

ТЕХНОЛОГИИ ИИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

С.А. КУДИНОВ^{1,✉}

М.Б. ЗАЙЧУК²

¹ Университет ИТМО, Биржевая линия, д. 14, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

² ООО «Рокет Групп», Каменноостровский проспект, д. 26–28, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Рынок жилищного строительства России, несмотря на нестабильную экономическую ситуацию, показывает рекордный рост. На этом фоне особую актуальность приобретает не только скорость разработки проектов развития территорий, но и точность, обоснованность принимаемых решений. Активное развитие и внедрение в строительную сферу технологий искусственного интеллекта открывает возможности для эффективного реагирования на сложившиеся вызовы через автоматизацию создания оптимальных цифровых моделей развития территорий, которые учитывают множество факторов, нормативных и экономических параметров.

Материалы и методы. Статья посвящена разработанному многоступенчатому методу генерации цифровых моделей территорий для жилищного девелопмента, включающему цепочку алгоритмов с применением ИИ, в том числе алгоритмы генерации линейных и площадных объектов, а также алгоритм генерации оптимального функционального зонирования территории. Это позволяет решать задачи по созданию улично-дорожной сети, определению функционального назначения образованных кварталов, а также размещения в них объектов капитального строительства и сопутствующей инфраструктуры.

Результаты. Экспериментальные исследования в части применения разработанного метода генерации продемонстрировали сокращение трудоемкости выполнения концептуального проектирования в 200 раз в сравнении с классическим подходом, что обеспечивает сверхоперативное и точное создание концепций, многократно ускоряет работу специалистов при разработке комплексных проектов. Метод прошел успешную апробацию и имплементирован в цифровую ИИ-платформу территориального информационного моделирования rTİM.

Обсуждение. Дальнейшие исследования в области оптимизации алгоритмов имеют потенциал расширения сферы применения технологии ИИ, что позволит решать задачи развития не только в проектах многоквартирной жилой застройки, но и в других сферах строительной отрасли.

Ключевые слова: искусственный интеллект, генеративный дизайн, геоинформационные системы, системы автоматизированного проектирования, САПР, информационное моделирование зданий, территориальное информационное моделирование, цифровая модель, градостроительная концепция

Для цитирования: Кудинов С.А., Зайчук М.Б. Технологии ИИ для генерации цифровых моделей развития территорий. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;44(1):159–169. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-1\(44\)-159-169](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-1(44)-159-169)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.12.2024

Поступила после рецензирования 03.02.2025

Принята к публикации 06.02.2025

AI TECHNOLOGIES FOR GENERATING DIGITAL MODELS OF TERRITORIAL DEVELOPMENT

S.A. KUDINOV¹✉

M.B. ZAICHUK²

¹ ITMO University, Birzhevaya Line, 14, St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² Rocket Group LLC, Kamennostrovsky pr., 26-28, St. Petersburg, 197101, Russian Federation

Abstract

Introduction. Despite the unstable economic situation, the Russian housing construction market is showing record growth. Therefore, the accuracy and validity of the taken decisions become as relevant as the rate of territorial project development. Active development and implementation of artificial intelligence technologies in construction open up opportunities for an effective response to current challenges by automating digital models for the development of territories, taking into account many factors, as well as regulatory and economic parameters.

Materials and methods. The article examines the developed multi-stage method for generating digital models of territories for housing development. The method uses a chain of AI algorithms, including for generating linear and area objects, as well as optimal functional zoning of the territory. This solves problems related to the design of street and road networks and determination of the functional purpose for the formed quarters including capital construction facilities and related infrastructure.

Results. Experimental studies on the application of the developed generation method have demonstrated a 200-fold reduction in the labor intensity of conceptual design compared to the classical approach. This ensures the ultra-fast and accurate development of concepts and greatly accelerates the work on complex projects. The method has been successfully tested and implemented in the rTIM digital AI platform for territorial information modeling.

Conclusions. Further research in the field of algorithm optimization has the potential to expand the scope of application for AI technologies to solve development problems in both multi-apartment residential projects and other areas of the construction industry.

