

Доцент Валерия Борисовна Головкина, магистрант Михаил Михайлович
Смирнов

Associate Professor Valeria Borisovna Golovkina, Master's Student Mikhail
Mikhailovich Smirnov

Национальный исследовательский технологический университет МИСИС,
Москва

National University of Science and Technology MISIS, Moscow

**О РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ
ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТОЧЕЧНОЙ
ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

**ON THE DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR THE PROCEDURAL
GENERATION OF A DIGITAL INFORMATION MODEL OF URBAN
INFILL DEVELOPMENT**

Аннотация. В статье рассматривается алгоритмический подход к формированию цифровой информационной модели точечной городской застройки на основе процедурной генерации. Цель исследования заключается в структурировании метода, позволяющего получать сопоставимые варианты застройки по единому набору исходных данных, ограничений и параметров. Предлагаемая схема включает подготовку входных данных, построение пространственного каркаса, генерацию пятен и объемов застройки, присвоение атрибутов и фиксацию показателей для сравнения сценариев. Показано, что процедурный подход повышает воспроизводимость моделирования, снижает трудоемкость ранних стадий проектного анализа и формирует основу для последующего экспорта результатов в контур информационного моделирования.

Ключевые слова: процедурная генерация, цифровая информационная модель, точечная застройка, городская застройка, Blender 3D, Geometry Nodes, сценарное моделирование.

Abstract. The article examines an algorithmic approach to developing a digital information model of urban infill development based on procedural generation. The purpose of the study is to structure a method that enables the generation of comparable development scenarios using a unified set of input data, constraints, and parameters. The proposed workflow includes input data preparation, construction of a spatial framework, generation of building footprints and massing, attribute assignment, and recording of indicators for scenario comparison. It is shown that the procedural approach improves the reproducibility of modeling, reduces the labor intensity of early-stage design analysis, and provides a basis for the subsequent export of results into an information modeling environment.

Keywords: procedural generation, digital information model, infill development, urban development, Blender 3D, Geometry Nodes, scenario modeling.

Современное градостроительное проектирование развивается в условиях роста доли городского населения и усложнения городской инфраструктуры. Для российских городов эта тенденция сочетается с реновацией, комплексным развитием территорий и практикой точечной застройки, вследствие чего возрастает потребность в быстром сравнении нескольких вариантов преобразования участка еще до перехода к детальной проектной проработке [1; 2]. При этом ручное построение и регулярная корректировка цифровых моделей оказываются затратными по времени и плохо масштабируются при необходимости итеративной проверки ограничений.

Дополнительное значение имеет нормативный контур применения результатов. В действующей российской системе градостроительного регулирования информационная модель объекта капитального строительства рассматривается как совокупность взаимосвязанных сведений, документов и

материалов, формируемых в электронном виде. Следовательно, создаваемая модель должна быть пригодна не только для визуализации, но и для анализа, проверки и обмена данными [3-6]. Это задает требования к структуре атрибутов, воспроизводимости алгоритма и интерпретируемости результата.

Таким образом, ключевая проблема состоит в разрыве между необходимостью быстро получать несколько проверяемых вариантов застройки и трудоемкостью ручного построения таких моделей. Для ее решения требуется не отдельная визуализация, а воспроизводимый алгоритм, в котором входные ограничения последовательно преобразуются в геометрию, атрибуты и расчетные показатели. Именно поэтому в качестве решения рассматривается процедурная генерация, которая позволяет формализовать правила построения модели и изменять сценарии через управляемые параметры, сохраняя сопоставимость результатов.

. В отличие от подходов, ориентированных главным образом на визуальный эффект, процедурный метод строится на формализованных правилах, параметрах и контролируемой последовательности преобразований. Современные исследования показывают, что такой подход применим в задачах урбанистического анализа, параметрического планирования и семантически правдоподобного моделирования городской среды [7-10].

