитектуры, например – воссоздание не реализованных архитектурных проектов, которые уже в «бумажном» виде стали широко известны и тем или иным образом повлияли на развитие мировой архитектуры. Для начала необходимо рассмотреть, как методы моделирования, так и объекты, применительно к которым такой способ воссоздания уместен [5].

Создание цифровых копий отдельных зданий - явление довольно популярное в настоящее время [6, 7]. Наверное, самый известный пример, когда такая копия пригодилась — цифровая модель собора Парижской Богоматери, сделанная американским профессором Э. Тэллоном за несколько лет до печально известного пожара методом 3D сканирования [8]. Позже специалисты использовали детализированные 3D-модели собора для планирования восстановительных работ.

Однако, в цифровой среде масштаб создаваемых объектов не так важен и кроме отдельных зданий возможно так или иначе оцифровывать целые города.

Технология оцифровки современных городов в большом числе случаев применяется в картографических сервисах Google и Apple. Также можно найти немногочисленные примеры воссоздания исторического облика городов, связанных по большей части с археологическими изысканиями или компьютерными играми [9].

Одним из самых известных таких примеров является цифровой римский город Помпеи, оригинал которого был погребён при извержении Везувия в 79 году н.э. [10]. Реконструкция была сделана на основе сохранившихся руин. Также стоит отметить виртуализацию Персеполя, столицы древней Персидской империи. В качестве примеров воссоздания древних городов для видеоигр можно привести Александрию, Мемфис и Рим в серии «Assassin's Creed» [11].

Следует отметить, что часть приведённых примеров характеризуются слишком узкопрофессиональной релевантностью, работа по их созданию была чрезвычайно трудоёмкой [12]. Реконструкции для компьютерных игр наоборот носят более декоративный,

даже «сувенирный» характер и точность передачи городской среды в этих проектах стоит не на первом месте. Единой методики 3D реконструкции перечисленные примеры не выдвигают.

В данной статье рассматривается как технологии 3D реконструкции городов, так и реальные примеры, созданные в XR-лаборатории ИАиД ЯГТУ под руководством автора этого текста.

Об актуальности описываемых проектов говорит то, что материалы исследований были презентованы на выставке «Зарядье. Архивы возможного» (Москва, парк Зарядье, 2023 г.) [13], они дважды экспонировались на Ярославском градостроительном форуме в 2018 и 2022 гг. [14], им была посвящено 2 отдельных передачи на телеканале День.тв [15], доклад о разработке был представлен также на архитектурной секции форума SmartBuild «Стройка Политеха» 2023.

Метод и модели

Методы 3D моделирования различаются своей технологичностью, затратностью и скоростью создания объектов, что определяет их области применения.

Самым традиционным и экономичным в плане привлечения сложных технологий методом является *ручное создание 3D моделей* на основе архивных чертежей, фотографий, карт, рисунков и исторических описаний. Этот подход, с одной стороны, требует высокой точности и внимания к деталям и высокой квалификации разработчика, больших затрат времени на создание одного объекта. С другой стороны – он наименее требователен к исходным данным, которых часто недостаточно при историческом воссоздании объекта. При правильно сформулированных изначальных требованиях к сложности модели, например – количеству полигонов, полученные таким способом 3D объекты не будут требовать дальнейшей оптимизации.

Различные *способы объёмного сканирования* – лазерное, как в технологии LIDAR или близкий к ней метод «структурированного света» позволяют получать точные трехмерные данные об объекте. Однако в рассматриваемом контексте подобные технологии могут быть применены к реконструкции частично утраченных или видоизменённых зданий. Полученная при сканировании информация обрабатывается и используется для автоматизированного создания подробных 3D моделей [16]. Метод довольно популярен для создания точной копии реального объекта в цифровой форме. Созданные таким способом 3D объекты нуждаются в дальнейшей оптимизации, а их доработка-достройка происходит уже ручными или иными способами [17].

Фотограмметрический метод включает использование фотографий для создания точных 3D моделей [18]. Этот процесс требует серии снимков, сделанных с разных точек и под разными углами, которые затем анализируются специализированным ПО для построения трехмерной модели. Касаясь поставленной задачи, можно выделить и несколько недостатков данного метода: отсутствие большого количества фотографий утраченного исторического памятника с разных ракурсов [19]. Также нужно отметить чрезмерную сложность получаемых 3D моделей, необходимость не только в их оптимизации, но и устранения «шума» – различных артефактов, возникающих при неточном распознавании исходных снимков. Их число растёт прямо пропорционально уменьшению количества ракурсов съёмки и снижению качества фото [20].

Любой из представленных способов моделирования исторических архитектурных объектов в перспективе может быть дополнен с помощью Искусственного интеллекта (ИИ).

В последнее время всё больше проектов и программных продуктов начинают интегрировать ИИ для автоматизации и улучшения процесса 3D моделирования [21]. Тем не менее, на данный момент ещё нет готовых решений, которые способны напрямую быть привлечены в процессы создания виртуальной градостроительной модели.

Среди примеров использования ИИ в 3D моделировании стоит отметить:

Autodesk Maya, которая использует искусственный интеллект с помощью модуля Bifrost для автоматизации процессов создания реалистичной визуализации [22].

Adobe Substance Alchemist использует ИИ для улучшения создания текстур и материалов в 3D моделировании: преобразовывает фотографии в hi-res текстуры, автоматически удаляет шумы и нежелательные элементы, а также подбирает и предлагает материалы [23].

ZBrush использует концепцию ИИ под названием ZRemesher для упрощения топологии сложных 3D моделей и автоматического создания эффективных полигональных сеток, что существенно ускоряет процесс оптимизации 3D объектов [24].

ИИ способен анализировать большие объёмы исторических данных и предлагать наиболее вероятные варианты восстановления утраченных элементов. Машинное обучение помогает сократить время, необходимое на создание моделей, и может повышать их точность путём «домысливания» на основе известных примеров. Однако, эта способность ИИ требует модерации получаемых объектов на предмет их аутентичности и схожести с реальными историческими аналогами. Тем не менее ценность и перспектива применения ИИ несомненны, поскольку эта технология поможет значительно экономить время, например, при создании фоновой городской среды, элементов антуража. Специализация ИИ в том, что он способен быстро создавать множество вариантов решений. И уже задача разработчика-модератора выбрать наиболее уместное. Возможно, впоследствии станет доступна опция восстановления целого здания из его сохранившейся части.

