

Генеративный дизайн и онтологический инжиниринг
в градостроительстве

Николай Михайлович Рашевский, Константин Романович Назаров,
Вячеслав Андреевич Джагаев, Артем Геннадьевич Щербаков,
Артём Дмитриевич Чикин

Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Генеративный дизайн — это методология, основанная на использовании алгоритмов и приложений для генерации итеративных и вариативных дизайнерских решений. Он позволяет анализировать и учитывать множество факторов, таких как топография, климатические условия, потоки людей, транспортные сети и другие параметры, чтобы разработать наилучшие решения для конкретного места. Онтологический инжиниринг связан с созданием формальных описаний и моделей для представления знаний о предметной области. В градостроительстве онтологический инжиниринг может быть применен для создания формальной модели города, которая объединяет информацию о его физической среде, инфраструктуре, общественных пространствах и транспортной сети.

Материалы и методы. Реализация проекта основана на машинном обучении, сверточной нейросети в области генеративного дизайна. Описывается процесс разработки системы для определения и визуализации оптимального расположения объектов строительства в градостроительстве на примере парковых зон.

Результаты. Приведена онтологическая модель СП 475.1325800.2020 «Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства». Предложен метод создания планировки парковой зоны с применением генеративного дизайна. Показан пример реализации предложенного метода с помощью кроссплатформенной среды разработки компьютерных приложений Unity.

Выводы. При объединении генеративного дизайна и онтологического инжиниринга в градостроительстве возникают новые возможности для проектирования инновационной городской среды. С генеративными алгоритмами можно использовать онтологические модели, чтобы автоматически проектировать и оценивать различные варианты градостроительных решений, учитывая заданные параметры и цели. Это позволяет исследовать большое количество вариантов и находить оптимальные решения с учетом множества факторов. Выполнен анализ применения технологий генеративного дизайна и онтологического инжиниринга в сфере градостроительства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: онтологии, информационное моделирование, строительная отрасль, цифровизация, семантическая модель, интеграция знаний, анализ данных, принятие решений, онтологический инжиниринг, генеративный дизайн, проектирование, анализ данных, градостроительство, генерация планировки

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и администрации Волгоградской области № 22-11-20024 (URL: <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>). Авторы выражают благодарность коллегам по кафедре цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве ВолГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рашевский Н.М., Назаров К.Р., Джагаев В.А., Щербаков А.Г., Чикин А.Д. Генеративный дизайн и онтологический инжиниринг в градостроительстве. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.9

Автор, ответственный за переписку: Артём Дмитриевич Чикин, artyom.chikin@gmail.com.

Generative design and ontological engineering in urban planning

Nikolay M. Rashevsky, Konstantin R. Nazarov, Vyacheslav A. Dzhabagaev,
Artem G. Shcherbakov, Artyom D. Chikin

Volgograd State Technical University (VSTU); Volgograd, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Generative design is a methodology based on the use of algorithms and applications to generate iterative and variable design solutions. It allows analyzing and considering multiple factors such as topography, climatic conditions, human flows, transportation networks and other parameters to develop the best solutions for a specific location. Ontology engineering is concerned with the creation of formal descriptions and models to represent knowledge about the subject area. In urban planning, ontology engineering can be used to create a formal model of a city that integrates information about its physical environment, infrastructure, public spaces and transportation network.

Materials and methods. The realization of the project is based with on machine learning, convolutional neural network in the field of generative design. We describe the process of developing a system for determining and visualizing the optimal location of construction objects in urban planning, using park areas as an example.

Results. The ontological model of CP 475.1325800.2020 "Parks. Rules of urban planning and landscaping". A method for creating a park area layout using generative design is proposed. An example of the implementation of the proposed method using the Unity cross-platform computer application development environment is given.

Conclusions. By combining generative design and ontology engineering in urban planning, new opportunities arise for designing innovative urban environments. With generative algorithms, ontology models can be used to automatically design and evaluate different urban design options, taking into account the given parameters and goals. This allows to explore a large number of options and find optimal solutions considering multiple factors. The paper analyzes the use of generative design and ontology engineering technologies in the field of urban planning.

KEYWORDS: ontologies, information modelling, construction industry, digitalization, semantic model, knowledge integration, data analysis, decision making, ontological engineering, generative design, design, data analysis, urban planning, layout generation

Acknowledgements. The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation and the Administration of the Volgograd Region No. 22-11-20024 (URL: <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>). The authors would like to express their gratitude to their colleagues at the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction of the VSTU who participated in the development of the project.

FOR CITATION: Rashevsky N.M., Nazarov K.R., Dzhabgaev V.A., Shcherbakov A.G., Chikin A.D. Generative design and ontological engineering in urban planning. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(2):9. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.9

Corresponding author: Artyom D. Chikin, artyom.chikin@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация профессиональной деятельности затрагивает множество сфер жизни современного общества. В области градостроительства и архитектуры развиваются технологии автоматизированного проектирования. Одним из ведущих и молодых направлений, которое ежегодно набирает обороты и модернизирует свои возможности, является генеративный дизайн. Данный метод автоматизированного проектирования позволяет специалистам в кратчайшие сроки выполнять поставленные задачи, демонстрировать клиентам многочисленные сгенерированные варианты решений и минимизировать различные инженерно-технические риски в проектной документации. Генеративный дизайн упрощает работу проектировщика, делегируя обязанности программному обеспечению (ПО) и тем самым повышая эффективность специалиста. В tandem с нейросетевыми технологиями этот метод позволит интеллектуализировать процесс генерации проектов.

Таким образом, необходимо изучать возможности и перспективы генеративных технологий и внедрять их в градостроительную деятельность для обретения более качественного уровня проектных решений.

Генеративный дизайн — подход к проектированию, базирующийся на комплексе вычислительных алгоритмов, подбирающих множество вариантов решения той или иной задачи, основанных на задаваемых параметрах, и отбирающих наиболее оптимальные результаты [1].

Генерация огромного множества решений (выборок) выполняется компьютером посредством математических алгоритмов и машинного обучения. Результат этого процесса — не одно или несколько

подходящих решений, а множество выборок. В связи с этим проектирование превращается в изучение причинно-следственных связей.

Отечественные исследования генеративного дизайна и его технологий с точки зрения градостроительной практики немногочисленны. Данное направление только развивается, однако труды теоретической направленности отвечают на многие вопросы, связанные с преимуществами [1] и возможностями применения генеративного дизайна. В научной статье А.А. Лаушкиной [2] рассмотрены существующие методы и алгоритмы генеративного дизайна при городском планировании с учетом изменения характеристик окружающей среды. На основе анализа существующих решений были выявлены различные ограничения, с которыми сталкиваются разработчики, главное из которых — необходимость внесения изменений в пользовательском режиме.

Практические исследования также имеют место быть в научных трудах отечественных ученых. Например, в проекте А.Я. Пахтаевой и Ю.В. Родионовой [3] разработан метод генеративного дизайна для ландшафтного проектирования, который формирует техническое задание разработчикам систем искусственного интеллекта. Идея заключается в том, что на базе определенных факторов, влияющих на генеративные решения, система моделирует закономерные и естественные процессы с помощью их описания с использованием набора правил в системе автоматизированного проектирования. Метод позволяет формировать пешеходно-тропиночную сеть парка на основе определения точек притяжения жителей и построения предсказуемой проекции движения пешеходов, а также с помощью машинного обучения проводить эстетическую выборку объектов. Принципы инновационного подхода в процес-

сах предпроектного этапа раскрываются в статье Н.Г. Айрапетяна и А.А. Зайцева [4], а именно анализ наиболее эффективного использования земельного участка под будущую застройку при помощи генеративного дизайна. Указанный подход дает возможность получить максимальный экономический потенциал территорий, повысить эффективность процесса разработки предварительной юридической экспертизы на ранних стадиях проекта.

В работе В.В. Гаряевой и А.Н. Гаряева [5] представлены результаты анализа и практической реализации подходов к обработке информации при автоматизации строительного проектирования с применением технологии генеративного дизайна. Разработанный метод позволил с помощью определенных программных продуктов автоматически создать множество решений для задачи моделирования концептуальной застройки, тем самым сократив временные затраты специалиста на разработку проектной документации.

Зарубежные ученые внесли огромный вклад в инновационное развитие отрасли генеративного дизайна с точки зрения внедрения его в практическую градостроительную деятельность. Можно отметить труды следующих исследователей: О. Москвиц, Шейни Барат [6], Юэ Сунь [7], Д. Кумаласари [8], Дунцзе Ван [9], Рейнхарда Кенига [10, 11], Сейки Кома, Юичиро Ямабэ [12].

Е.И. Рейзбих в своей статье [13] предлагает использовать генеративный дизайн для тестирования каких-либо проектов до их реализации, а именно, какое влияние они окажут на окружающую среду и с какими проблемами можно столкнуться при реализации. В этой работе автор рассказывает об использовании инструментов генеративного дизайна в программе с открытым исходным кодом Grasshopper [14]. Э.Б. Оксюз предлагает применять генеративный дизайн и аллометрию для создания более эффективных форм в масштабе города [15]. А. Ех и К. Ли поднимают тему объединения методов нейросетей и генеративного дизайна, как предполагаемое будущее развитие технологии [16].

В публикации Рейнхарда Кенига [11] описано успешное применение алгоритма эволюционной оптимизации (ЕМО) для создания нескольких планировочных структур, таких как уличная сеть, кварталы, земельные участки и здания. Использование структуры данных реализовано в ПО Grasshopper для Rhino3D как части гибкой, модульной и расширяемой системы оптимизации, которая может применяться для решения различных задач городского проектирования и способна согласовывать потенциально противоречащие друг другу цели проектирования в полуавтоматическом режиме. Сейки Кома и Юичиро Ямабэ [12] в своем экспериментальном исследовании предложили систему оптимизации городского ландшафтного дизайна с использованием интерактивного генетического

алгоритма (IGA). С помощью данного метода исследователи определяли оптимальный способ внедрения мнений горожан относительно комфортной городской среды в технологию автоматизированного проектирования для оценки фронта уличной застройки.

Используя обычные инструменты, будет потрачено огромное количество времени на проектирование только для одного варианта планировки, которых зачастую требуется несколько.

