

# ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА: ОТ ИДЕИ ДО РЕАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДОМ

**А.А. Копытов** (ГБУ «Мосгоргеотрест»)

В 2011 г. окончил Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского. С 2016 г. работает в ГБУ «Мосгоргеотрест», в настоящее время — заместитель начальника отдела.

**Е.В. Петрова** (ГБУ «Мосгоргеотрест»)

В 2014 г. окончила Московский государственный университет геодезии и картографии. С 2021 г. работает в ГБУ «Мосгоргеотрест», в настоящее время — инженер II категории.

**С.В. Птушкин** (ГБУ «Мосгоргеотрест»)

В 2007 г. окончил Государственный университет по землеустройству. С 2007 г. работает в ГБУ «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник сектора.

Первые шаги в трехмерный мир ГБУ «Мосгоргеотрест» совершило еще в 2005 г. — была создана трехмерная модель, которая являлась экспериментальной работой в рамках реализации Распоряжения Правительства Москвы от 06.04.2005 г. № 547-РП «О проведении эксперимента по созданию трехмерной цифровой модели территории города Москвы». Работы велись в два этапа, в ходе которых была разработана модель на территорию Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити» на основе ЕГКО Москвы и материалов Общегородского банка данных дистанционного зондирования территории города Москвы. Впоследствии этот проект расширился за счет создания трехмерной модели основной трассы пешеходного туристического маршрута «Нескучный сад — ММДЦ «Москва-Сити». Его основной целью являлось совершенствование архитектурно-строительного проектирования этой территории.

Однако на тот период времени техническое и, главное, технологическое обеспечение пользователей не позволяли активно внедрять в эксплуатируемые информационные системы результаты трехмерного моделирования на большие по площади территории. В основном в работе проектных организаций использовались локальные модели в качестве исходной трехмерной основы при проектировании городских объектов.

Немалую роль в прогрессе «трехмерного мира» сыграли стремительно развивающиеся технологии сбора исходных данных. Начиная с 2009 г., результаты таких изменений ежегодно находили воплощение в мероприятиях государственных программ города Москвы в части создания и развития единого геоинформационного пространства, заказчиком которых выступал Комитет по архитектуре и градостроительству города Москвы.

Чем привлекает к себе трехмерное пространство и в чем его эффективность?

Прежде всего, это иной взгляд на текущие и перспективные задачи по развитию единого геоинформационного пространства города Москвы, которые подтягивают за собой другие отраслевые направления. Их достаточно много — строительство и реконструкция, транспортная инфраструктура, экология, благоустройство и озеленение, оперативное и перспективное планирование, осуществление контрольных функций, правопорядок, мероприятия по упреждению чрезвычайных ситуаций, реализация государственных услуг, вопросы управления и экономического развития, туризм.

Совсем другие перспективы открываются при одновременном использовании пространственных данных подземного, наземного и надземного пространства. Комплексное представление подземных инженерных коммуникаций и сооружений, данных о геологическом строении объектов дневной поверхности позволяют по-но-



**Рис. 1**  
Пример встраивания проектируемого района в существующую застройку на основе фотограмметрической модели

вому использовать трехмерную информацию (рис. 1).

Целью является формирование нового облика единого городского геоинформационного пространства, обеспечение перехода от отдельных территориальных моделей до единой детализированной модели всего города.

Цифровой двойник города — это не только представление всех трехмерных данных в едином пространстве, но также инструмент для оперативного поиска и выявления проблем с возможностью низкоуровневого анализа пространственных данных, что достаточно для принятия решений. Для корректной работы этого сложного «организма» необходимы штат профессионалов для подготовки и оптимизации исходных данных, аппаратная часть в виде платформы для оперативной загрузки всех данных, правильно структурированное и продуманное картографическое обеспечение трехмерного пространства.

Картографическое обеспечение запросов к базам данных и другие требования, связанные с

разработкой тематических сценариев показа, — это необходимый функционал при интерактивной работе. Особенности отображения модели и ее отдельных частей на разных уровнях визуализации, включающих ближний, средний и дальний планы, также нуждаются в оптимизированных решениях. К основным техническим условиям этого направления, требующим неотложного решения, относятся:

- исключение искажений строений и их отдельных частей;

- повышение качества текстурирования моделей;

- геометрическая реалистичность при визуализации объектов с учетом выступающих архитектурных деталей;

- полное соответствие по колористическому решению объектов местности, включая сохранение оттенков цвета и отражающего эффекта при использовании сценариев, связанных со сменой времени суток, времени года и погодных условий;

- представление всей городской территории в едином

проекте с учетом оптимизации объема каждой модели;

- возможность использования трехмерных моделей одной и той же территории с различными вариантами рельефа и без него с целью обеспечения нескольких сценариев;

- обеспечение разработки различных сценариев показа и реалистичных анимаций.