Цифровая информационная модель рассматривается авторами [3-6] как формализованное цифровое представление участка застройки, включающее геометрию, атрибуты объектов и связи между ними, достаточные для сценарного анализа и последующего включения в контур информационного моделирования. Такое определение позволяет сразу связать геометрическое построение с требованиями к данным: объект должен иметь не только форму, но и набор признаков, по которым возможны проверка, сравнение и дальнейшая обработка.

Методически предлагаемый подход основан на детерминированной процедурной схеме. При фиксированных входных данных, наборе правил и параметре seed генератор должен давать воспроизводимый результат. Это

принципиально важно для градостроительных задач, где необходимо сопоставлять варианты, а не получать единичную визуализацию. Исследования в области procedural city generation, GIS-based procedural modeling и generative design in urban planning подтверждают, что наибольшую практическую ценность имеют именно параметризуемые и интерпретируемые алгоритмы [7-9].

Входной набор данных для алгоритма включает границы рассматриваемого участка, параметры градостроительных ограничений, сведения о допустимой этажности и плотности, опорные элементы улично-дорожной структуры, а также типологические параметры будущей застройки. На предварительном этапе эти данные должны быть приведены к единой системе координат и очищены от топологических ошибок. Уже на этой стадии закладывается возможность многовариантного сценарного анализа, поскольку часть ограничений фиксируется как жесткие, а часть задается диапазонами изменяемых параметров.

Дальнейшая логика алгоритма строится как последовательность пяти взаимосвязанных модулей. Первый модуль отвечает за подготовку и нормализацию входных данных. Второй формирует пространственный каркас участка: оси движения, границы допустимых зон застройки и базовую сетку размещения объектов. Третий модуль реализует парцелляцию и построение пятен застройки с учетом отступов, высотных параметров и коэффициентов использования территории. Четвертый модуль выполняет объемное формообразование и присвоение атрибутов элементам модели. Пятый модуль служит для фиксации метрик и подготовки результатов к сравнительному анализу сценариев.

Такое разбиение позволяет использовать процедурную генерацию не как единый монолитный скрипт, а как иерархию переиспользуемых блоков. В этом заключается одно из ключевых методических преимуществ: изменение правила в одном модуле не требует полной перестройки всей схемы и может быть локализовано на уровне конкретного этапа. Для исследования это особенно

важно, поскольку алгоритм должен не только формировать модель, но и оставаться доступным для поэтапной верификации и модификации.

В качестве основной среды разработки выбран Blender 3D с системой Geometry Nodes. Этот выбор обусловлен сочетанием трех свойств. Во-первых, геометрические ноды обеспечивают неdestructивную логику работы, при которой изменение параметров приводит к автоматическому пересчету результата без ручного редактирования исходной геометрии. Во-вторых, нодовая организация упрощает представление алгоритма в виде модульного графа. В-третьих, Python-интерфейс Blender позволяет автоматизировать пакетные прогоны сценариев, фиксацию параметров и экспорт промежуточных данных.

Для практической реализации предлагается формировать библиотеку node groups, каждая из которых решает ограниченную задачу: создание опорной геометрии, деление территории на зоны, генерацию пятен застройки, построение объемов, присвоение идентификаторов и служебных атрибутов. Такой подход обеспечивает масштабируемость прототипа и создает условия для поэтапного усложнения модели без разрушения базовой логики. На этапе апробации граф может быть связан с внешними GIS-данными и библиотекой типовых ассетов, но ядро алгоритма должно оставаться независимым от конкретного набора визуальных компонентов (рисунок 1).



Рисунок 1 — Структура процедурного графа Geometry Nodes для генерации цифровой информационной модели точечной застройки

Изменение отдельной ноды или параметра в таком графе непосредственно влияет на итоговую модель. Например, корректировка ноды, отвечающей за отступы от границ участка, изменяет допустимую площадь пятна застройки; изменение параметров высоты или этажности перестраивает объемы зданий; настройка шага сетки размещения влияет на плотность и количество объектов; изменение фильтра по атрибутам может исключать или добавлять элементы определенного типа. В результате исследователь получает не новую модель, созданную вручную, а пересчитанный вариант той же процедурной схемы, что обеспечивает управляемость и сопоставимость сценариев.