Keywords: artificial intelligence, generative design, geographic information systems, computer-aided design systems, CAD, building information modeling, territorial information modeling, digital model, urban planning concept

For citation: Kudinov S.A., Zaichuk M.B. AI technologies for generating digital models of territorial development. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;44(1):159–169. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-1\(44\)-159-169](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-1(44)-159-169)

Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.12.2024

Revised 03.02.2025

Accepted 06.02.2025

Введение

Объем жилищного строительства в России за последние несколько лет стал рекордным за всю историю страны. Рост рынка подтверждается увеличением вывода застройщиками новых проектов на фоне высокого покупательского спроса [1]. Одной из важных целей развития строительной отрасли в России является увеличение объема жилья до ежегодного показателя 120 млн м² к 2030 году [2]. В условиях нестабильной экономической ситуации и неустойчивого спроса задача принятия точных, эффективных и оперативных решений о развитии урбанизированных территорий обретает особую актуальность. Оперативная разработка гибких, адаптивных мастер-планов, концепций и проектов развития территорий, отвечающих потребностям рынка и современным стандартам качества среды, невозможна без применения цифровых решений и интеллектуальных технологий.

Так же как в конце XX века, системы автоматизированного проектирования (САПР) перевели разработку чертежей с бумаги в электронный вид, появилось трехмерное моделирование и базовые инструменты автоматизации, уже в начале XXI века технологии информационного моделирования зданий (BIM) позволили вывести проектирование на новый уровень, представив его как стадию жизненного цикла объекта, на которой его материальное создание предвеляет разработка цифрового двойника, описывающего физические и функциональные характеристики, систематизированные параметры и атрибуты [3]. Следующая ступень эволюции в этой области – становление технологий информационного моделирования городов. Масштабные информационные модели территорий (ТИМ) представляют собой не просто объединение множества BIM-моделей. Они должны описывать в комплексе и объекты с инфраструктурной точки зрения, механизмы управления и активности людей – пользователей территорий, таким образом упрощая анализ и мониторинг урбанизированной среды и обеспечивая мультидисциплинарную поддержку принятия решений при развитии территорий [4].

Технологии генеративного дизайна не просто создают возможности для разработки таких моделей, но и открывают путь для сверхоперативного решения задач управления и принятия решений о развитии территорий путем построения цифровых моделей урбанизированных территорий с точностью, не уступающей проектам, разработанным профильными специалистами при помощи классических инструментов.