В этом как раз и может помочь генеративный дизайн. Благодаря ему проектировщик может за более короткий срок предоставить различные варианты планировок, потратив на это гораздо меньше ресурсов и времени [17, 18]. При этом ему не обязательно знать все правила и ограничения, по которым формируется чертеж, ведь все это уже будет учитываться при генерации. Как сказала Н.И. Сметанина: «Генеративный дизайн при работе учитывает и анализирует большое количество данных, принимая во внимание множество факторов и выделяя из них наиболее важные» [19]. Этот метод упростит работу многих архитекторов, поднимет их производительность и качество работы на новый уровень.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На этапе подготовки проекта благоустройства определяются приблизительные правила по расположению различных парковых объектов, а также проводится разбиение парковой территории по зонам. Размещение этих зон устанавливается их назначением, расположением главного входа, местоположением парка, рельефом территории, наличием водоемов и составом зеленых насаждений.

Зоны массовых зрелищных мероприятий и физкультурных сооружений, привлекающие многочисленных посетителей, размещаются в районе главного входа.

Главный вход в парк устраивается с учетом подводящих магистралей и улиц. Кроме того, должны быть второстепенные входы с прилегающих улиц и хозяйственные въезды. Детская зона располагается в отдалении от зоны зрелищных мероприятий и физкультурных сооружений.

Зона тихого отдыха максимально удалена от источника шума и находится в наиболее живописной части парка, среди насаждений, вблизи водоемов. Она должна включать участки с пересеченным рельефом и по возможности примыкать к естественным массивам.

Основной фон парка — зеленые насаждения, поэтому все постройки в парке должны быть вписаны в зелень и гармонично сочетаться между собой, дополняя красоту друг друга, создавая впечатление единого гармоничного ансамбля.

Главные средства художественной композиции парка — зеленые насаждения, которые с течением

времени изменяются. Поэтому при архитектурно-планировочной композиции парков следует учитывать их развитие на протяжении ряда лет.

Приблизительные данные по размещению, составу и благоустройству зон многофункциональных парков приведены в таблице.

На основе проведенного анализа авторами предлагается метод формирования планировки парковой зоны с помощью алгоритмов генеративного дизайна. Модель данных предметной области, в которую входят: правила, ограничения, рекомендации и т.д., представленные в виде онтологической модели, а также

Размещение, состав и благоустройство зон многофункциональных парков¹

Виды зон*	% общей площади парка	Размещение в составе парка	Ориентировочный состав**
1. Зона массовых мероприятий	5–15	Вблизи главного входа	Пункт охраны, театральные, танцевальные, кино-эстрадные площадки, аттракционы, пункты проката, предприятия общественного питания и розничной торговли, туалеты, поля для фестивалей, массовых игр и т.п.
2. Зона тихого отдыха	75–40	Размещается в наименее посещаемых местах. Должна быть отделена декоративными зелеными насаждениями от зон массовых, физкультурно-оздоровительных, культурно-просветительных мероприятий	Размещение сооружений не допускается. Площадки для отдыха
3. Зона культурно-просветительных мероприятий	3–8	Выделение в отдельной зоне или свободное размещение на территории объектов капитального и некапитального строительства	Выставочные павильоны, предприятия общественного питания и розничной торговли, павильоны для чтения, помещения для любительских занятий, лектории, туалеты
4. Физкультурно-оздоровительная зона	10–20	Рекомендуется объединение в единый комплекс	Физкультурно-оздоровительные и спортивные сооружения: площадки для волейбола, баскетбола, бадминтона, настольного тенниса, многофункциональные спортивные площадки, спортивные площадки для экстремальных видов спорта, каток, площадки для отдыха, пункт проката, предприятия общественного питания и розничной торговли, туалеты
5. Зона для отдыха детей	5–10	Обособленно, на незначительном удалении от входов в парк	Детские игровые площадки, площадки для отдыха, аттракционы (детские)
6. Административно-хозяйственная зона	2–7	Обособленно	Хозяйственные площадки, административные сооружения, автономный выезд на прилегающую улицу, парковки для автотранспорта маломобильных групп населения, пункт охраны, кассы, пункт проката игрового и спортивного инвентаря, пункт проката пикникового инвентаря, информационные стенды, места для уборочной техники, туалеты, площадки для выгула собак

Примечание: * — в зависимости от местных условий в парке допускается преобладание какой-либо одной или двух зон при сокращении площади других (при сохранении минимальной площади зоны тихого отдыха); ** — размещение объектов, необходимых для обслуживания отдыхающих и связанных с природной спецификой парковой среды при максимальном сохранении природного ландшафта.

¹ СП 475.1325800.2020. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства. 2020.

выявленные нейросетевыми алгоритмами паттерны и подходы к расположению объектов.

Метод генерации инфраструктуры парка

Этап 1. Чтение файлов настроек.

Перед началом генерации этот алгоритм должен считать файл настроек, если таковой имеется, и/или введенные пользователем дополнительные параметры: наличие детских площадок, размер дорог, расстояние между лавочками (или другими объектами) и т.д. В обязательном порядке необходимо загрузить файл, содержащий OWL-онтологию, с записанными правилами и нормами, которые регламентируют правильное размещение объектов в парке [20–22]. На рис. 1 приведена онтологическая модель СП 475.1325800.2020 «Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства», на рис. 2 — детализированный фрагмент.

Этап 2. Построение сетки.

Исходя из параметров строится сетка соответствующей размерности. Сетка должна состоять из ячеек, каждая из которых хранит в себе определенную информацию: возможность строительства на ней, объект над этой ячейкой и тип зоны, к которой эта ячейка относится. Для работы алгоритма равномерного заполнения сетки заданной площади были разработаны следующие классы:

1. Класс Ground, с помощью данного класса можно создать экземпляры ячейки земли. Этот объект сможет хранить в себе следующие данные:

- доступен ли он для постройки;
- какой тип объекта находится над ним;
- к какой зоне он принадлежит;
- какой материал нужен для окрашивания зоны, к которой относится объект. В будущем будет использоваться для нанесения текстур.

2. Класс GroundBuilder — основной класс данного модуля. С его помощью можно запустить алгоритм построения ячеек земли, а также он хранит сетку земли.

Процесс работы алгоритма:

- получение размерности — длина и ширина сетки;
- создание виртуальной сетки — создается сетка полученной размерности, каждой ячейке которой соответствует экземпляр класса Ground;
- построение модели — строится модель земли для парка, опираясь на данные, которые хранятся в виртуальной сетке.

Этап 3. Вычисление зон.

После построения сетки вычисляются свободные А-квадраты и разделяются на зоны.

Алгоритм расчета площади каждой зоны, построения этих зон и размещения объектов внутри них представляет собой следующую последовательность действий:

1. Алгоритм получает список зон для генерации.

2. Происходит расчет площадей в зависимости от общей площади. Площадь зоны рассчитывается по формуле:

$$S_z = \frac{p \cdot 100}{S}, \quad (1)$$

где S_z — площадь зоны; p — ее процент от общей площади; S — общая площадь застройки.

3. Исходя из порядка генерации, начинается генерация каждой из зон с соблюдением правил, заданных пользователем (рис. 3). Генерация одной зоны происходит следующим образом:

3.1. Рассчитывается центральная точка зоны относительно точки ориентира. То есть зона должна входить в границы парка всей своей площадью (пересечение с другими зона разрешается). Точкой ориентира может быть явный объект, как в случае с зоной массовых мероприятий, где точкой ориентира может служить главный вход в парк, если таковой имеется.

3.2. После нахождения центральной точки рассчитываются координаты крайней левой нижней и крайней верхней правой ячеек для построения прямоугольника зоны.

3.3. По координатам строится прямоугольная зона.

3.4. В этой зоне располагаются объекты. По следующему принципу: наибольший приоритет → наибольший размер.

3.5. Переход к следующей зоне и начало работы с пункта 3.1.

Данные зоны можно будет заполнить различными объектами одного типа и окружить их прогулочными дорожками. Например, можно сделать коммерческую зону, в которой будут продаваться еда или стоять аттракционы; зеленую зону с деревьями, клумбами и фонтанами и т.д.

Этап 4. Чтение точек входа.

Алгоритм считывает введенные пользователем входы в парк и генерирует между ними маршруты одним из нескольких способов:

1. Часы — генерации дороги от одного входа к следующему ближайшему по часовой стрелке, получая в итоге дорогу практически по периметру парка.

2. Паутина — генерация дороги от каждого входа в каждый вход. Допустим, имеется 4 входа в будущий парк, соответственно каждый вход будет иметь дорогу в каждый из входов. Всего в каждом из таких входов должно быть по три дороги в остальные.

3. Комбинированный — комбинация из двух предыдущих способов.

Алгоритм построения маршрутов представляет собой следующую последовательность действий:

1. Начальной ячейкой задается один из входов в парк, а конечной любой другой.