Перечисленные условия в большей степени относятся к видимой трехмерной модели, т. е. к ее наземной и надземной частям. Но именно она является основой для формирования многомерного геоинформационного пространства. На ее основе объединяются данные, относящиеся к подземному пространству, проектные решения, данные отраслевых информационных систем, прочая информация, загружаемая в режиме реального времени при соответствующей технической реализации. Такая особенность порождает приоритетный интерес именно к видимой части трехмерной модели (рис. 2).

Структура модели и архитектура программного комплекса

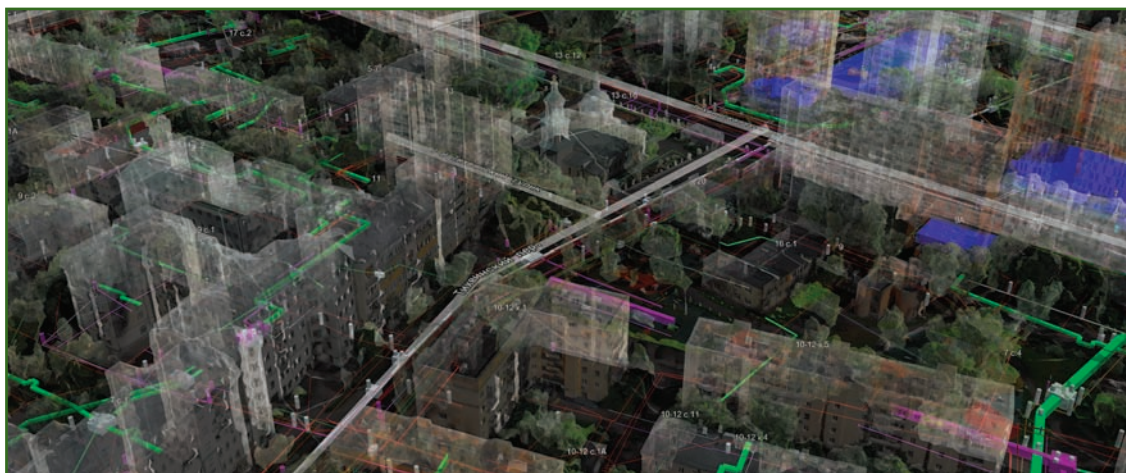


Рис. 2

Пример отображения подземных моделей путем добавления прозрачности к фотограмметрической модели

позволяют обеспечивать необходимые в работе технические решения. Одними из наиболее востребованных можно назвать следующие:

- поиск информации по атрибутам, пространственный поиск или сочетание нескольких вариантов поиска с возможностью подключения сторонних поисковых систем;

- поддержка стандарта 3D Tiles для обеспечения потоковой передачи наборов массивов данных (в виде растра, вектора и mesh) и рендеринга (отрисовки);

- поддержка формата KML для обеспечения геопространственной привязки;

- поддержка форматов glTF, KMZ и SKP для передачи трехмерных моделей с геопривязкой на различные устройства;

- поддержка стандарта CityGML для описания объектов моделирования с различными уровнями детализации, что позволяет при визуализации последовательно менять детальность отображения объектов на экране (мониторе) при приближении и удалении;

- возможность использования тематических модулей (например, для тоннелей и мостов), а также виртуальных трехмерных моделей для анализа и отображения задач по различным направлениям (например, в

пешеходной навигации, тематическом моделировании, анализе данных и др.);

- поддержка стандартов WFS и MVT для запросов и редактирования векторных пространственных данных посредством web-технологий;

- поддержка стандартов WMS и TMS для запросов и редактирования растровых пространственных данных посредством web-технологий;

- совместимость данных для использования в различных проектах за счет соответствия общепринятым стандартам Open Geospatial Consortium, W3W Consortium.

Основная составляющая цифрового двойника — это исходные данные для создания и ведения трехмерной модели города Москвы. От их подготовки и актуальности зависит весь жизненный цикл модели.