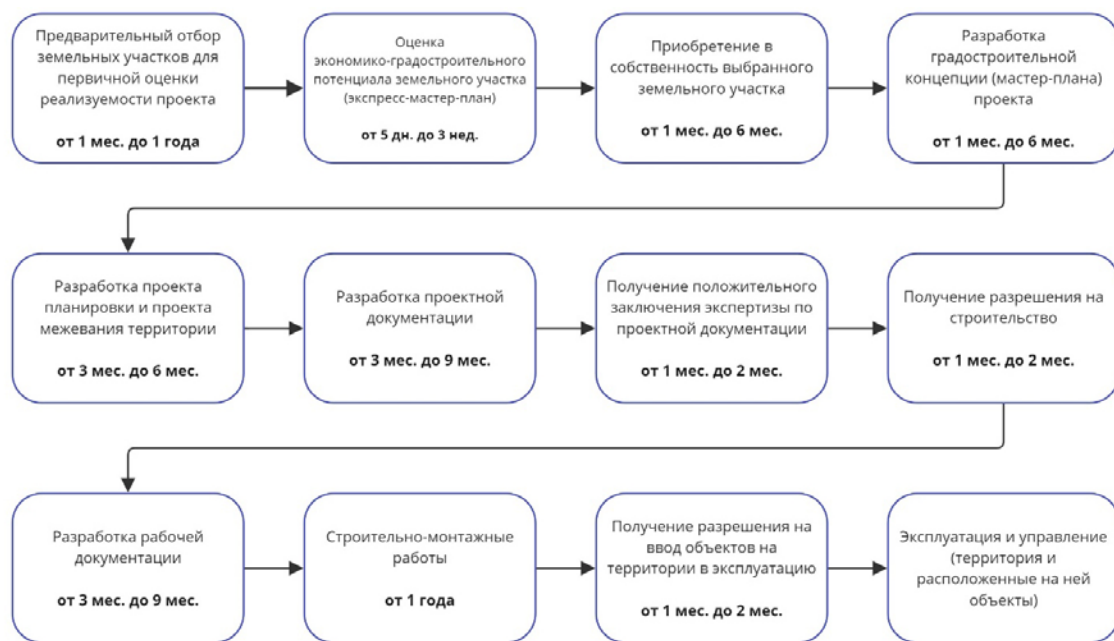


Рис. 1. Схема этапов процесса девелопмента территорий
 Fig. 1. Scheme of territorial development stages

Обзор подходов к планированию развития территорий

Девелопмент представляет собой длительный процесс вовлечения земель населенных пунктов в хозяйственный оборот и состоит из множества этапов, среди которых поиск оптимального земельного участка, разработка градостроительной концепции, проекта планировки и межевания, а также реализация и последующая эксплуатация территории. Данный процесс (рис. 1) регулируется законодательством посредством нормативных правовых документов [5].

Классический подход к подготовке проекта

Традиционный подход в разработке концепций развития территорий предполагает наличие в проектной команде сотрудников с разной специализацией: архитекторы, специалисты генплана, инженеры наружных сетей, транспортные специалисты и др.

Работа над проектом начинается со сбора исходных данных о земельном участке и окружении, планировочных ограничениях, предельных параметрах застройки. Как правило, на этапе оценки экономико-градостроительного потенциала территории командой проекта разрабатывается не более трех сценариев, отличающихся по планировочной структуре, а также технико-экономическим показателям (ТЭП). Один из сценариев становится основой для более детальной проработки проекта на этапе градостроительной концепции (мастер-плана), а также для проекта планировки территории.

Применение цифровых инструментов

Применение САПР и иных цифровых инструментов существенно ускоряет разработку проектов на всех стадиях: от сбора данных и их обработки до непосредственно проектирования, аналитики и визуализации результатов.

Применение технологий информационного моделирования позволяет создавать цифровые модели и двойники территории еще на этапе планирования. Они опираются на спецификацию сущностей, описывающих свойства объектов урбанизированной территории, допустимые и недопустимые операции с ними [6]. Цифровые модели концепций развития территорий – комплексные сущности, описывающие планировочные решения и параметрические характеристики градостроительного каркаса и объектов капитального строительства на территории.

Несмотря на существенную экономию трудовых ресурсов за счет внедрения таких инструментов автоматизации, разработка проектов по-прежнему ведется в соответствии с классическим подходом, то есть силами команды разноплановых специалистов с выполнением рутинных задач ручного цифрового черчения или объемного моделирования. Главный недостаток этого подхода заключается в невозможности просчета большого количества сценариев для сравнительного выбора наилучшего.

Внедрение интеллектуальных технологий

Стремительное развитие в 2020-х годах технологий искусственного интеллекта (ИИ) открыло возможности для нового уровня автоматизации проектирования. Технологии ИИ применяются при анализе больших данных, моделировании процессов и непосредственном автоматическом создании проектов (генеративном дизайне) [7]. С одной стороны, ИИ способен на порядок ускорять и упрощать работу с данными и создание проектных решений, с другой стороны, в сфере строительства и проектирования важное условие применимости ИИ – достоверная точность и строгое соответствие результата нормативным требованиям, а это могут обеспечить не все технологии. К примеру, отличительная особенность больших языковых моделей или графических нейросетей – создание правдоподобного, но не гарантированно достоверного результата. Новые интеллектуальные технологии в проектировании должны рассматриваться как основа для эффективных инструментов в руках квалифицированного специалиста, обеспечивающего экспертную верификацию решений, но не как автономные роботы-проектировщики.