2. Алгоритм получает список доступных ячеек для перемещения ячеек. Доступными являются

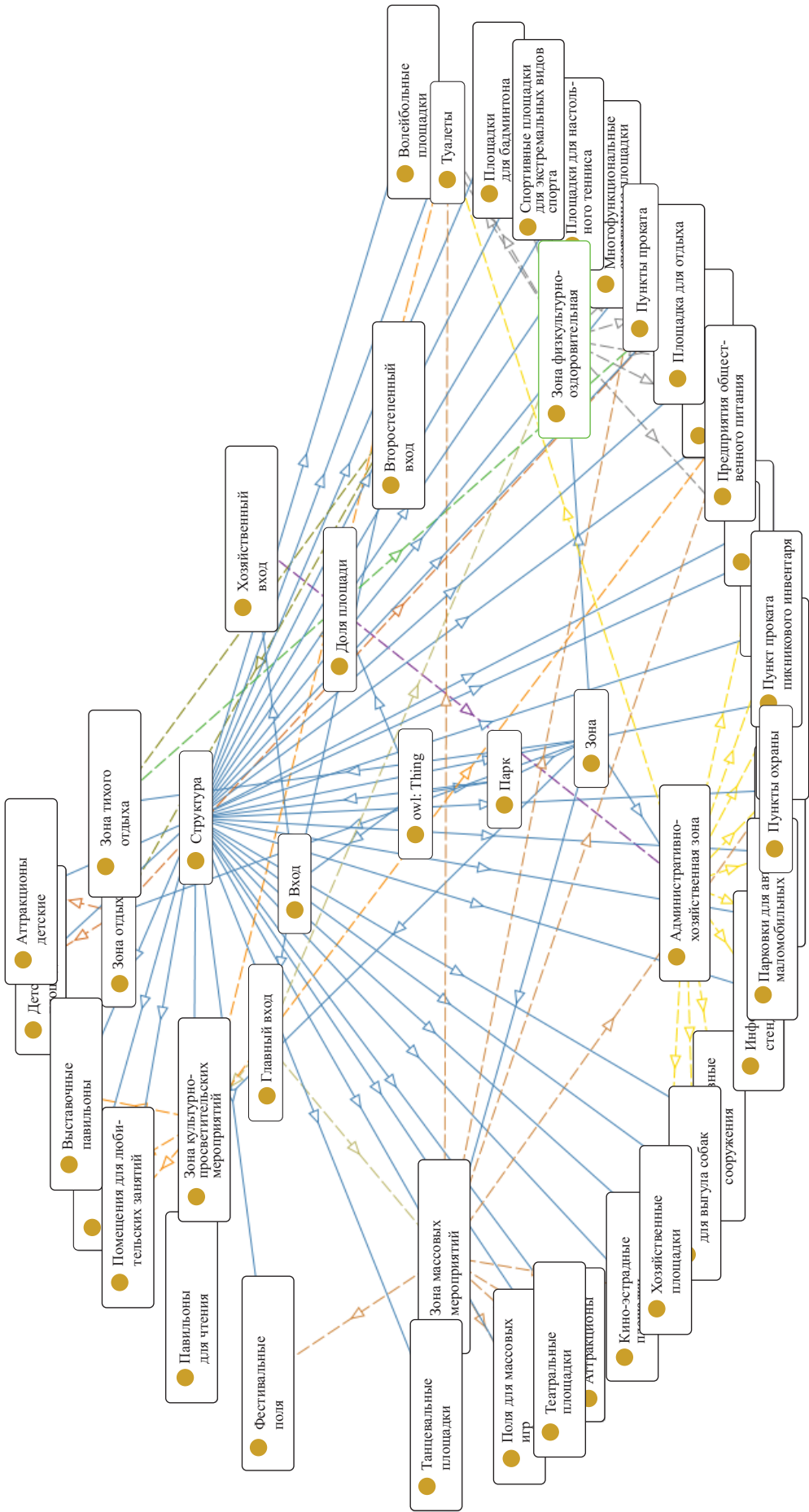


Рис. 1. OWL-онтология СП 475.1325800.2020

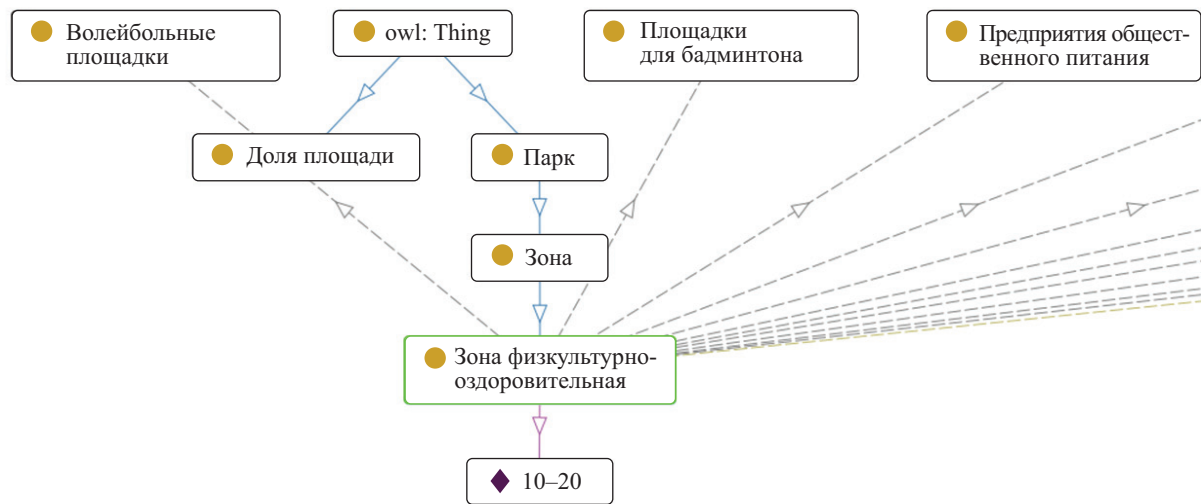
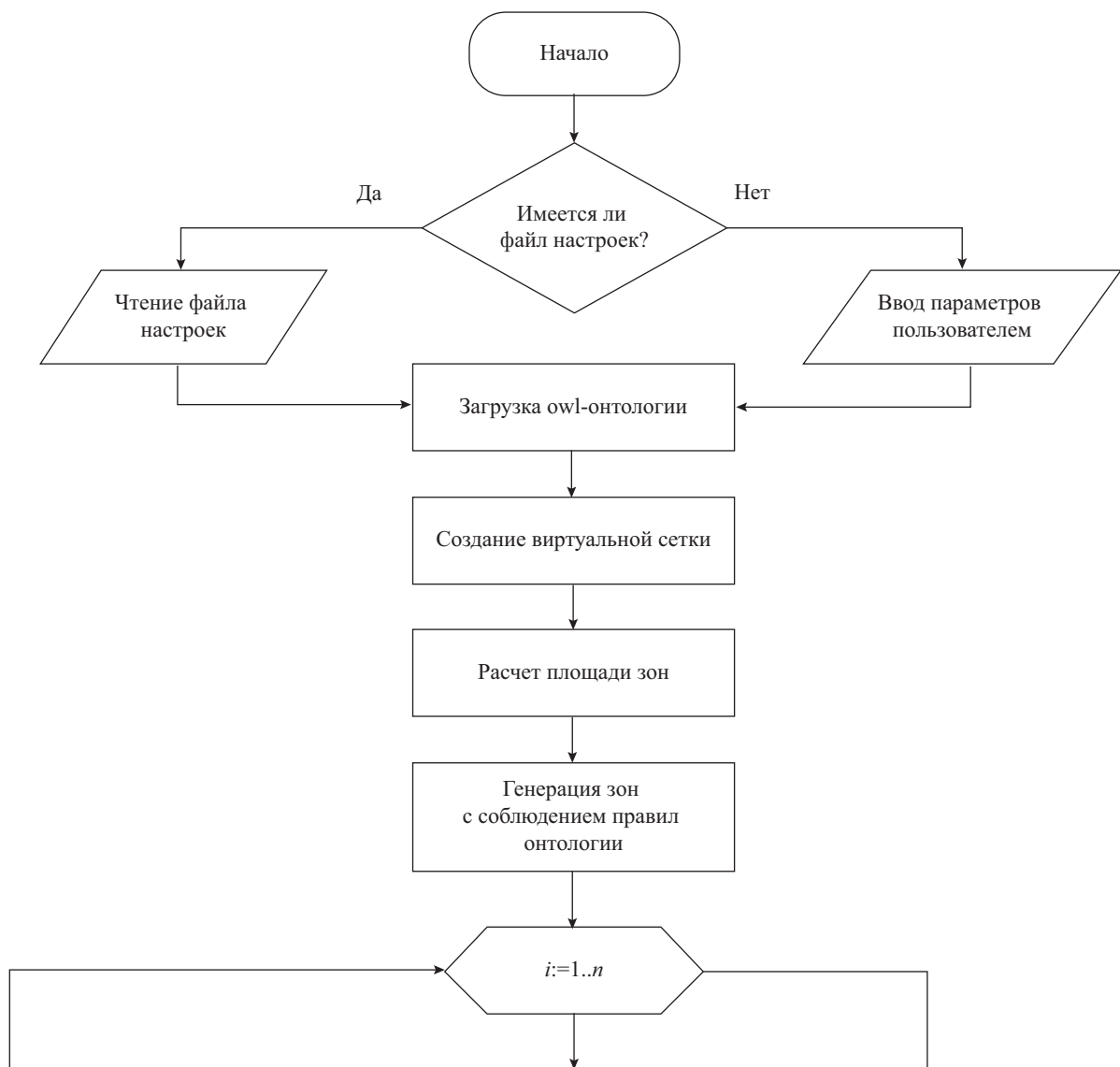