Если говорить о технологии моделирования таких крупных и сложных объектов, как 3D города [25], то можно для начала разделить этот процесс на 2 крупные составные части, границы которых продиктованы как наличием исторических данных о разных частях и объектов городов, так и необходимостью постоянной оптимизации как самой модели, так и процесса её создания.

Таковыми частями будут:

1. Моделирование знаковых объектов, для которых реалистично найти большое количество исходных данных, позволяющих воссоздать их достаточно точно.
2. Создание «Фоновой» застройки, о которой сохраняется в разы меньше сведений и способы её реконструкции значительно менее тривиальны.

Воссоздание отдельных известных, но утраченных «городских достопримечательностей» – процесс вполне понятный среднему 3D специалисту. Он состоит в правильном масштабировании архивных планов и фасадов, а при наличии и деталей требуемого здания, расстановки их в соответствующих плоскостях в трёхмерной среде и моделировании с опорой на реальные размеры всех элементов в чертежах.

Понятно, что чем больше моделей разрабатывает 1 автор, тем дольше этот процесс и больше вероятность, что автор будет меньше погружаться в детали каждого объекта и будет склонен использовать единые детали и заготовки. Поэтому имеет смысл расширять число авторов-разработчиков уникальных объектов ещё и потому, что в реальности строители и архитекторы у них были тоже разные.

В учебной среде такой краудсорсинговый подход вполне возможен, например, каждый студент, изучая историю архитектуры, самостоятельно собирает материалы и создаёт 3D модель одного из утраченных архитектурных объектов, представляющих интерес. Это помогает эффективнее изучить историю архитектуры, у многих архитекторов лучше развита визуальная память. Ко всем создаваемым объектам должны предъявляться изначально унифицированные требования: ограничение по размеру модели (в Мб файла) из которого следует ограничение в количестве полигонов модели. Иными словами, 3D модель города не может состоять из тысяч зданий, где подробно смоделирована каждая дверная ручка. Современные мощности не позволяют оперировать такими моделями. Нужна разумная

оптимизация – баланс между внешним видом модели и её «весом» в Мб [26]. Также требования предъявляются к материалам/текстурам: минимальное их количество – это по одному материалу для стен, окон и крыш. Допускается больше, но в разумных пределах. Отметим, что подобный подход применялся при создании нескольких из описанных ниже примеров и показал свою неплохую результативность.

Коснёмся теперь понятия «фон города», которое мы так или иначе употребляли ранее. По опыту создания нескольких проектов выяснилось, что наиболее доступными из исторических материалов оказываются планы городов на определённый период. Количество материалов, показывающих внешний вид зданий стремительно сокращается при отдалении от нас исследуемой эпохи. Конец XIX века предоставляет в распоряжение разработчика множество фотографий, но смещаясь за середину века, двигаясь к первой его половине названный разработчик теряет этот «диапазон зрения» и ему приходится опираться лишь на отдельные зарисовки, картины городских видов или же на «эхо» зданий, а именно на их фотофиксацию в более поздний период, относительно наблюдаемого. Но городской план при этом не теряет детальности, более того, он становится зачастую более подробным при ретроспективном перемещении. Подробнее в середине XVIII века, чем в середине XIX, очевидно ощущая на себе тяжесть ответственной функции единственного источника информации о городе того времени.

Итак, уникально информационно-насыщенный план города должен быть преобразован в 3D город, возможно и не настолько точный, как тот, который мы видим в нескольких метрах от себя, но создающий убедительный фон. На планах города в XVIII-XIX вв. чаще всего делили городскую застройку на деревянную и каменную, а также обозначали церкви и различные уникальные объекты. Зачастую можно примерно определить этажность. Таким образом, обратив внимание и на структуру улиц мы получаем этажность, функцию и иерархию зданий – что было городским ориентиром, а что непритязательно скрывалось во дворах. Этой информации почти достаточно для построения модели, но всё же нужны фасады. Точных фасадов нет, однако выпускались неоднократно каталоги фасадов, например, «Собрание фасадов, Его Императорским Величеством Высочайше опробованных для частных строений» [27]. Кроме того, можно ориентироваться и на различные рисунки городов, чтобы понять их внешний вид, как минимум, силуэт в общих чертах. Что-то сохранилось до периода возникновения фотографии в 1840-1860-х г. При всём этом информации недостаточно для детального взгляда, но созданные на основе плана объёмы и фасады, приспособленные к получившимся объёмам на основе каталогов и дополнительных сведений дают городской фон, обладающий более чем 50% схожести с неведомым оригиналом.

Псевдосреда или псевдогород, создание такого фона, было бы куда более перспективно с привлечением ИИ, но как выяснилось, более-менее применимых решений под такой редкий запрос ещё не создано.

Необходимо выделить ещё несколько методов, применяемых в воссоздании исторических городов.

Ретроспективная методика базируется на современной 3D модели реконструируемого города. Для многих городов доступны модели, основанные на данных GIS – фактически, это поднятые на нужное число этажей абрисы планов домов без каких-либо деталей и в том числе форм крыш [28]. Реконструкция заключается в удалении из модели зданий, построенных позже требуемого периода. Эффективность такого метода варьируется в зависимости от города: например, при реконструкции на период нач. XX в. Москвы оказываются полезными в работе лишь около 20% существующих сейчас зданий, тогда как для Ярославля и особенно его центральной части этот процент повышается до 70-80. В любом случае исторические изменения меньше затрагивают структуру улиц и кварталов, чем отдельные здания, потому градостроительная планировочная структура чаще может быть употребима.

Релятивистский подход, в котором имеет смысл выделить 3 принципа применения:

1. Зависимость детальности проработки модели от траектории движения камеры в планируемой её презентации — от взгляда наблюдателя. Всё что находится близко от траектории проработано подробнее, чем более удалённые территории. Это позволяет экономить как время не только на разработку, но и на визуализацию (рендер) каждого кадра видео.
2. От объекта, который требуется рассмотреть. Это может быть как отдельное здание, так и целый район города. Соответственно, в этом случае, детально прорабатывается нужный объект или территория, а на всё остальное действуют «правила фона». На базе такой 3D разработки может быть создан мультимедийный материал, рассматривающий детали здания, карнизы, колонны, проёмы, предметы интерьера либо примыкающего к объекту благоустройства и т.п. В другом же случае разрабатывается подробный гид определённого района города на период 100-200 или более лет назад.
3. От автора/исполнителя. В данном случае действует краудсорсинговый подход, описанный выше: работы разных авторов состыковываются на единой 3D карте города. В таком случае нужны не только единые правила 3D моделирования для всех, но и единый визуальный подход, внутренний дизайн-код. В любом случае требуется единый модератор 3D города, который имеет возможность корректировать внешний вид всех объектов, чтобы создать выдержанный визуальный облик всего разрабатываемого города.