Метод и алгоритмы генеративного дизайна цифровых моделей

Разработанный многоступенчатый метод генерации цифровой модели территории (рис. 2) включает в себя блоки импорта данных, несколько последовательно и параллельно выполняющихся алгоритмов генерации различных элементов цифровой модели, а также блоки экспорта и передачи результатов генерации для визуализации.

Алгоритмы генерации для комплексных проектов охватывают задачи создания улично-дорожной сети, определения оптимального функционального зонирования образованных кварталов, размещения в них объектов капитального строительства, а также генерации сопутствующей инфраструктуры. Применяемые алгоритмы обеспечивают точность результата и строгое соответствие заданным граничным параметрам.

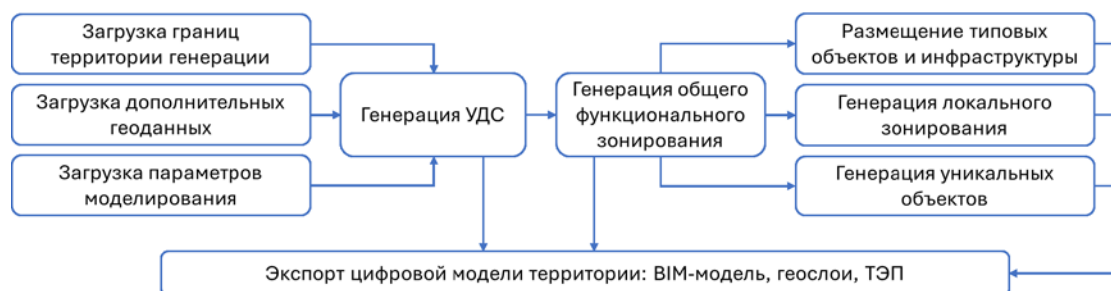


Рис. 2. Схема метода генерации цифровой модели территории
Fig. 2. Scheme of the method for generating the digital model of the territory

Сбор и обработка исходных данных

Исходными данными для выполнения генерации являются границы территории, дополнительные пространственные данные (например, каркас улично-дорожной сети (УДС), зоны с особыми условиями, объекты окружения) и набор управляющих параметров и настроек (нормативные и другие целевые значения).

Пространственные исходные данные могут быть получены из документов территориального планирования или из открытых источников, в том числе с использованием автоматизированных инструментов. Значения для параметрических наборов данных собираются из нормативов градостроительного проектирования, иных нормативных и корпоративных стандартов.

Генерация линейных объектов и сетей

Генерация цифровой модели территории начинается с выполнения алгоритма трассировки улично-дорожной сети. Один из предлагаемых в методе алгоритмов основан на *L*-системах (система Линденмайера) [8]. В ходе генерации алгоритм разбивает территорию на квартал и задает свойства сегментам УДС, например категорию улицы, количество полос дороги.

В *L*-системе для старта процесса «роста» ветвей-сегментов УДС требуется задание стартовых точек присоединения на границе территории генерации. Общий паттерн УДС задается глобальной целью: стремление к центру участка и следование в сторону других точек подключения для связи их максимально прямым путем. Применяются также определенные правила ветвления и локальные ограничения к сегментам. После завершения работы алгоритма генерации применяется постгенеративная оптимизация для исключения кварталов некорректной геометрии.

Генерация трассировки иных линейных объектов выполняется при помощи алгоритма A^* , для работы которого применяется навигационный граф с динамической или регулярной сеткой. После работы алгоритма A^* выполняется постобработка генерируемых путей для обеспечения геометрически корректной трассировки.

Генерация оптимального функционального зонирования

Границы кварталов передаются на вход алгоритму генерации оптимального функционального зонирования. Задача этого алгоритма – определить такие функции или виды разрешенного использования (ВРИ) для каждого квартала, чтобы застройка всего проекта не нарушала нормативных требований, в том числе показателей доступности и обеспеченности социальной инфраструктуры. Кварталам присваиваются теги, которые могут служить

инструкциями для алгоритма выбора функционального назначения, например определенное расположение, геометрия и т. п.