Рис. 2. Детализированный фрагмент OWL-онтологии СП 475.1325800.2020



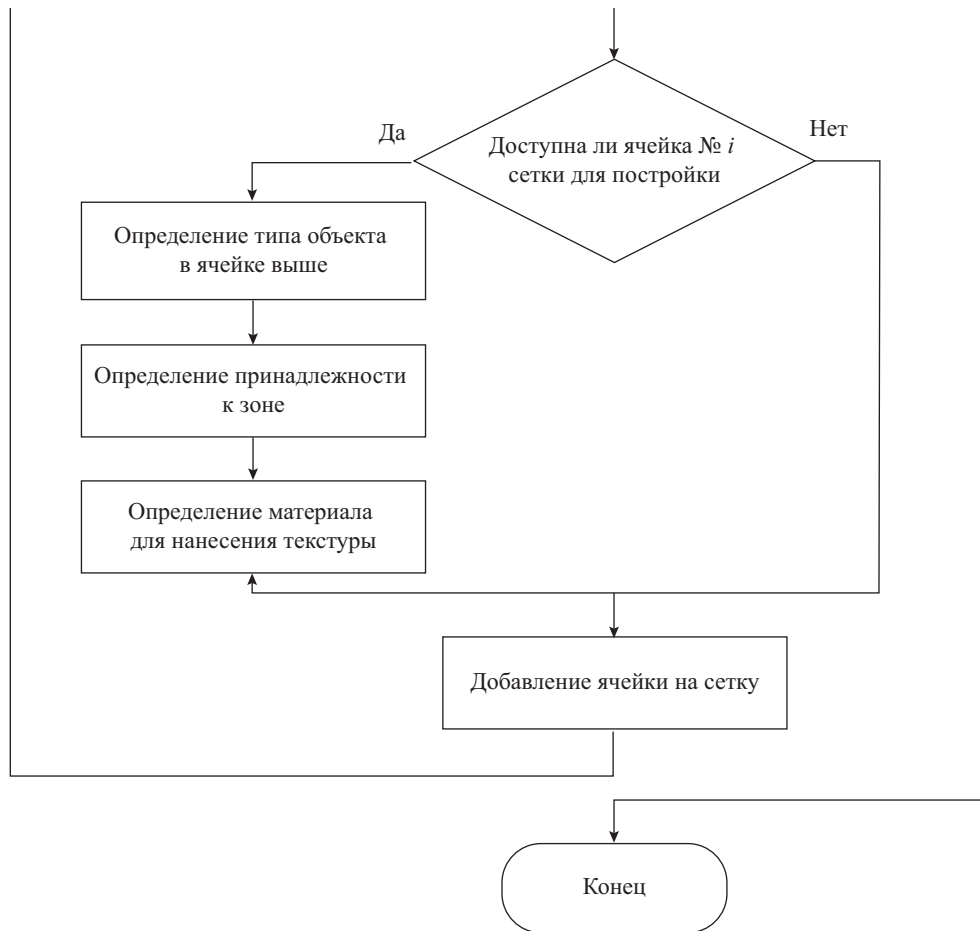


Рис. 3. Генерация зон с добавлением ячеек на сетку

те ячейки, которые примыкают к текущей и на них есть возможность строить объекты.

3. Для всех найденных ячеек текущая записывается как предыдущая.

4. Далее проходит расчет стоимости каждой ячейки, исходя из ее стоимости и дистанции до конечной точки. Дистанция рассчитывается по формуле:

$$D = |A_x - B_x| + |A_y - B_y|, \quad (2)$$

где A — текущая ячейка; B — конечная.

Если есть возможность передвижения по диагонали, то больше подойдет формула:

$$D = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}. \quad (3)$$

Стоимость рассчитывается по следующей формуле:

$$Z = D - (A_c + B_c), \quad (4)$$

где D — дистанция от текущей ячейки до конечной; A — текущая ячейка; B — соседняя свободная ячейка.

5. Просматривается стоимость всех вычисляемых ячеек, даже если эта ячейка находилась в списке исследованных.

6. Если стоимость рассматриваемой выгоднее других, то она становится текущей, даже если она

была уже исследована, но тогда ее предыдущая ячейка перезаписывается.

7. Если это была конечная точка, то алгоритм заканчивает работу, если нет, то повторяет пункты 2–5.

8. По итогу получается, что от конечной ячейки у нас есть путь из предыдущих ячеек до начальной, по которым и строится дорога.

Исходя из выбранного метода, строится дорога, одновременно генерируются и «простые» объекты, например, лавочки с мусорными баками, которые должны стоять около дорог (рис. 4). Также это могут быть объекты зеленой зоны, например деревья, клумбы или фонтаны. Предполагается, что каждый генерируемый объект занимает либо целый A -квадрат, либо какую-то его часть, так чтобы другой объект мог занять свободное место.

Этап 5. Построение ограды.

После завершения генерации нужно вернуться к F -квадратам, а именно тем, в которых есть части плоскости полигона. Исходя из их данных, по границам плоскости полигона нужно сгенерировать ограду, кроме точек входа (они тоже являются F -квадратами) в них должны быть ворота. Предполагается, что должны быть различные вариации ограждений, которые также может выбрать пользователь.

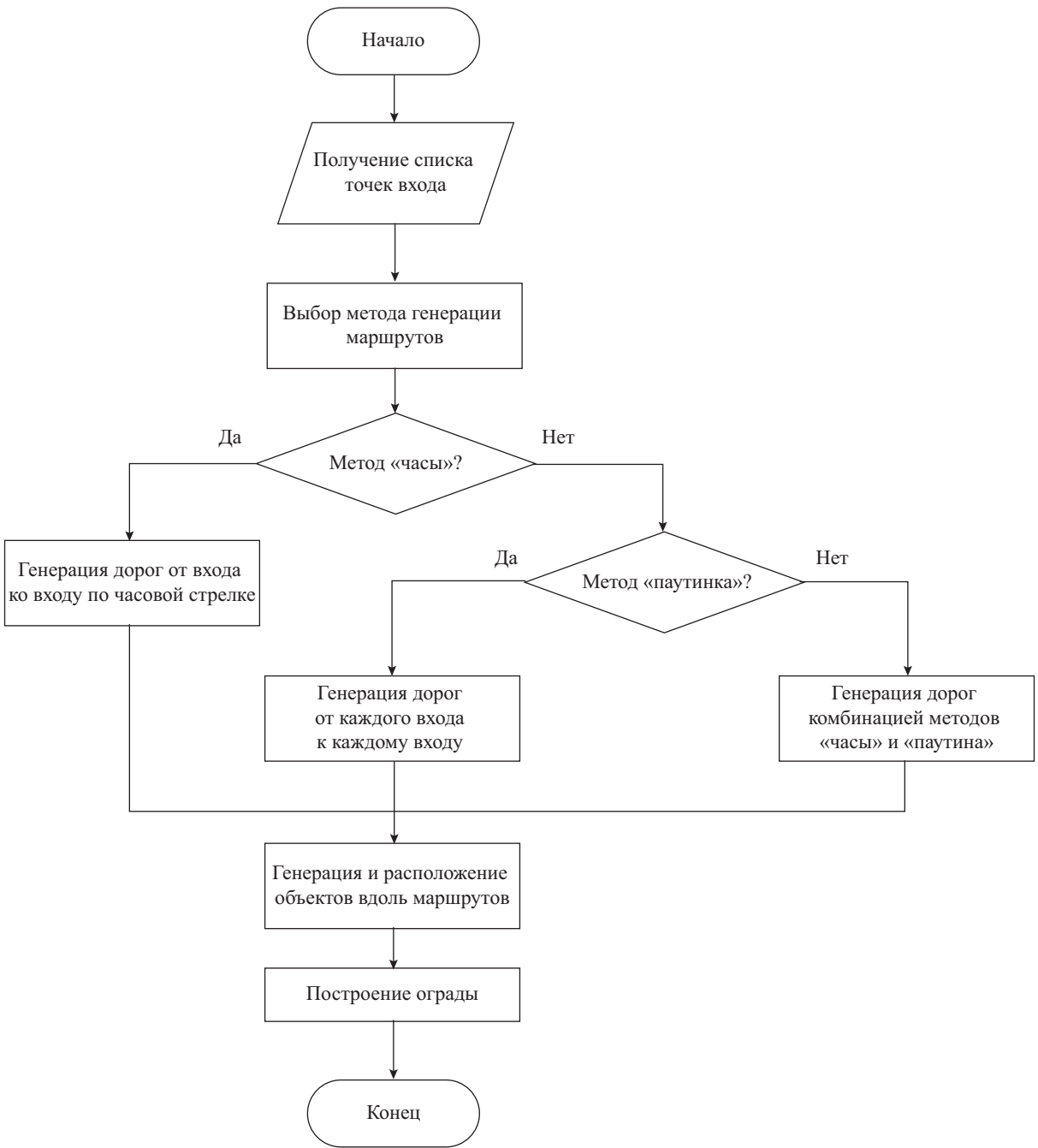


Рис. 4. Построение маршрутов дорог и расположение объектов

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Реализация метода показана с помощью кросс-платформенной среды разработки компьютерных игр Unity. Данное решение на текущем этапе имеет несколько основных модулей, которые отвечают за те или иные части алгоритма: GroundBuilder, AreaBuilder и RoadBuilder. В качестве входных данных пользователь задает параметры внутри объектов, которые были рассмотрены выше. Выходными данными служит сгенерированная планировка внутри интерфейса Unity.

Шаг 1. Программа считывает данные со всех модулей и запускает модуль GroundBuilder. Этот модуль

генерирует плоскость «земли», разделенную на ячейки. Каждая ячейка имеет свои параметры. Основными являются: разрешение на строительство, тип зоны и информация о типе объекта над собой.

Шаг 2. После создания плоскости GroundBuilder передает сигнал RoadBuilder, который в свою очередь расставляет входы в предполагаемый парк. После чего передает сигнал AreaBuilder.

Шаг 3. На текущем этапе разработки модуль AreaBuilder строит только две зоны: зону массовых мероприятий и зону тишины или отдыха.

Шаг 3.1. Генерация начинается с зоны массовых мероприятий от главного входа. Исходя из допустимого процента, который может данная зона

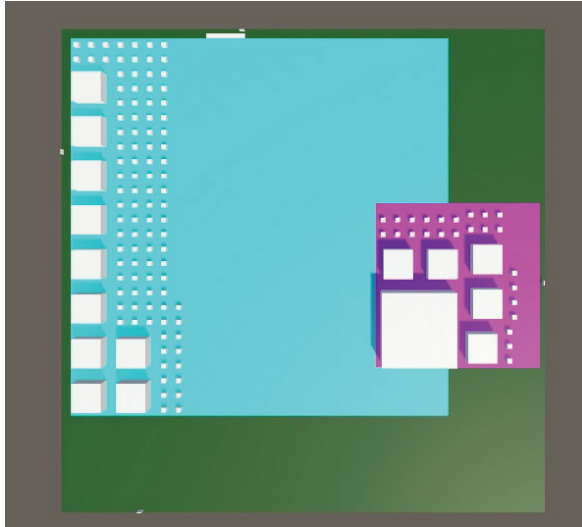


Рис. 5. Построение зон и заполнение их объектами

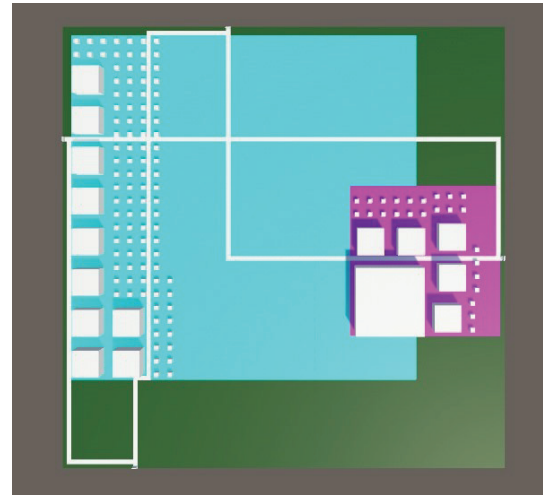


Рис. 6. Пример сгенерированного парка с отмеченными зонами

занять, высчитывается ее площадь и радиус, на который она может распространиться.