В целом такой подход позволяет получать результаты уже в процессе разработки, который может быть очень длительным, в том числе из-за множественных доработок исходя из вновь открываемых деталей или архивных материалов, поток которых применительно к городу, состоящему из тысяч зданий бывает очень велик. Таким образом достигается одновременная нацеленность и на исследовательский процесс, и на результат. Каждая локальная разработка на единой карте города улучшает глобальную модель города и даёт необходимые локальные результаты, способствующие популяризации общей разработки.

Ещё один не метод, а скорее *эффект обратной связи*. Сложность созданного объекта – трёхмерного города настолько высока, что при её изучении возникают новые ракурсы, с которых город открывается по-новому неожиданно. В этом он схож и с настоящим городом. С другой стороны, данный эффект придаёт городской 3D модели в разработке свойства цифровой строительной площадки, которая сама формулирует задание для разработчика. С новых ракурсов и неожиданных точек зрения становится видно, какие доработки требуются модели даже в тех зонах, которые, казалось бы, в целом выглядят построенными. Этот артефакт визуализации может быть связан с некачественной стыковкой фоновых объектов с объектами переднего плана, странностью и неравновесностью композиций отдельных участков города, недостатками антуража или с явной непохожестью городского ландшафта при сравнении его с архивными материалами. Нужно отметить, что процесс таких доработок с помощью случайных видовых точек может быть практически бесконечным, поэтому разработчику нужно определить иерархию ценности различных ракурсов и понять на доработке каких территорий города следует остановиться в данный момент.

Результаты исследования и их анализ

Перейдём к рассмотрению исторических моделей городов, опыт создания которых обобщён в данной статье.

В настоящее время доступны две 3D модели исторической Москвы: более разработанная допожарная Москва начала XIX века и находящаяся в процессе создания дореволюционная Москва начала XX века.

Что касается 3D модели *Москвы начала XIX века*, создавалась она на основе следующих исторических данных: нескольких точных планов города [29], более подробных данных о

более чем 25 не дошедших до нашего времени знаковых архитектурных объектах - городских достопримечательностях, благодаря которым они были смоделированы наиболее подробно (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Визуализация 3D модели Москвы нач. XIX в.

Ретроспективным способом был перенесён из «будущего» и модифицирован под соответствующую эпоху Кремль. Также был задействован каталог типовых фасадов для каменной застройки и накопленные примеры деревянной застройки. Множество московских храмов, обозначенных на плане, были воссозданы в трёхмерной среде с помощью аналогов, по наиболее знаковым были найдены уточняющие данные, например, фотографии более позднего времени. В дополнение были использованы найденные рисунки и гравюры городской среды близких исторических периодов [30].

Приводим перечень утраченных в настоящее время объектов, которые были воссозданы наиболее точно в модели (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Перечень значимых объектов в 3D модели Москвы начала XIX века.

	<i>Название объекта</i>	<i>Годы существования</i>
1	Москворецкие ворота	1535—1813
2	Свайный Москворецкий мост	1789—1833
3	Алевизов ров	1508—1814
4	Церковь Константина и Елены в Кремле	1692—1928
5	Храм Святой Екатерины в Вознесенском монастыре	1808—1918
6	Малый Николаевский дворец (Архиерейский дом) в Кремле	1775—1929
7	Церковь Николы Гостунского в Кремле	1506—1817
8	Чудов монастырь	1365—1918
9	Зимний дворец Растрелли, реконструкция Н.А. Львова в Кремле	1798—1838
10	Собор Спаса Преображения на Бору	1330—1918
11	Церковь Благовещения на Житном дворе	1731—1932
12	Церковь Рождества Иоанна Предтечи на Бору	1505—1847
13	Всехсвятский каменный мост	1792—1850
14	Земский приказ	1699—1874
15	Торговые ряды Дж. Кваренги на Красной площади	1780—1812
16	Варварские ворота	1534—1934
17	Китайгородская стена	1535—1934

Продолжение Таблицы 1

	<i>Название объекта</i>	<i>Годы существования</i>
18	Угловая башня Китайгородской стены	1535—1934
19	Застройка Зарядья	1365—1947
20	Застройка Васильевского спуска	до 1936
21	Петровский театр (Театр Медокса)	1780—1805
22	Сухарева башня	1695—1934
23	Собор Вознесения Господня в Кремле	1587—1929
24	Старое здание Оружейной палаты	1806—1959
25	Воспитательный дом (частично перестроен)	С 1764

Особенностью данной исторической модели является то, что в ней фактически не удалось задействовать модель современной Москвы и ретроспективно её преобразовать. Этот метод оказался в данном случае нецелесообразен, поскольку городская застройка за 200 лет изменилась примерно на 90-95%. Единственное, что удалось задействовать — это рельеф, но даже он претерпел изменения в диапазоне 15-20%.

Москва начала XX века. Эта городская модель базируется в первую очередь на огромном количестве исторических фотографий конца XIX - начала XX века (см. рисунок 2).



*Рисунок 2 – Визуализация 3D модели Москвы нач. XX в.
На переднем плане памятник императору Александру II в Кремле*

Существуют специальные онлайн-сервисы, где большинство из доступных фотографий собрано и благодаря геопривязке они расставлены на карте города и даже имеют указатели направления камеры фотографа [31]. ИИ также оказался задействован в проекте из-за того, что многие фотографии имеют колонизованные версии, созданные с помощью нейросетей. Сами планы Москвы выпускались в нач. XX века в по несколько раз в год, что также помогло в подробной разработке проекта. Кроме того, в данном случае удалось ретроспективно модифицировать современную модель Москвы, задействовав примерно 40-50% её зданий в центральной части города, ограниченной Садовым кольцом. Дальше (ближе к окраинам), этот процент стремительно снижается до 10-15. Однако, такой большой объём исходных данных

значительно повысил планируемую детализацию 3D модели, увеличив количество значимых объектов и отодвинув территории «городского фона», что привело к замедлению процесса её создания. Тестовые траектории в окрестностях Кремля уже доступны для просмотра [32], но остальная часть города всё ещё находится в длительной разработке.