В качестве исходных данных используются информационные ресурсы ЕГКО Москвы, создаваемые и актуализируемые в процессе производственной деятельности ГБУ «Мосгоргеотрест»:

- актуальные версии Цифрового картографического фона масштаба 1:10000;

- актуальные версии цифровых топографических планов масштаба 1:2000;

- цифровая модель детализированных крыш;

- трехмерная цифровая модель тоннелей и подмостовых пространств;

- информационные ресурсы Общегородского банка данных дистанционного зондирования территории города Москвы;

- материалы мобильного лазерного сканирования;

- материалы наземного лазерного сканирования.

На стадии работ 2018 г. использовали:

- трехмерная цифровая модель типовых фасадов зданий и сооружений;

- трехмерная цифровая модель городских доминант;

- трехмерная цифровая модель зданий с нетиповыми фасадами.

С 2020 г. в формировании трехмерного пространства активно применяются фотограмметрические данные в качестве отдельного слоя. В настоящее время отработаны технологии для быстрой визуализации фотограмметрических данных высокого пространственного разрешения и детализации (рис. 3). В цифровом пространстве используются результаты аэрофотосъемки с пилотируемых и беспилотных авиационных систем. Для обеспечения «многослойности» фотограм-



метрических данных с момента первых полетов было внедрено немало улучшений:

- разработаны технические требования к построению фотограмметрических моделей, что позволило привести данные к единой структуре;

- использована технология WebGL для отображения больших объемов данных;

- использован модуль Draco для ускорения загрузки и отображения фотограмметрических данных;

- реализована обработка данных нейросетями.

Что касается будущего фотограмметрических и геоинформационных данных в трехмерном пространстве на службе города — это визуализация данных на базе Unreal. Unreal имеет безусловные преимущества, к которым относятся:

- открытый исходный код;

- обширная коллекция ассетов (компонентов), которые можно использовать в проекте;

- высокая производительность, отрисовка в режиме реального времени колоссального количества полигонов;

- технология Nanite (интеллектуальная оптимизация модели);

- подготовка модели осуществляется один раз в максимальном качестве;

- отказ от карты нормалей;

- реалистичное освещение текстуры;

- возможность повышения уровня представления фотограмметрической модели за счет постобработки Unreal.

Для цифрового трехмерного пространства 2023 год был годом усовершенствования представления архитектурно-градостроительных решений (АГР), которое включало в себя возможности отображения моделей АГР с максимальной детализацией в режиме реального времени, визуализацию объектов капитального строительства совместно с благоустройством, разные виды представления (ночной, при разных погодных условиях). План развития цифрового двойника, включающего архитектурно-градостроительные решения, заключается в предварительной экспертизе АГР на основе текущего банка согласованных АГР за счет интеграции в процесс нейросетей и машинного обучения.

Все это является основными направлениями работ и идеологии по формированию единого

городского трехмерного пространства. В настоящее время усилия ГБУ «Мосгоргеотрест» приоритетно направлены на моделирование территории Москвы в границах 2011 г. с использованием динамического текстурирования. Это достаточно большая по площади территория (1073 км<sup>2</sup>), причем активно развивающаяся, перестраивающаяся, реконструирующаяся. Чтобы ее освоить, необходимо приложить немало усилий. Но, несмотря на это, начинаются работы и на территории Новой Москвы.

В проектах также предусмотрены уникальные технические решения, над которыми с 2019 г. активно работает ГБУ «Мосгоргеотрест». Развитие параметрического моделирования объектов и окружающей среды — очень интересная задача, которую можно решить с помощью внедрения в процессы моделирования методов машинного обучения, освоения новых технологий сбора и подготовки исходных данных.

По нашему мнению, информация о городе не только должна быть представлена с точки зрения пешеходов или с высоты птичьего полета, но и дополнена материалами поэтажного отображения строений, существующих планировок, что позволит подготовить пространство для глобального информационного моделирования.

Таким образом, цифровой двойник — это совершенно иное восприятие городской среды, иные условия реализации задач по жизнеобеспечению города, новый уровень ведомственного и межведомственного взаимодействия, новые экономические возможности, основа для перехода к цифровой экономике, иной взгляд на среду проживания, именуемую городом Москвой, в которой предстоит жить и работать сегодняшнему и будущим поколениям.



**Рис. 3**

Пример модели архитектурно-градостроительного решения в существующей застройке