Шаг 3.2. Ячейки земли изменяют свой тип на соответствующий.

Шаг 3.3. Генерируются объекты, характерные для этой зоны.

Шаг 3.4. Зона тишины генерируется в самой дальней точке от зоны массовых мероприятий. Дальше повторяются пункты 3.2–3.3 (рис. 5).

Шаг 4. RoadBuilder генерирует тропинки между входами, избегая препятствия с помощью алгоритма кратчайшего пути, а также строит дополнительные объекты, такие как лавочки и мусорные баки.

Шаг 5. Пользователь получает 3-мерный сгенерированный парк (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приведен обзор существующих подходов к генеративному дизайну в области градостроительства. Предложен метод формирования планировки парковой территории на основе технологий генеративного дизайна, а также онтологического инжиниринга. Данный подход позволит сократить время на проектирование новых территорий и оценку существующих проектов.

В дальнейших исследованиях предполагается расширение онтологической модели за счет добавления новых сводов правил, усовершенствование алгоритмов генерации, добавление интерактивности, а также правил формирования городских территорий, реализация предложенных подходов и методов в наиболее популярных программных продуктах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Слиж В.Д., Сальников В.Б. Преимущества генеративного дизайна // Уральские ТИМ чтения. Технологии информационного моделирования зданий и территорий : мат. науч.-практ. Всеросс. конф. 2020. С. 23–27. EDN AIFOUH.

2. Лаушкина А.А., Басов О.О. Применение методов генеративного дизайна с использованием мультимодальных данных в сфере архитектуры и градостроительства // Научный результат. Информационные технологии. 2021. Т. 6. № 3. С. 3–10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1. EDN TPOQSQ.

3. Родионова Ю.В., Пахтаева А.А. Применение технологий искусственного интеллекта для генеративного ландшафтного проектирования // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве : мат. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2020. С. 19. EDN BHAACKG.

4. Айрапетян Н.Г., Зайцев А.А. Повышение эффективности использования земельного участка на ос-

нове генеративного дизайна // Журнал правовых и экономических исследований. 2021. № 3. С. 129–136. DOI: 10.26163/GIEF.2021.47.55.019. EDN UQHSUX.

5. Гаряева В.В., Гаряев А.Н. Обработка информации при автоматизации строительного проектирования с использованием технологии генеративного дизайна // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 4. С. 61–63. EDN RWILTM.

6. Moscovitz O., Barath S. A generative design approach to urban sustainability rating systems during early-stage urban development // CAADRIA Proceedings. 2022. Vol. 1. Pp. 171–180. DOI: 10.52842/conf.caadria.2022.1.171

7. Sun Y., Dogan T. Generative methods for Urban design and rapid solution space exploration. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.06783

8. Kumalasari D., Koeva M.N., Vahdatikhaki F., Petrova-Antonova D., Kuffer M. Generative design for walkable cities: a case study of Sofia // The International

Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. XLVIII-4/W5-2022. Pp. 75–82. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W5-2022-75-2022

9. Wang D., Wu L., Zhang D., Zhou J., Sun L., Fu Y. Human-instructed Deep Hierarchical Generative Learning for Automated Urban Planning. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.00904

10. Yufan M., Reinhard K., Katja K. The Development of Optimization Methods in Generative Urban Design : a Review // SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design. 2020.

11. Koenig R., Miao Y., Aichinger A., Knecht K., Konieva K. Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2020. Vol. 47. Issue 6. Pp. 997–1013. DOI: 10.1177/2399808319894986

12. Koma S., Yamabe Y., Tani A. Research on urban landscape design using the interactive genetic algorithm and 3D images // Visualization in Engineering. 2017. Vol. 5. Issue 1. DOI: 10.1186/s40327-016-0039-5

13. Рейзбих Е.И. Инструменты капитализма на службе у этики умного города // Архитектура и градостроительство, дизайн и изобразительное искусство – 2021: теория и история, художественное творчество и проекты : сб. тр. юбилейной Международ. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию первого выпуска высшей архитектурно-дизайнерской школы на Алтае. 2022. С. 476–482. EDN KSGWTD.

14. Misami Azad F. The Average Best Solution: A Generative Design Tool for Multi-Objective Optimization of Free-Form Diagrid Structures : abstract. Waterloo, Ontario, Canada, 2014.

15. Oksuz E.B. Generating Through Allometry in Architecture: A design Approach for Relational Mor-

phogenesis // Proceedings of XVI Generative Art Conference GA. 2013. Pp. 89–103.

16. Yeh A.G.O., Li X. Simulation of Development Alternatives Using Neural Networks, Cellular Automata, and GIS for Urban Planning // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2003. Vol. 69. Issue 9. Pp. 1043–1052. DOI: 10.14358/pers.69.9.1043

17. Баранова В.А. Генеративный дизайн в проектировании промышленных изделий // Молодость. Интеллект. Инициатива : мат. VIII Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов. 2020. С. 426–427. EDN JPLFCN.

18. Пахтаева А.Я. Применение генетического алгоритма и нейросетевого классификатора для генеративного дизайна паркового ландшафта. Новосибирск, 2020. URL: https://nsu.ru/files/ksnp-2020/dizayn/4_Pakhataeva.pdf

19. Сметанина Н.И. Генеративный дизайн как новый инструмент дизайна и проектирования // Искусство глазами молодых : мат. X Междунар. науч. конф. 2018. С. 76–77. EDN TYKXYU.

20. Божук В.Н. Градостроительная оценка территории при размещении тематических развлекательных парков // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. № 3 (34). С. 109. EDN WIRJYT.

21. Ивликова А.Ю., Чесноков Н.Н., Рудая О.А. Ландшафтная архитектура и градостроительство // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. EDN CPMTHW.

22. Горлов Д.А., Рашевский Н.М., Дятлов К.А., Залинян А.К., Щербаков А.Г. Применение онтологической модели представления знаний в проектировании архитектурных объектов // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2022. № 6 (61). С. 22–25. DOI: 10.55341/ptrbs.2022.61.6.001. EDN MLZNDD.

Поступила в редакцию 24 января 2024 г.

Принята в доработанном виде 29 ноября 2024 г.

Одобрена для публикации 29 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: Николай Михайлович Рашевский — кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; rashevsky.n@gmail.com;

Константин Романович Назаров — аспирант кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; nazkostja@gmail.com;

Вячеслав Андреевич Джагаев — магистрант кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; vyacheslav.dzh@gmail.com;

Артем Геннадьевич Щербаков — ассистент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; artem.shcherbakov01@gmail.com;

Артём Дмитриевич Чикин — ассистент кафедры цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве; Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ); 400005, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, д. 28; artyom.chikin@gmail.com.

Вклад авторов:

Рашевский Н.М. — научное руководство, концепция исследования, участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Назаров К.Р. — концепция исследования, участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста, итоговые выводы.

Джагаев В.А. — участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Щербаков А.Г. — участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста.

Чикин А.Д. — участие в разработке учебных программ и их реализации, написание исходного текста, доработка текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Automation of professional activity affects many spheres of life in modern society. In the field of urban planning and architecture, automated design technologies are developing. One of the leading and young trends, which annually gains momentum and modernizes its capabilities, is generative design. This method of computer-aided design allows specialists to perform tasks in the shortest possible time, demonstrate numerous generated solution options to clients and minimize various engineering risks in project documentation. Generative design simplifies the designer's work by delegating responsibilities to software (SW), thereby increasing the efficiency of the specialist. In tandem with neural network technologies, this method will intellectualize the process of project generation.

Thus, it is necessary to explore the possibilities and prospects of generative technologies and introduce them into urban planning activities to acquire a better level of design solutions.

Generative design is an approach to design based on a set of computational algorithms that select many variants of solving a given problem based on given parameters and select the most optimal results [1].

The generation of a huge set of solutions (specimens) is performed by a computer through mathematical algorithms and machine learning. The result of this process is not one or a few suitable solutions, but many specimens. In this regard, design becomes a study of cause and effect relationships.

There are few domestic studies of generative design and its technologies from the point of view of urban planning practice. This direction is only developing, but theoretical works answer many questions related to the advantages [1] and possibilities of generative design application. In the scientific paper by A.A. Laushkina [2] the existing methods and algorithms of generative design in urban planning taking into account changes in the characteristics of the environment are considered. Based on the analysis of existing solutions, various limitations faced by developers were identified, the main of which is the need to make changes in user mode.

Practical research also takes place in the scientific works of domestic scientists. For example, the project

of A.Y. Pakhtaeva and Y.V. Rodionova [3] developed a generative design method for landscape design, which forms a technical task for developers of artificial intelligence systems. The idea is that based on certain factors influencing generative decisions, the system models regular and natural processes by describing them using a set of rules in the computer-aided design system. The method makes it possible to form a pedestrian-trail network of the park on the basis of determining the points of attraction of residents and building a predictable projection of pedestrian movement, as well as using machine learning to carry out aesthetic selection of objects. The principles of innovative approach in the processes of the pre-project stage are revealed in the article by N.G. Hayrapetyan and A.A. Zaitsev [4], namely, the analysis of the most effective use of the land plot for future development with the help of generative design. The mentioned approach makes it possible to obtain the maximum economic potential of territories, to increase the efficiency of the process of development of preliminary due diligence at the early stages of the project.

In the work of V.V. Garyaeva and A.N. Garyaev [5] present the results of analysis and practical implementation of approaches to information processing when automating construction design using generative design technology. The developed method allowed using certain software products to automatically create a set of solutions for the task of conceptual building modelling, thereby reducing the time spent by a specialist on the development of design documentation.