Модель Санкт-Петербурга начала XVIII века была создана на наиболее скупой исторической базе из всех перечисленных в статье разработок (см. рисунок 3).



Рисунок 3 – Визуализация 3D модели Санкт-Петербурга начала XVIII века

Картографические материалы по городу начиная с 1725 г. отличаются очень высоким качеством, некоторые из них можно назвать произведениями графического искусства, тем не менее материалов на период самых первых городских построек значительно меньше. Современная модель Санкт-Петербурга в этом проекте оказалась полностью нерелевантной, изменилось всё, даже рельеф. Опираясь на редкие и разрозненные графические материалы и аналитику, граничащую с фантазией разработчиков, удалось по мере возможности воссоздать более-менее целостный вид города в ту легендарную эпоху начала его строительства.

Дореволюционный Ярославль на период примерно 1911 года напротив располагает довольно обширной базой исходных данных. Принцип создания этой модели был близок к реконструкции Москвы нач. XX века, однако эта модель делалась более детально, чему способствовала меньшая площадь территории города (см. рисунок 4).



Рисунок 4 – Визуализация 3D модели Ярославля 1911 г.

Кроме того, резонанс, вызванный появлением описываемой модели, привёл парадоксальным образом к тому, что к разработчикам стало поступать большое количество разнообразных правок и дополнений. Таким образом, хотя модель города и выглядит законченной, но её совершенствование займёт ещё значительное время. Тем не менее, 3D модель наряду с прочими зданиями содержит 25 городских достопримечательностей [33], полностью или частично исчезнувших, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень значимых объектов в 3D модели Ярославля начала XX века.

	<i>Название объекта</i>	<i>Годы существования</i>
1	Церковь Петра и Павла и церковь Николая Чудотворца	1691—1937
2	Церковь Троицы Живоначальной Пятницкого прихода	1730—1937
3	Крестовоздвиженская церковь (частично разрушена в 1929 г.)	С 1688
4	Церковь Сошествия Святого Духа	1688—1938
5	Церковь Введения Пресвятой Богородицы во Храм	1738—1933
6	Ресторан Бутлера	1902—1930
7	Церковь Варвары и Екатерины Великомученицы	1668—1931
8	Церковь Жен Мироносиц Всехсвятского прихода	1683—1937
9	Церковь Рождества Иоанна Предтечи	1670—1932
10	Мытный рынок	1820—1981
11	Святые ворота с колокольной Казанского монастыря	1821—1923
12	Гостиница Кокуева	1864—1980
13	Гостиный двор, южный корпус	1813—1920
14	Церковь Рождества Богородицы	1720—1930
15	Спасо-преображенский монастырь (частично перестроен в 1923 г.)	С 1516
16	Американский мост	1873—1960
17	Церковь Иоанна Богослова	1679—1934
18	Успенский кафедральный собор	1670—1937
19	Демидовский юридический лицей	1826—1929
20	Церковь Иоанна Златоуста в Рубленном городе	1690—1931
21	Николаевский мост (частично перестроен в 2005 г.)	С 1910
22	Колокольня комплекса Благовещенских храмов	1688—1929
23	Церкви Власьевского прихода	1679—1933
24	Церковь Козьмы-Дамиана	1871—1930
25	Церковь Воскресения Христова	1769—1930

Проект «Москва, которой не было». Модель «возможной реальности» или альтернативной ветки реальности (см. рисунок 5).

Этот проект — с теоретической точки зрения: ретрофутуристическая проекция, начинающиеся в определённом историческом периоде, а именно примерно в 1920-е, когда стартовало движение архитектурного авангарда. Как будто бы тогда изменились обстоятельства и все не реализованные в нашей «ветке реальности» проекты авангардистов здесь были построены. Такие исследования привлекательны тем, что обманывают наше чувство восприятия времени, которое не входит в состав классических 9 чувств. На практике, точнее в цифровой среде, за основу была взята 3D модель современной Москвы, установлены, на сколько это возможно было определить, планируемые места расположения значимых проектов авангардистов, а сами объекты были смоделированы разными авторами краудсорсинговым методом и размещены на соответствующих точках. На самом деле проект

не остановился лишь на 20-х годах, а развивался далее во времени, охватив и 30-е, включив в себя части генплана Москвы 1935 г., и немногочисленные более поздние не реализованные постройки вплоть до 1970-х. [34] Особенности работы над отдельными объектами заключались в том, что часто в доступе оказывались только виды с одной стороны на здание и в совокупности с планом приходилось творчески додумывать остальную часть объёма. Сам проект до сих пор находится в развитии и насчитывает на текущий момент более 70 построек (см. таблицу 3).



Рисунок 5 – Визуализация 3D модели «Москвы, которой не было».

На переднем плане здание Народного Комиссариата Тяжелой Промышленности СССР, арх. И. Леонидова.

Таблица 3. - Перечень реконструированных в 3D моделях не реализованных архитектурных проектов в Москве

	<i>Название объекта</i>	<i>Автор проекта</i>	<i>Годы проектирования</i>
1	Коммунальный дом	Н. Ладовский	1919
2	Храм общения народа	Н. Ладовский	1919
3	Ленинская трибуна	Эль Лисицкий	1920
4	Архитектон Альфа	К. Малевич	1920
5	Архитектон-Небоскрёб	К. Малевич	1920
6	Дорогомиловский рынок	М. Коржев	1922
7	Архитектон Гота	К. Малевич	1923
8	Дворец Труда	Братья Веснины	1923
9	Небоскрёб ВСНХ	В. Кринский	1923
10	Горизонтальный небоскрёб	Эль Лисицкий	1925
11	Редакция газеты Ленинградская Правда	Братья Веснины	1924
12	АО Аркос	В. Кринский	1924
13	АО Аркос	Братья Веснины	1924
14	Центральный телеграф	Братья Веснины	1925
15	Типография газеты Известия	И. Леонидов	1926
16	Международный Красный стадион	М. Коржев	1926
17	Центральный оптово-розничный рынок	М. Барщ, М. Синявский	1926
18	Электробанк	И. Голосов	1926
19	Типография «Новый мир»	А. Куровский	1926
20	Институт Библиотекосведения им. Ленина	И. Леонидов	1927