Для большей управляемости характеристиками нод прописываются панели управления, на которые выводятся основные параметры, влияющие на результат (Рисунок 2).

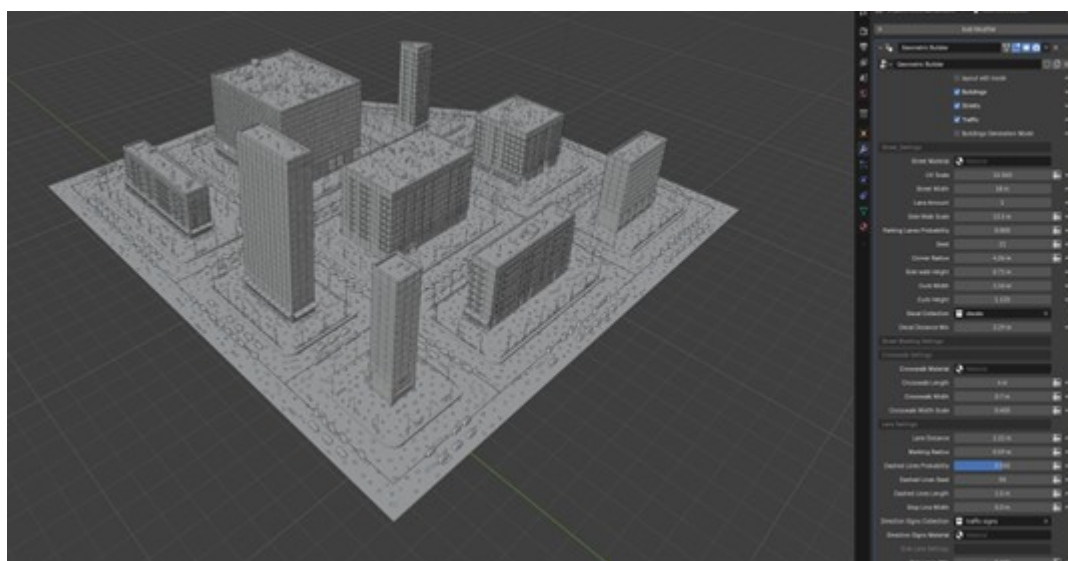


Рисунок 2 –Изображение модели и панели управления геометрической нодой

Благодаря таким панелям представляется возможным изменять основные параметры в более явном виде, не затрагивая основную нодовую структуру и формулы, разработанные в ней (Рисунок 3).