Foreign scientists have made a huge contribution to the innovative development of the generative design industry in terms of its implementation in practical urban planning activities. We can mention the works of the following researchers: O. Moskovitz, Sheini Barat [6], Yue Sun [7], D. Kumalasari [8], Dongjie Wang [9], Reinhard Koenig [10, 11], Seiki Koma, Yuichiro Yamabe [12].

E.I. Reisbich in his article [13] suggests using generative design to test any projects before their implementation, namely, what impact they will have on the environment and what problems can be encountered during implementation. In this paper, the author talks about the use of generative design tools in the open

source programme Grasshopper [14]. E.B. Oxuse proposes to apply generative design and allometry to create more efficient forms at the city scale [15]. A. Yeh and K. Lee raise the topic of combining neural network methods and generative design as a proposed future development of technology [16].

Reinhard Koenig [11] described the successful application of the Evolutionary Optimization Algorithm (EMO) to create multiple planning structures such as street networks, neighbourhoods, land parcels and buildings. The use of the data structure is implemented in Grasshopper software for Rhino3D as part of a flexible, modular and extensible optimization system that can be applied to a variety of urban design problems and is able to reconcile potentially conflicting design goals in a semi-automatic manner. Seiki Koma and Yuichiro Yamabe [12], in their experimental study, proposed an urban landscape design optimization system using interactive genetic algorithm (IGA). Using this method, the researchers determined the optimal way to incorporate citizens' opinions of comfortable urban environment into computer-aided design technology for street frontage evaluation.

Using conventional tools, a huge amount of time will be spent designing for just one layout option, of which there are often several required.

This is exactly where generative design can help. Thanks to it, the designer can provide different variants of layouts in a shorter period of time, spending much less resources and time [17, 18]. At the same time, he does not need to know all the rules and constraints by which the drawing is formed, because all this will already be taken into account during generation. As N.I. Smetanina said: "Generative design takes into account and analyses a large amount of data when working, taking into account many factors and selecting the most important ones" [19]. This method will simpli-

fy the work of many architects, raise their productivity and quality of work to a new level.

MATERIALS AND METHODS

At the stage of preparation of the landscaping project, rough rules for the location of the various park facilities are defined and the park area is divided into zones. The placement of these zones is determined by their purpose, the location of the main entrance, the location of the park, the topography of the territory, the presence of water bodies and the composition of green spaces.

The areas of mass spectator events and physical fitness facilities, which attract many visitors, are placed in the area of the main entrance.

The main entrance to the park shall be designed with regard to the supplying thoroughfares and streets. In addition, there should be secondary entrances from adjacent streets and utility entrances. The children's area is located away from the entertainment area and physical education facilities.

The quiet recreation zone is as far as possible from the source of noise and is located in the most picturesque part of the park, among plantations, near water bodies. It should include areas with rugged terrain and, if possible, be adjacent to natural massifs.

The main background of the park is green spaces, so all the buildings in the park should be integrated into the greenery and harmoniously combine with each other, complementing the beauty of each other, creating the impression of a single harmonious ensemble.

The main means of artistic composition of the park are green spaces, which change over time. Therefore, the architectural and planning composition of parks should take into account their development over a number of years.

Location, composition and landscaping of multifunctional park areas¹

Types of zones*	% of total park area	Accommodation as part of the park	Indicative composition**
1. Public events zone	5–15	Near the main entrance	Security point, theatre, dance, film and variety venues, amusement rides, rental facilities, catering and retail outlets, toilets, fields for festivals, mass games, etc.
2. Quiet recreation area	75–80	It shall be located in the least frequented places. It should be separated by decorative green plantings from the areas of mass, physical culture, recreational, cultural and educational events	Placement of structures shall not be permitted. Recreational areas
3. Cultural and educational events zone	3–8	Allocation in a separate zone or free placement of capital and non-capital construction objects on the territory	Exhibition pavilions, catering and retail establishments, reading pavilions, amateur activity rooms, lecture halls, toilets

¹ CP 475.1325800.2020. Parks. Rules for urban planning design and landscaping. 2020.

End of the Table

Types of zones*	% of total park area	Accommodation as part of the park	Indicative composition**
4. Fitness and recreational area	10–20	It is recommended to combine into a single complex	Sports and recreational facilities: volleyball, basketball, badminton, table tennis courts, multifunctional sports grounds, sports grounds for extreme sports, skating rink, recreation grounds, rentals, catering and retail outlets, toilets
5. Children’s recreation area	5–10	Detached, at a slight distance from the park entrances	Children’s playgrounds, recreation grounds, amusement rides (children’s)
6. Administrative and economic zone	2–7	Separately	Service areas, administrative buildings, autonomous exit to the adjacent street, car parks for vehicles of low mobility groups, security point, ticket office, playground and sports equipment rental, picnic equipment rental, information boards, places for cleaning equipment, toilets, dog walking areas

Note: * — depending on local conditions in the park it is allowed to dominate one or two zones while reducing the area of other zones (while maintaining the minimum area of the quiet recreation zone); ** — placement of objects necessary for servicing holidaymakers and related to the natural specifics of the park environment with maximum preservation of the natural landscape.

Approximate data on the location, composition and landscaping of mixed-use park areas are shown in the table below.

Based on the analysis, the authors propose a method of forming the layout of a park area using generative design algorithms. The data model of the subject area, which includes: rules, constraints, recommendations, etc., presented in the form of an ontological model, as well as patterns and approaches to the location of objects identified by neural network algorithms.

Method of generating park infrastructure

Step 1: Read the settings files.

Before starting the generation, this algorithm must read the settings file, if any, and/or additional parameters entered by the user: the presence of playgrounds, the size of roads, the distance between benches (or other objects), etc. It is mandatory to load a file containing an OWL ontology with recorded rules and regulations that govern the correct placement of objects in the park [20–22]. Fig. 1 shows the ontological model of CP 475.1325800.2020 “Parks. Rules of urban planning design and landscaping”, Fig. 2 shows a detailed fragment.

Step 2: Grid construction.

Based on the parameters, a grid of appropriate dimensionality is constructed. The grid should consist of cells, each of which stores certain information: the possibility of building on it, the object above this cell and the type of zone to which this cell belongs. The following classes have been developed for the operation of the algorithm of uniform filling of the grid of a given area:

1. Ground class, with this class you can create instances of a ground cell. This object will be able to store the following data in it:

- if it’s available for construction;
- what type of object is above it;
- which zone it belongs to;

• what material is needed to colour the area to which the object belongs. In the future it will be used to apply textures.

2. The GronudBuilder class is the main class of this module. It can be used to run the algorithm for building ground cells, and it also stores the ground mesh.

Algorithm process:

- obtaining dimensionality — length and width of the grid;
- virtual grid creation — a grid of the obtained dimensionality is created, each cell of which corresponds to an instance of the Ground class;
- model building — a model of the land for the park is built, based on data that is stored in a virtual grid.

Step 3: Calculating the zones.

After grid construction, the free A-squares are calculated and divided into zones.

The algorithm for calculating the area of each zone, constructing these zones and placing objects within them is the following sequence of actions:

1. The algorithm receives a list of zones to generate.
2. Area calculation takes place depending on the total area. The area of the zone is calculated according to the formula:

$$S_z = \frac{p \cdot 100}{S},$$

(1)

where S_z is the area of the zone; p is its percentage of the total area; S is the total built-up area.

3. Based on the generation order, the generation of each zone starts, following the rules defined by the user (Fig. 3). Generation of one zone is performed as follows:

3.1. The centre point of the zone is calculated relative to the point of reference. That is, the zone must be within the park boundaries with its entire area (intersection with other zones is allowed). The point of refer-