Продолжение Таблицы 3

	<i>Название объекта</i>	<i>Автор проекта</i>	<i>Годы проектирования</i>
21	Башня в городе будущего	Л. Руднев	1927
22	Дом съездов	Р. Смоленская	1927
23	Летающий город	Г. Крутиков	1928
24	Композиция с вогнутыми поверхностям	Я. Черников	1928
25	Центральная библиотека им. Ленина	Братья Веснины	1929
26	Памятник Христофору Колумбу	Н. Ладовский	1929
27	Эллинг для дирижаблей	Б. и З. Розенфельды	1931
28	Архитектурная выдумка-иллюзия № 17	Я. Черников	1933
29-30	Композиция №18 и №24	Я. Черников	1933
31	Дворец Народов СССР	К. Мельников	1932
32	Дворец техники	А. Самойлов, Б. Ефимович	1933
33-45	Дворец Советов (конкурсные проекты разных авторов)	Б. Иофан, В. Гельфрейх, В. Щуко; Ле Корбюзье; Братья Веснины; В. Щуко, В. Гельфрейх; Х. Пельциг; И. Жолтовский; Н. Ладовский; Г. Гамильтон; Б. Иофан; В. Гропиус; В. Щуко; Х. Мейер	1931-1933
46-53	Здания Народного Комиссариата Тяжелой Промышленности СССР (конкурсные проекты разных авторов)	Братья Веснины; И. Леонидов; А. Мордвинов; А. Щусев, Д. Фридман; К. Мельников; бр. Веснины, С. Лященко; В. Щуко	1934-1935
54	Центральный дом Аэрофлота	Д. Чечулин	1934
55	Наркомат обороны	Л. Руднев	1934
56	Академия наук СССР	А. Щусев	1934
57	Дом Радио на Миусской площади	А. Душкин, А. Мордвинов	1934
58	Театр Мейерхольда	А. Щусев	1934
59	Проспект Дворца Советов	Институт Генплана Москвы	1935
60	Проспект Конституции	Институт Генплана Москвы	1935
61	Башня на въезде на проспект Конституции	С. Чернышев, А. Заславский, С. Кожин, А. Сурис	1935
62	Дом МежРабПомФильм	Институт Генплана Москвы	1935
63	Здание ТАСС	И. Голосов	1936
64	Большой Академический Кинотеатр	А. Великанов, И. Ткаченко и В. Щуко	1936
65	ВИЭМ им. А.М. Горького	Н. Лансере, В. Гридин, Э. Кольби	1936
66	Полиграфический комбинат «Известия»	Б. Иофан, А. Хряков	1940
67	Монумент героическим защитникам Москвы	Л. Павлов	1942
68	Административное здание в Зарядье	Д. Чечулин	1948
69	Проект перепланировки центра Москвы (частично)	Л. Павлов	1966-1967
70	Издательский комплекс «Известия»	Л. Павлов	1967
71	Центральный музей им. Ленина	Л. Павлов	1970
72	Здание Министерства внешней торговли	М. Посохин	1970

Переходя к обсуждению, можно отметить, что, хотя такое число объектов в масштабе Москвы выглядит совсем незначительным, но многие из них были довольно грандиозными и потому значительно изменили городской ландшафт. По большому счёту возник новый город в виртуальной реальности, проект «Москва, которой не было» вызвал большой резонанс.

Удивительным оказалось то, что подобные идеи воссоздания не построенных зданий генплана Москвы 1935 г. были реализованы в фильме «Мастер и Маргарита» 2024 г., который вышел на экраны на год позже упоминаемого проекта [35]. Неизвестно, есть ли прямая связь между этими событиями, но так или иначе происходит вовлечение новых групп в архитектурную дискуссию за счёт визуального отображения сложных по восприятию исторических фактов. Визуализация делает научные поиски и рассуждения наглядными и понятными.

Дискуссии, касающиеся упомянутых проектов, носили как научный характер, в том числе на ежегодном форуме ЯГТУ «Стройка Политеха», так и проходили в телевизионных студиях, но место провидения их значимость не уменьшает.

Одна из веток обсуждения – количественная составляющая фактических доказательств определённого исторического периода. Иными словами, как много необходимо исходных исторических документов или вещественных артефактов определённого исторического периода, чтобы его моделировать (создавать словесные описания, зарисовки, картины, 3D графику и пр.). Простая логика говорит, что соотношение должно быть, как минимум - 51% фактов и 49% допущений, тогда как в процессе дискуссий с историками на тему визуализаций истории городов выяснилось, что на практике достаточно иметь около 15-25% фактов, чтобы заполнить остальное поле допущениями.

Ещё одна дискуссия, вызванная описанной разработкой, а именно проектом «Москва, которой не было» прошла на тему не реализованных проектов авангардистов и их восприятия современными архитекторами в представленной модели. Не смотря на встречающуюся гигантоманию, не соблюдение масштаба города многие проекты тем не менее не вызывают отторжения. Выявленное положительное их свойство – полное исключение вторичности. Создавались эти проекты в эпоху отсутствия ограничений, когда многие, в том числе и архитекторы искали новый способ жизни человека. Потому большинство проектов авангардистов несут на себе отпечаток чистого эксперимента, безусловного поиска, как будто бы теории из мира идей кристаллизовались максимально точно и не подверглись трению чужих суждений, не изменили под их влиянием своей изначальной формы.

Также была обсуждена альтернативная реализация проекта воссоздания нереализованной Москвы в известном художественном фильме. Одним из обсуждавшихся аспектов был масштаб Дворца Советов. Оригинальный проект здания предполагал его высоту в 415 м, тогда как в фильме он достигал приблизительно 2 км, если сравнивать с расположенным на той же оси проспектом Дворца Советов, длина которого по генплану 1935 г. составляла около 4 км. Если бы это было так, то по приблизительным расчётам, с учётом того, что около 70% объёма здания занимали различные зрительные залы, остальные «офисные» помещения потребовали бы около 5 млн. человек персонала, что равнялось всему населению Москвы на момент написания М.А. Булгаковым романа «Мастер и Маргарита».

Выводы

3D моделирование исторических зданий и целых городов открывает не только большое поле для дальнейших исследований археологов, историков, архитекторов и общественности. Также имеет смысл заявить этот метод как новый в первую очередь археологический, но и в большой степени архитектурный инструмент исследования истории архитектуры. Данный инструмент делает аналитическую работу историка архитектуры максимально визуально-наглядной. Соответственно, скорректировать выводы и предостеречь от чересчур масштабных заблуждений сможет наиболее широкая аудитория наблюдателей. С одной стороны – это может замедлить процесс исторического исследования и выяснения определённых фактов, но

с другой - сам процесс изучения новых фактов в области истории архитектуры станет более точным. В любом случае, не только научное сообщество, но и более широкая аудитория получит новый инструмент наглядности, для изменения взгляда или точки зрения историка архитектуры, подразумевающий вариативность.