Выбор функционального назначения кварталов может производиться несколькими алгоритмами ИИ. Например, генетическим алгоритмом, который на старте начинает пробовать присваивать кварталам разные виды назначения и считать общую «стоимость» результата [9]. Целью алгоритма (поиска оптимума) является минимизация функции; жилые и коммерческие кварталы снижают ее значение, а социальная инфраструктура повышает. Конкретные коэффициенты влияния различных объектов выбираются в ходе калибровки градостроительной модели.

Альтернативой является алгоритм машинного обучения, способный на основе анализа существующих проектов генерировать схожие планировки. В качестве обучающей выборки используются размеченные цифровые модели эталонных проектов, включающие все объекты инфраструктуры на территории проекта и его окружения. Для каждого объекта рассчитываются расстояния-признаки. На основе анализа данных выделяется набор зон, содержащих такие типы объектов, которые в рассматриваемых проектах чаще всего встречались вместе и в схожих местах. При генерации зонирования на новой территории накладывается сетка, для каждой точки которой один из алгоритмов – деревья принятия решений, опорные векторы, логистическая регрессия или KNN – определяет, какую зону по набору расстояний до точки нужно назначить в заданной точке.

Позиционирование и параметрическая генерация площадных объектов

В зависимости от целевой градостроительной модели в некоторых видах кварталов могут размещаться предварительно смоделированные типовые здания, а также может выполняться генерация уникальной геометрии жилых комплексов или коммерческих зданий. В случае применения модели периметральной застройки алгоритм образует сплошной фронт застройки по периметру квартала, а также генерирует прямые, Г-образные или П-образные комплексы в границах квартала произвольной формы, ориентированные вдоль одной или нескольких улиц, окружающих квартал.

После генерации геометрии зданий им проставляются унифицированные теги, описывающие ТЭП конкретных объектов, например площадь, электропотребление, количество жителей и т. п.

Объекты притяжения на сгенерированной территории могут связываться пешеходными путями, оптимизация трассировки которых может выполняться специальными алгоритмами, такими как AntRoadPlanner, для предотвращения появления стихийных троп [10].

Экспорт и визуализация цифровой модели

После завершения работы основных алгоритмов генерации могут выполняться дополнительные расчетно-аналитические алгоритмы на данных полученной цифровой модели. Например, может быть рассчитана инсоляция для всех жилых зданий, сгенерирована квартирография, сформирован план-график и экономическая модель реализации проекта.

Пространственные результаты генерации (УДС, зонирование, объекты капитального строительства) могут быть экспортированы в виде геослоев (например, в формате GeoJSON в координатной системе WGS-84) для работы в сторонних геоинформационных системах или инженерном программном обеспечении. Объекты капитального строительства могут

быть экспортированы в BIM-модель в виде файлов в формате *.IFC (международный стандарт для импорта и экспорта объектов зданий и их параметров). ТЭП результата генерации могут быть выгружены в табличном виде для дальнейшей работы в форматах *.DOCX или *.XLSX.

На основе результатов генерации может осуществляться интерактивная объемная визуализация цифровых моделей концепций развития территории при помощи специализированного программного обеспечения.

Экспериментальные исследования

Описанный метод генеративного дизайна цифровых моделей градостроительных концепций успешно апробирован и имплементирован в цифровую ИИ-платформу территориального информационного моделирования гГИМ. Платформа позволяет производить сверхоперативную оценку экономико-градостроительного потенциала территорий разного масштаба, а также разрабатывать полноценные градостроительные концепции.

Для экспериментальных исследований были выбраны два проекта комплексного развития территорий (КРТ), для которых концепции были выполнены архитекторами классическим методом и методом, разработанным с применением ИИ. Разработанный метод и алгоритмы запускались в платформе гГИМ с базовой градостроительной моделью, описывающей стандарт КРТ Минстроя России [11].

Сравнение показателей эффективности методов для проекта в г. Биробиджане (площадь участка 42,8 га) приведено в табл. 1.

Сравнение показателей эффективности методов для проекта в с. Новосергиевка (площадь участка 56,4 га) приведено в табл. 2.