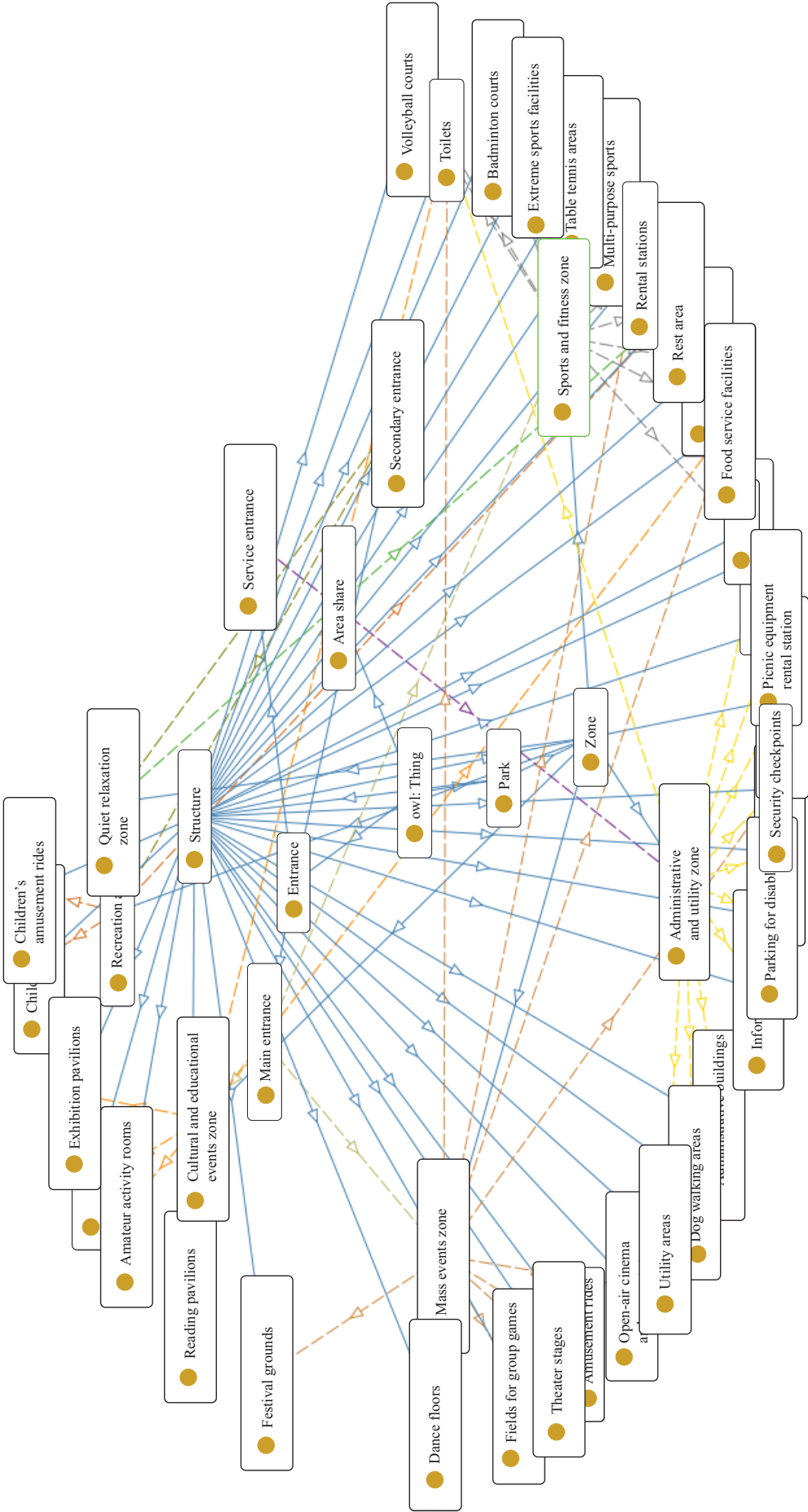


Fig. 1. OWL-ontology of CP 475.1325800.2020

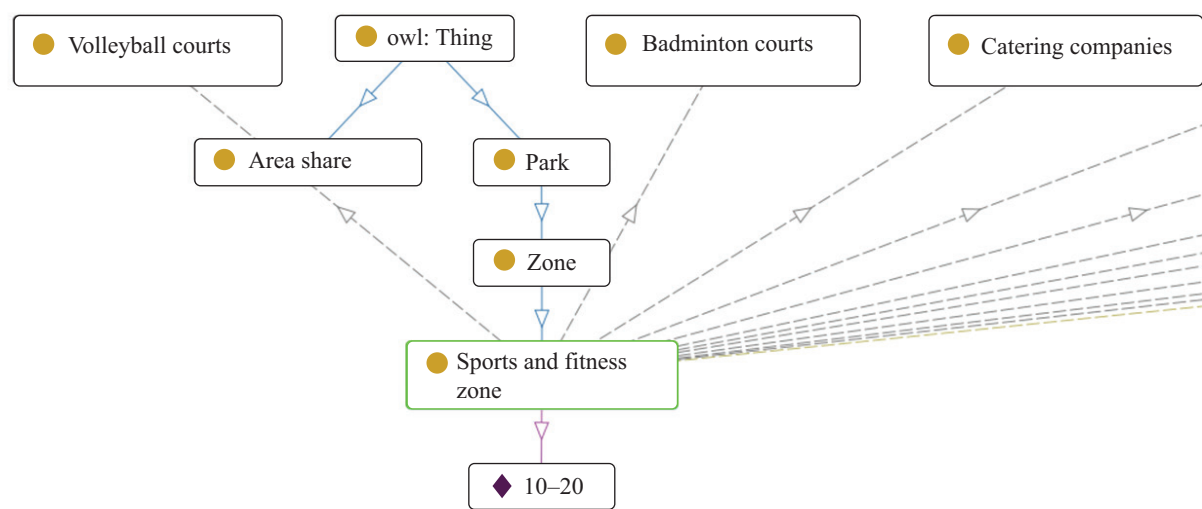
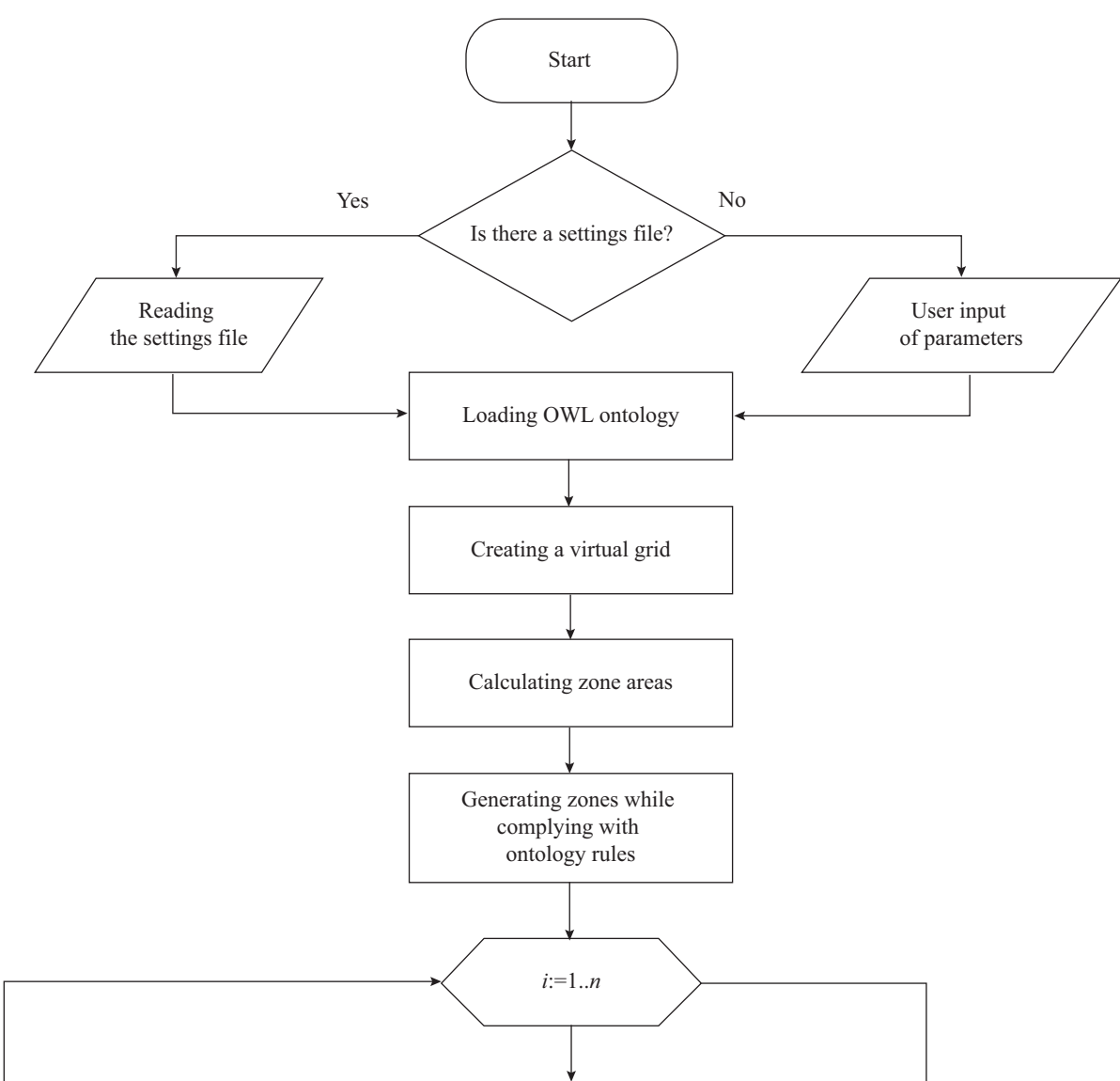


Fig. 2. Detailed fragment of OWL-ontology CP 475.1325800.2020



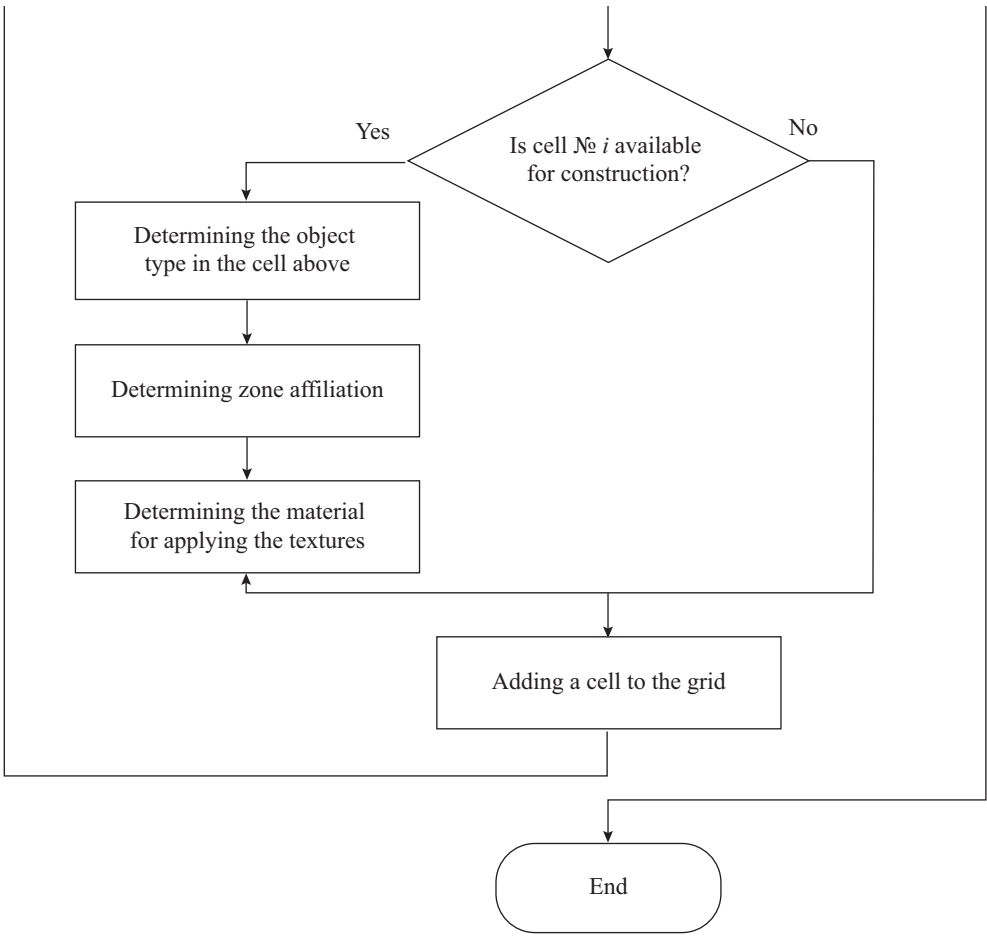


Fig. 3. Zone generation with adding cells to the grid

ence can be an obvious object, as in the case of the mass event zone, where the point of reference can be the main entrance to the park, if there is one.