Это и «микроскоп», чтобы рассмотреть старинный план города вплоть до деталей отдельных фасадов, и «коллайдер» для архитектора – квантового физика, или просто любящего новые технологии, позволяющий наглядно и относительно подробно рассмотреть альтернативную ветку развития реальности. И как любой новый творческий инструмент, этот позволит создавать реальные или альтернативные, заурядные и гениальные картины бытия. Сложность работы по созданию целых новых миров, описанная выше может быть возложена на плечи ИИ в её рутинных разделах. Это распределение труда способно принести как сомнения в плане креативности ИИ, так и парадоксальную быстроту в построении виртуальных городов при правильном распределении ролей. Вся надежда на художника, архитектора и учёного в руки которого попадут эти инструменты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строганова Л. А., Веретенникова А. А. Применение иммерсивных технологий в дизайне и архитектуре // Состояние, проблемы и перспективы развития современных социально-экономических процессов. Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2021. С. 63-78.
2. Чистяков А.В. Интерактивное виртуальное прототипирование в архитектурном проектировании // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Т. 17. №. 4. С. 74-78. DOI: 10.14529/build170411
3. Руденко, М.П. Способы виртуальной реконструкции памятников архитектуры // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2015. № 1-2(8-9). С. 110-117. EDN XSASKP.
4. Herold H., Hecht R. 3D reconstruction of urban history based on old maps // Digital Research and Education in Architectural Heritage: 5th Conference, DECH 2017, and First Workshop, UHDL 2017, Dresden, Germany, March 30-31, 2017, Revised Selected Papers 1. Springer International Publishing, 2018. С. 63-79. DOI: 10.1007/978-3-319-76992-9_5
5. Хапаев В.В., Бацура И.В. Компьютерная 3D реконструкция античного и средневекового города Херсонес Таврический: опыт, проблемы и перспективы // Историческая информатика. 2018. № 4. С. 39-56. DOI: 10.7256/2585-7797.2018.4.28489
6. Бородин Л.И. и др. Виртуальная реконструкция Московского Страстного монастыря (XVII-XX вв.): комплексное использование технологий 3D-моделирования // Информационный бюллетень ассоциации История и компьютер. 2015. № 44. С. 8-12. EDN YMJPPU.
7. Маландина Т.В. Виртуальная 3D-реконструкция интерьеров подмосковных усадеб XVIII – начала XX веков: парадные интерьеры усадебного комплекса Никольское-Урюпино // Историческая информатика. 2021. № 2. С. 134-170. DOI: 10.7256/2585-7797.2021.2.36029
8. Notre Dame Cathedral's restoration is imagined through digital scans by architectural historian Andrew Tallon [Электронный ресурс]. URL: <https://archinect.com/news/article/150132307/notre-dame-cathedral-s-restoration-is-imagined-through-digital-scans-by-architectural-historian-andrew-tallon> (дата обращения: 8.08.2024).
9. Ledoux H, Biljecki F, Dukai B, Kumar K, Peters RY, Stoter JE et al. 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. // Journal of Open Source Software. 2021. №6(57) Article 2866. DOI: 10.21105/joss.02866
10. Pompeii - a 3DRevival — Lund University [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.research.lu.se/en/projects/pompeii-a-3d-revival> (дата обращения: 8.08.2024).
11. The real history behind the most impressive landmarks in Assassin's Creed Origins [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pcgamer.com/the-real-history-behind-the-most-impressive-landmarks-in-assassins-creed-origins/> (дата обращения: 8.08.2024).
12. L. Ragia, F. Sarri and K. Mania. 3D reconstruction and visualization of alternatives for restoration of historic buildings: A new approach. // 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM), Barcelona, Spain, 2015, pp. 1-9.
13. В Белокаменном подклете Старого Английского двора откроется выставка «Зарядье. Архивы возможного» // Сайт мэра Москвы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/news/item/129328073/> (дата обращения: 8.08.2024).