Примеры визуализации сгенерированных в платформе гГИМ цифровых моделей представлены на рис. 3.

Таким образом, метод генерации на основе алгоритмов ИИ продемонстрировал сокращение трудоемкости выполнения концептуального проектирования (в пересчете на 1 рассчитанный сценарий) в 200 раз относительно классического подхода, достигая при этом более высоких технико-экономических показателей за счет эффективности алгоритмов и большой вариативности результатов.

Заключение

Разработанный метод генерации цифровых моделей территорий с применением алгоритмов искусственного интеллекта позволяет многократно повысить эффективность процесса разработки градостроительных концепций. Он обеспечивает оптимизацию трудовых ресурсов, избавляя специалистов от рутинных процессов и сокращая сроки проектирования, а ответственным лицам позволяет принимать более взвешенные и обоснованные решения о развитии территорий на основе различных сгенерированных сценариев.

Дальнейшие исследования в области оптимизации алгоритмов имеют потенциал создания более детализированных цифровых моделей проектов, а также расширения сферы применения технологии, что, в свою очередь, позволит решать задачи развития не только в проектах многоквартирной жилой застройки, но и в области малоэтажного строительства, промышленно-логистических комплексов и других сферах строительной отрасли.

Таблица 1

Сравнение методов для территории в г. Биробиджане

Table 1

Comparison of methods for the territory in Birobidzhan

№ п/п	Наименование показателя	Классическое проектирование	Проектирование на основе ИИ
1	Площадь территории, га	42,8	
2	Срок проектирования, раб. дней	5	1
3	Количество затраченных трудочасов, ч	60	8
4	Трудоемкость (трудочасов на 1 сценарий)	60	0,27
5	Количество специалистов, чел.	3	1
6	Количество сценариев проекта, шт.	1	30
7	Максимальная площадь жилого фонда в проекте, м ²	240 000	258 000

Таблица 2

Сравнение методов для территории в с. Новосергиевка

Table 2

Comparison of methods for the territory in v. Novosergievka

№ п/п	Наименование показателя	Классическое проектирование	Проектирование на основе ИИ
1	Площадь территории, га	56,4	
2	Срок проектирования, раб. дней	8	2
3	Количество затраченных трудочасов, ч	192	16
4	Трудоемкость (трудочасов на 1 сценарий)	192	1,07
5	Количество специалистов, чел.	4	1
6	Количество сценариев проекта, шт.	1	15
7	Максимальная площадь жилого фонда в проекте, м ²	327 000	368 000



а (a)



б (b)

Рис. 3. Визуализация сгенерированных цифровых моделей: а – г. Биробиджан; б – с. Новосергиевка
Fig. 3. Visualization of generated digital models: а – Birobidzhan; b – v. Novosergievka

Список литературы

1. ДОМ.РФ. Обзор многоквартирного жилищного строительства в Российской Федерации. II квартал 2024 года [интернет]. Режим доступа: https://rusbonds.ru/rb-docs/analytics/DomRuComment_2024_08_16_7pcuq8xhw2gg2nk46wwxaja52sropcf0.pdf.
2. Правительство Российской Федерации. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года [интернет]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAM.pdf>.
3. Olanrewaju O.I., Kineber A.F., Chileshe N., Edwards D.J. Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle. *Building and Environment*. 2022;207:108556. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108556>
4. Dantas H.S., Sousa J.M.M.S., Melo H.C. The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019;225:012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012074>
5. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024). Консультант Плюс [интернет]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/. (дата доступа 23.09.2024).
6. Qamar T., Bawany N.Z., Amber S., Javed S. Smart City Services Ontology (SCSO): Semantic Modeling of Smart City Applications. In: 2019 Seventh International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC). Trabzon, Turkey; 2019, pp. 52–56. <https://doi.org/10.1109/icdipc.2019.8723785>
7. Schneider S., Fischer J.R., König R. Rethinking automated layout design: developing a creative evolutionary design method for the layout problems in architecture and urban design. In: Gero J.S. (eds). *Design Computing and Cognition '10*. Springer, Dordrecht; 2011, pp. 367–386. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0510-4_20
8. Muller P. Procedural modeling of cities. In: *ACM SIGGRAPH 2006 Courses (SIGGRAPH '06)*. New York; 2006, pp. 139–184. <https://doi.org/10.1145/1185657.1185716>
9. Haupt R.L., Haupt S.E. *Practical Genetic Algorithms*. Second Edition ed. John Wiley & Sons, Inc.; 2003. <https://doi.org/10.1002/0471671746>
10. Kudinov S., Smirnov E., Malyshev G., Khodnenko I. Planning Optimal Path Networks Using Dynamic Behavioral Modeling. In: *Lecture Notes in Computer Science* Springer, Cham: Springer Nature; 2018, pp. 129–141. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93701-4_10
11. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Стандарт комплексного развития территорий. Кн. 1: Свод принципов комплексного развития территорий. Москва: КБ Стрелка; 2017.