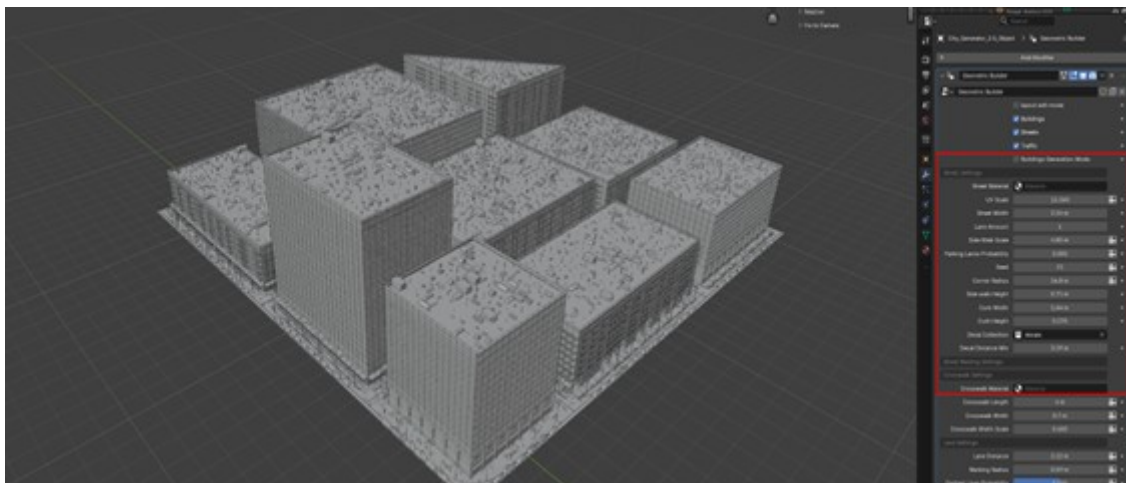


Рисунок 3 – Пример изображения модели после изменения параметров на панели

Основным результатом исследования является воспроизводимая структура генератора цифровой информационной модели точечной застройки. Она описывает переход от исходных данных и ограничений к набору сопоставимых проектных вариантов: сначала формируется пространственная основа участка, затем строятся пятна и объемы застройки, после чего каждому элементу назначаются атрибуты и расчетные показатели. Такой подход делает представленное решение не обзором существующих платформ, а методической схемой дальнейшей программной реализации.

В пространственной части алгоритм формирует базовый каркас территории, на основе которого строятся варианты размещения застройки (рисунок 4).

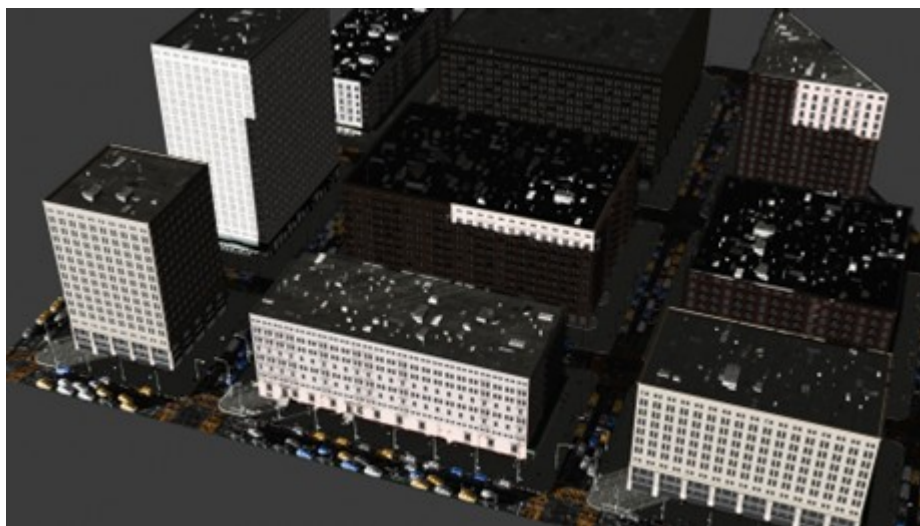


Рисунок 4 — Пример сгенерированного фрагмента цифровой информационной модели городской застройки

Изменение параметров плотности, этажности, отступов и конфигурации пятен приводит к перестроению результата при сохранении общей структуры графа. Благодаря этому разные сценарии остаются сопоставимыми между собой: меняются значения параметров, но логика генерации и состав выходных данных сохраняются.

На уровне данных ключевым результатом является объединение геометрии и атрибутов в одной процедурной модели. Для цифровой информационной модели недостаточно получить объемы зданий и элементы благоустройства: каждому объекту необходимо назначить тип, принадлежность к сценарию, расчетные параметры и служебные идентификаторы. Такая структура позволяет использовать результат не только как визуальную сцену, но и как основу для проверки, сравнения вариантов и последующего экспорта в среды информационного моделирования.

С вычислительной точки зрения нодовый граф Geometry Nodes используется как форма представления алгоритма. Отдельные узлы и группы узлов отвечают за конкретные операции: выбор зоны, фильтрацию геометрии, построение сетки размещения, формообразование, назначение параметров и сбор показателей. Поэтому изменение графа можно проследить до конкретного

этапа построения модели, а корректировка отдельного правила не требует переписывания всей системы.