14. Ярградфорум и 3D Ярославль. Новости Vimania [Электронный ресурс]. URL: <https://vimania.ru/w/blog/2022/08/25/> (дата обращения: 10.08.2024).
15. 3D Москва, утерянная или невоплощённая. Дзен.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/ZkIKvL5L0A2WZtpR> (дата обращения: 10.08.2024).
16. Коренев В.И. Использование цифровых технологий и 3D-моделирования в градостроительной деятельности (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 70-82. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82
17. Buyukdemircioglu M., Kocaman S. Reconstruction and efficient visualization of heterogeneous 3D city models // Remote Sensing. 2020. Т. 12. №. 13. С. 2128. DOI: 10.3390/rs12132128
18. Yilmaz H. M. et al. Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage // Journal of Cultural Heritage. 2007. Т. 8. №. 4. С. 428-433. DOI: 10.1016/j.culher.2007.07.004
19. Шестопалова О.Л., Шестопалов Р.П. Об интеграции BIM-технологии информационного моделирования зданий с методами фотограмметрии при построении цифровых моделей объектов в архитектурно-строительной отрасли // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №. 8. С. 138-143. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144
20. Гарифуллин А.Р., Майоров Н.Д., Фролов В.А. Дифференцируемые процедурные модели для реконструкции 3D-моделей по одному изображению // Графикон-конференции по компьютерной графике и зрению. 2023. Т. 33. С. 14-24.
21. Croce V. et al. H-BIM and artificial intelligence: classification of architectural heritage for semi-automatic scan-to-BIM reconstruction // Sensors. 2023. Т. 23. №. 5. С. 2497. DOI: 10.3390/s23052497
22. Bifrost for Autodesk Maya 2025. Autodesk [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/products/maya/bifrost> (дата обращения: 8.08.2024).
23. NVIDIA RTX GPU ускоряют новые алгоритмы ИИ в Adobe Substance Alchemist и Blender [Электронный ресурс]. URL: <https://render.ru/ru/news/post/18206> (дата обращения: 8.08.2024).
24. 3 essential ZBrush retopology techniques. TheFastCode [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thefastcode.com/en-try/article/3-essential-zbrush-retopology-techniques> (дата обращения: 8.08.2024).
25. Jie S., Zhixin L. I., Wenyuan Z. Recent progress in large-scale 3D city modeling // Acta Geodaetica et Cartographica Sinica. 2019. Т. 48. №. 12. С. 1523. DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190471
26. Lei, B., Stouffs, R., & Biljecki, F. (2022). Assessing and benchmarking 3D city models. // International Journal of Geographical Information Science, 37(4), 788–809. DOI: 10.1080/13658816.2022.2140808
27. Собрание фасадов, Его Императорским Величеством Высочайше апробованных для частных строений в городах Российской Империи. 1809—[1812] года. Части I—V. С.-Петербург, 1809—1812. 287 с.
28. Biljecki F., Ledoux H., Stoter J. Generating 3D city models without elevation data // Computers, Environment and Urban Systems. 2017. Т. 64. С. 1-18. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001
29. Plan de Moscou - Plan von Moskau v.2 1:10K 1812. Retromap [Электронный ресурс]. URL: https://retromap.ru/0818125_0420092_55.751776,37.611501 (дата обращения: 8.08.2024).
30. Виды Москвы в гравюрах 19 века. Дом Н.В. Гоголя - мемориальный музей и научная библиотека [Электронный ресурс]. URL: <https://gogol.museum-online.moscow/entity/ALBUM/3557470> (дата обращения: 8.08.2024).
31. PastVu - ретроспектива среды обитания человечества: [Электронный ресурс]. URL: <https://pastvu.com/> (дата обращения: 8.08.2024).
32. 3D-модель Москвы 1812-1912 гг. Портал «Архитектура и энтропия» [Электронный ресурс]. URL: <https://cih.ru/lb/index.html> (дата обращения: 10.08.2024).
33. Исчезнувшие достопримечательности Ярославля. Журнал «ЦИХ journal» [Электронный ресурс]. URL: <https://cih.ru/j3/726.html> (дата обращения: 10.08.2024).
34. Москва, которой не было, 1920—1970. Портал «Архитектура и энтропия» [Электронный ресурс]. URL: <https://cih.ru/lb/m2.html> (дата обращения: 10.08.2024).
35. Мастер, Маргарита и Москва, которой не было. Дзен.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/Zcuijvq3VBaFpRs> (дата обращения: 10.08.2024).

REFERENCES

1. Stroganova L.A., Veretennikova A.A. *Primeneniye immersivnykh tekhnologiy v dizayne i arkhitekture* [Application of immersive technologies in design and architecture] *State, problems and prospects for the development of modern socio-economic processes*. Petrozavodsk: MCNP "New Science", 2021. Pp. 63-78. (rus).
2. Chistyakov A.V. *Interaktivnoye virtual'noye prototipirovaniye v arkhitekturnom proyektirovanii* [Interactive virtual prototyping in architectural design] *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and architecture*. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 74-78. (rus). DOI: 10.14529/build170411

3. Rudenko, M.P. Sposoby virtual'noy rekonstruktsii pamyatnikov arkhitektury [Methods of virtual reconstruction of architectural monuments] *Systems analysis and information technologies in the sciences of nature and society*. 2015. No. 1-2 (8-9). Pp. 110-117. (rus). EDN XSASKP
4. Herold H., Hecht R. 3D reconstruction of urban history based on old maps. Digital Research and Education in Architectural Heritage: 5th Conference, DECH 2017, and First Workshop, UHDL 2017, Dresden, Germany, March 30-31, 2017, Revised Selected Papers 1. Springer International Publishing, 2018. Pp. 63-79. DOI: 10.1007/978-3-319-76992-9_5
5. Khapaev V.V., Batsura I.V. Komp'yuternaya 3D rekonstruktsiya antichnogo i srednevekovogo goroda Khersones Tavricheskiy: opyt, problemy i perspektivy [Computer 3D reconstruction of the ancient and medieval city of Tauric Chersonesos: experience, problems and prospects] *Historical informatics*. 2018. No. 4. Pp. 39-56. (rus). DOI: 10.7256/2585-7797.2018.4.28489
6. Borodkin L.I. et al. Virtual'naya rekonstruktsiya Moskovskogo Strastnogo monastyrya (XVII-XX vv.): kompleksnoye ispol'zovaniye tekhnologiy 3D-modelirovaniya [Virtual reconstruction of the Moscow Passion Monastery (XVII-XX centuries): complex use of 3D modeling technologies] *Information bulletin of the History and Computer association*. 2015. No. 44. Pp. 8-12. (rus). EDN YMJPPU.
7. Malandina T.V. Virtual'naya 3D-rekonstruktsiya inter'yerov podmoskovnykh usadeb XVIII – nachala XX vekov: paradnyye inter'yery usadebnogo kompleksa Nikol'skoye-Uryupino [Virtual 3D reconstruction of the interiors of Moscow region estates of the 18th – early 20th centuries: ceremonial interiors of the Nikolskoye-Uryupino estate complex]. *Historical informatics*. 2021. No. 2. Pp. 134-170. (rus). DOI: 10.7256/2585-7797.2021.2.36029
8. Notre Dame Cathedral's restoration is imagined through digital scans by architectural historian Andrew Tallon [Online]. URL: <https://archinect.com/news/article/150132307/notre-dame-cathedral-s-restoration-is-imagined-through-digital-scans-by-architectural-historian-andrew-tallon> (date of application: 8.08.2024).
9. Ledoux H, Biljecki F, Dukai B, Kumar K, Peters RY, Stoter JE et al. 3dfier: automatic reconstruction of 3D city models. *Journal of Open Source Software*. 2021. No. 6 (57) Article 2866. DOI: 10.21105/joss.02866
10. Pompeii - a 3DRevival. Lund University [Online]. URL: <https://portal.research.lu.se/en/projects/pompeii-a-3d-revival> (date of application: 8.08.2024).
11. The real history behind the most impressive landmarks in Assassin's Creed Origins [Online]. URL: <https://www.pcgamer.com/the-real-history-behind-the-most-impressive-landmarks-in-assassins-creed-origins/> (date of application: 8.08.2024).
12. L. Ragia, F. Sarri and K. Mania. 3D reconstruction and visualization of alternatives for restoration of historic buildings: A new approach. 1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM), Barcelona, Spain, 2015, pp. 1-9.
13. V Belokamennom podklete Starogo Angliyskogo dvora otkroyetsya vystavka «Zaryad'ye. Arkhivy vozmozhnogo» [The exhibition "Zaryadye. Archives of the Possible" will open in the White Stone Basement of the Old English Court]. Moscow Mayor's Website (rus). [Online]. URL: <https://www.mos.ru/news/item/129328073/> (date of application: 8.08.2024).
14. Yargradforum i 3D Yaroslavl' [Yargradforum and 3D Yaroslavl] Vimania News (rus). [Online]. URL: <https://vimania.ru/w/blog/2022/08/25/> (date of application: 10.08.2024).
15. 3D Moskva, uteryannaya ili nevoploshchonnaya [3D Moscow, lost or unrealized]. Dzen.ru (rus). [Online]. URL: <https://dzen.ru/a/ZkIKvL5L0A2WZtpR> (date of application: 10.08.2024).
16. Korenev V.I. Ispol'zovaniye tsifrovyykh tekhnologiy i 3D-modelirovaniya v gradostroitel'noy deyatel'nosti (na primere goroda Tomsk) [Use of digital technologies and 3D modeling in urban planning activities (on the example of the city of Tomsk)]. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2020. Vol. 22. No. 6. Pp. 70-82 (rus). DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82
17. Buyukdemircioglu M., Kocaman S. Reconstruction and efficient visualization of heterogeneous 3D city models. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. No. 13. Article 2128. DOI: 10.3390/rs12132128
18. Yilmaz H. M. et al. Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*. 2007. Vol. 8. No. 4. Pp. 428-433. DOI: 10.1016/j.culher.2007.07.004
19. Shestopalova O.L., Shestopalov R.P. Ob integratsii BIM-tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdaniy s metodami fotogrammetrii pri postroyenii tsifrovyykh modeley ob'yektov v arkhitekturno-stroitel'noy otrasli [On the integration of BIM technology for building information modeling with photogrammetry methods in the construction of digital models of objects in the architectural and construction industry]. *Bulletin of Tula State University. Technical sciences*. 2022. No. 8. Pp. 138-143 (rus). DOI: 10.24412/2071-6168-2022-8-138-144
20. Garifullin A.R., Mayorov N.D., Frolov V.A. Differentsiruyemyye protsedurnyye modeli dlya rekonstruktsii 3D-modeley po odnomu izobrazheniyu [Differentiable procedural models for reconstruction of 3D models from a single image]. *Graphicon conferences on computer graphics and vision*. 2023. Vol. 33. Pp. 14-24 (rus).
21. Croce V. et al. H-BIM and artificial intelligence: classification of architectural heritage for semi-automatic scan-to-BIM reconstruction. *Sensors*. 2023. Vol. 23. No. 5. Article 2497. DOI: 10.3390/s23052497