References

1. DOM.RF. Overview of Multi-Apartment Housing Construction in the Russian Federation in the Second Quarter of 2024 [internet]. Available at: https://rusbonds.ru/rb-docs/analytics/DomRuComment_2024_08_16_7pcuq8xhw2gg2nk46wwxaja52sropcf0.pdf. (In Russian).
2. Government of the Russian Federation, Strategy for the Development of the Construction Industry and Housing and Public Utilities of the Russian Federation for the Period up to 2030 with a Forecast up to 2035 [internet]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAM.pdf>. (In Russian).
3. Olanrewaju O.I., Kineber A.F., Chileshe N., Edwards D.J. Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle. *Building and Environment*. 2022;207:108556. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108556>
4. Dantas H.S., Sousa J.M.M.S., Melo H.C. The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019;225:012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012074>
5. Urban Planning Code of the Russian Federation of 29.12.2004 No. 190-FZ (as amended on 08.08.2024) (as amended and supplemented, entered into force on 01.09.2024). Consultant Plus [internet]. Available: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (accessed 23 September 2024). (In Russian).

6. *Qamar T., Bawany N.Z., Amber S., Javed S.* Smart City Services Ontology (SCSO): Semantic Modeling of Smart City Applications. In: 2019 Seventh International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC). Trabzon, Turkey; 2019, pp. 52–56. <https://doi.org/10.1109/icdipc.2019.8723785>
7. *Schneider S., Fischer J.R., König R.* Rethinking automated layout design: developing a creative evolutionary design method for the layout problems in architecture and urban design. In: *Gero J.S.* (eds). Design Computing and Cognition '10. Springer, Dordrecht; 2011, pp. 367–386. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0510-4_20
8. *Muller P.* Procedural modeling of cities. In: ACM SIGGRAPH 2006 Courses (SIGGRAPH '06). New York; 2006, pp. 139–184. <https://doi.org/10.1145/1185657.1185716>
9. *Haupt R.L., Haupt S.E.* Practical Genetic Algorithms. Second Edition ed. John Wiley & Sons, Inc.; 2003. <https://doi.org/10.1002/0471671746>
10. *Kudinov S., Smirnov E., Malyshev G., Khodnenko I.* Planning Optimal Path Networks Using Dynamic Behavioral Modeling. In: Lecture Notes in Computer Science Springer, Cham: Springer Nature; 2018, pp. 129–141. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93701-4_10
11. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. Standard of integrated development of territories. Book 1: A set of principles for integrated development of territories. Moscow: KB Strelka; 2017. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Александрович Кудин[✉], научный сотрудник, руководитель лаборатории «Интеллектуальные технологии городского планирования», Университет ИТМО, Санкт-Петербург
e-mail: lab01@mail.ru

Sergei A. Kudinov[✉], Researcher, Laboratory Head, Laboratory of Intelligent Technologies in Urban Planning, ITMO University, St. Petersburg
e-mail: lab01@mail.ru

Михаил Борисович Зайчук, руководитель архитектурной группы, ООО «Рокет Групп», Санкт-Петербург
Mikhail B. Zaichuk, Head of the Architectural Group, Rocket Group LLC, St. Petersburg

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author