При этом выбранный подход имеет ограничения. Blender 3D и Geometry Nodes удобны для прототипирования и демонстрации сценариев, однако не формируют полноценную BIM-семантику автоматически. Поэтому для разработки процедурной ЦИМ необходимо отдельно задавать состав атрибутов, правила именования объектов и порядок экспорта данных. Надежность результата также зависит от качества исходных ограничений: чем точнее формализованы границы участка, допустимые параметры и условия размещения, тем устойчивее работает генератор.

Важным методическим условием является отделение процедурного алгоритма от генеративных ИИ-подходов. В задачах градостроительного анализа предпочтителен механизм, в котором путь от входных данных к результату можно объяснить и проверить. Поэтому ИИ может использоваться только как вспомогательный инструмент, например для подготовки описаний сценариев или первичной классификации данных, тогда как ядро построения модели должно оставаться детерминированным.

Практическая значимость предлагаемого решения состоит в сокращении трудоемкости раннего анализа точечной застройки. При формализованном наборе правил один участок может быть рассчитан в нескольких вариантах без ручного перестроения модели. Проектировщик или исследователь получает серию сопоставимых цифровых представлений территории, что упрощает оценку последствий изменения плотности, этажности, конфигурации пятен застройки и других параметров.

В статье представлена модульная схема алгоритма процедурной генерации цифровой информационной модели точечной городской застройки. Актуальность работы определяется сочетанием урбанизационного давления, распространенности точечной застройки и необходимости формировать модели, пригодные для нормативно согласованного анализа и обмена данными [1-6].

Содержательный результат исследования заключается в описании последовательности модулей, включающих подготовку исходных данных, формирование пространственного каркаса, генерацию пятен и объемов застройки, присвоение атрибутов и фиксацию метрик сценария. Обоснован выбор Blender 3D и Geometry Nodes как среды прототипирования, поскольку нодовый граф обеспечивает неdestructивность, модульность и трассируемость вычислительного процесса.

Предлагаемый подход может использоваться как методическая база для разработки программного прототипа и последующей апробации на реальных участках городской застройки. Дальнейшая работа должна быть направлена на расширение набора правил, уточнение атрибутивной модели и подготовку процедур экспорта результатов в контур информационного моделирования.

Список литературы

1. 2018 Revision of World Urbanization Prospects [Электронный ресурс] // United Nations Department of Economic and Social Affairs. URL: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (дата обращения: 20.06.2025).

2. Мантров С. Д. Проблематика точечного строительства в России // Актуальные исследования. 2024. № 19 (201), ч. I. С. 71-74. URL: <https://apni.ru/article/9161-problematika-tochechnogo-stroitelstva-v-rossii> (дата обращения: 19.12.2025).

3. Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 26.12.2025).

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 17.05.2024 № 614 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального

строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1305990015> (дата обращения: 26.12.2025).

5. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573514520> (дата обращения: 26.12.2025).

6. ГОСТ Р 10.00.00.01. Единая система информационного моделирования. Термины и определения.

7. Kim J.-S., Kavak H., Crooks A. Procedural city generation beyond game development // SIGSPATIAL Special. 2018. Vol. 10, No. 2. P. 3-9. DOI: 10.1145/3292390.3292397.

8. Zhang M., Wu J., Liu Y., Zhang J., Li G. GIS Based Procedural Modeling in 3D Urban Design // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022. Vol. 11, No. 10. Art. 531. DOI: 10.3390/ijgi11100531.

9. Pérez-Martínez I., Martínez-Rojas M., Soto-Hidalgo J. M. A methodology for urban planning generation: A novel approach based on generative design // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2024. Vol. 129. Art. 107591. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.107591.

10. Bulbul A. Procedural generation of semantically plausible small-scale towns // Graphical Models. 2023. Vol. 126. Art. 101170. DOI: 10.1016/j.gmod.2023.101170.