22. Bifrost for Autodesk Maya 2025. Autodesk [Online]. URL: <https://www.autodesk.com/products/maya/bifrost> (date of application: 8.08.2024).
23. NVIDIA RTX GPU uskoryayut novyye algoritmy II v Adobe Substance Alchemist i Blender [NVIDIA RTX GPUs Accelerate New AI Algorithms in Adobe Substance Alchemist and Blender] (rus). [Online]. URL: <https://render.ru/ru/news/post/18206> (date of application: 8.08.2024).
24. 3 essential ZBrush retopology techniques. TheFastCode [Online]. URL: <https://www.thefastcode.com/entry/article/3-essential-zbrush-retopology-techniques> (date of application: 8.08.2024).
25. Jie S., Zhixin L. I., Wenyuan Z. Recent progress in large-scale 3D city modeling. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 2019. Vol. 48. No. 12. Article 1523. DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190471
26. Lei, B., Stouffs, R., & Biljecki, F. Assessing and benchmarking 3D city models. *International Journal of Geographical Information Science*, 2022. 37(4), 788–809. DOI: 10.1080/13658816.2022.2140808
27. Sobraniye fasadov, Yego Imperatorskim Velichestvom Vysochayshe aprobovannykh dlya chastnykh stroyeniy v gorodakh Rossiyskoy Imperii [Collection of facades, approved by His Imperial Majesty for private buildings in the cities of the Russian Empire]. 1809-[1812]. Parts I-V. St. Petersburg, 1809-1812. 287 p.
28. Biljecki F., Ledoux H., Stoter J. Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2017. Vol. 64. Pp. 1-18. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.001
29. Moscow Plan - Plan von Moskau v.2 1:10K 1812. Retromap [Online]. URL: https://retromap.ru/0818125_0420092_55.751776,37.611501 (date of application: 8.08.2024).
30. Vidy Moskvyy v gravyrakh 19 veka. Dom N.V. Gogolya - memorial'nyy muzey i nauchnaya biblioteka [Views of Moscow in 19th century engravings. N.V. Gogol's House - memorial museum and scientific library] (rus). [Online]. URL: <https://gogol.museum-online.moscow/entity/ALBUM/3557470> (date of application: 8.08.2024).
31. PastVu - retrospektiva sredy obitaniya chelovechestva [PastVu - A Retrospective of Human Habitat] (rus). [Online]. URL: <https://pastvu.com/> (date of application: 8.08.2024).
32. 3D-model' Moskvyy 1812-1912 gg. [3D model of Moscow 1812-1912]. Portal "Architecture and Entropy" (rus). [Online]. URL: <https://cih.ru/lb/index.html> (date of application: 10.08.2024).
33. Ischeznuvshiy dostoimechatel'nosti Yaroslavlya [Disappeared landmarks of Yaroslavl]. "CIH journal" (rus). [Online]. URL: <https://cih.ru/j3/726.html> (date of application: 10.08.2024).
34. Moskva, kotoroy ne bylo, 1920—1970. [Moscow That Never Was, 1920-1970] Portal "Architecture and Entropy" (rus). [Online]. URL: <https://cih.ru/lb/m2.html> (date of application: 10.08.2024).
35. Master, Margarita i Moskva, kotoroy ne bylo [The Master, Margarita and the Moscow That Never Was]. Dzen.ru (rus). [Online]. URL: <https://dzen.ru/a/Zcuijvq3VBaFpRs> (date of application: 10.08.2024).

Информация об авторе

Расторгуев Семён Васильевич

Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия,
Старший преподаватель кафедры «Архитектура», основатель и главный редактор ведущего российского интернет-портала о концептуальной и футуристической архитектуре.

Information about author

Rastorguev Semyon V.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,
Senior Lecturer, Department of Architecture, founder and editor-in-chief of the leading Russian Internet portal on conceptual and futuristic architecture.