3.2. After finding the centre point, the coordinates of the leftmost lower and rightmost upper cells are calculated to build the zone rectangle.

3.3. A rectangular zone is constructed from the coordinates.

3.4. Objects are placed in this zone. According to the following principle: highest priority → largest size.

3.5. Move to the next zone and start from point 3.1. These zones can be filled with different objects of the same type and surrounded by walkways. For example, there could be a commercial zone with food sales or amusement rides; a green zone with trees, flowerbeds and fountains, etc.

Step 4: Reading the entry points.

The algorithm reads the park entrances entered by the user and generates routes between them in one of several ways:

1. Clockwise — generating a road from one entrance to the next nearest clockwise, ending up with a road almost around the perimeter of the park.

2. Web — generation of a road from each entrance to each entrance. Suppose there are 4 entrances to the future park, respectively each entrance will have

a road to each of the entrances. In total, each of these entrances should have three roads to the other entrances.

3. Combined — a combination of the two previous methods.

The algorithm of route construction is the following sequence of actions:

1. The start cell is defined as one of the entrances to the park, and the end cell as any other.

2. The algorithm receives a list of available cells for moving cells. The available cells are those that are adjacent to the current cell and on which it is possible to build objects.

3. For all cells found, the current cell is written as the previous cell.

4. Next, the cost of each cell is calculated based on its cost and the distance to the end point. The distance is calculated according to the formula:

$$D = |A_x - B_x| + |A_y - B_y|, \tag{2}$$

where A is the current cell; B is the destination cell.

If there is a possibility of travelling diagonally, the formula is more suitable:

$$D = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}. \tag{3}$$

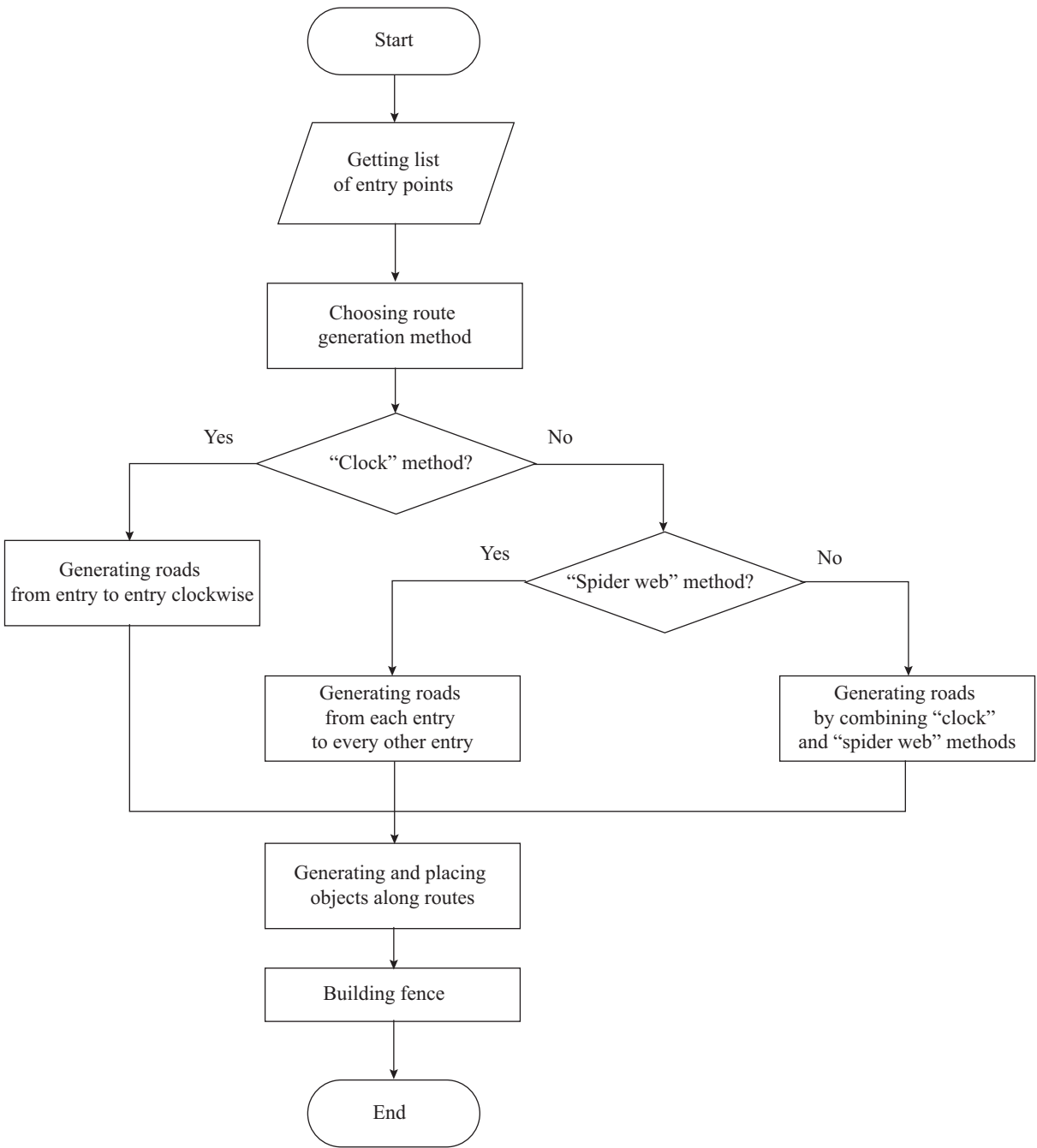


Fig. 4. Construction of road routes and location of objects

The cost is calculated using the following formula:

$$Z = D - (A_c + B_c), \tag{4}$$

where D is the distance from the current cell to the destination cell; A is current cell; B is the neighbouring free cell.

- 5. The value of all calculated cells is viewed, even if that cell was in the list of investigated cells.
- 6. If the cost of the one under consideration is more favourable than others, it becomes the current one, even if it has already been investigated, but then its previous cell is overwritten.
- 7. If this was the endpoint, the algorithm terminates, if not, it repeats steps 2–5.

- 8. As a result, we have a path from the final cell from the previous cells to the initial cell, along which the road is built.
- Based on the selected method, a road is built, and at the same time “simple” objects are generated, such as benches with bins, which should stand near the road (Fig. 4). They can also be green space objects, such as trees, flowerbeds or fountains. Each generated object is assumed to occupy either the whole A -square or some part of it, so that another object can occupy the free space.
- Step 5: Building a fence.
- After the generation is complete, we need to return to F -squares, namely those that contain parts of the polygon plane. Based on their data, a fence should be gener-

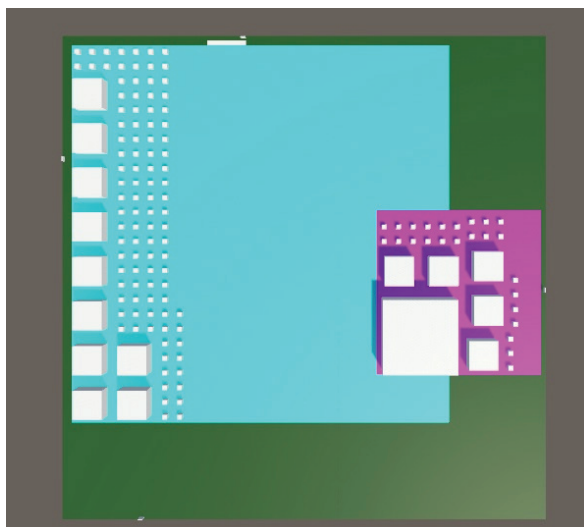


Fig. 5. Building zones and filling them with objects

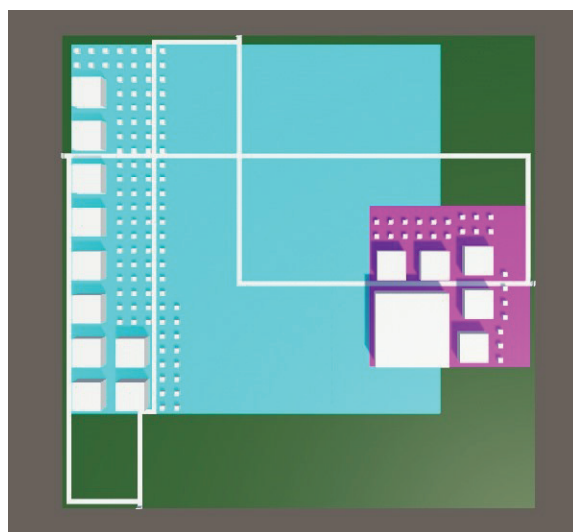


Fig. 6. Example of generated park with marked zones

ated along the boundaries of the polygon plane, except for the entry points (they are also F -squares) there should be gates in them. It is assumed that there should be different variations of fences, which can also be chosen by the user.

RESEARCH RESULTS

The implementation of the method is shown using the Unity cross-platform computer game development environment. This solution at the current stage has several main modules that are responsible for certain parts of the algorithm: GroundBuilder, AreaBuilder and

RoadBuilder. As input data, the user sets parameters inside the objects that were discussed above. The output data is the generated layout inside the Unity interface.

Step 1: The programme reads data from all modules and starts the GroundBuilder module. This module generates a ground plane divided into cells. Each cell has its own parameters. The main ones are: building permit, zone type and information about the type of object above it.

Step 2: After creating the plane, GroundBuilder sends a signal to RoadBuilder, which in turn places the entrances to the proposed park. After that it sends a signal to the AreaBuilder.

Step 3: At the current stage of development, the AreaBuilder module builds only two zones: Mass Event Zone and the Quiet or Rest Zone.

Step 3.1. Generation starts with the mass event zone from the main entrance. Based on the allowable percentage that this zone can occupy, its area and the radius to which it can extend are calculated.

Step 3.2. The ground cells change their type to the appropriate one.

Step 3.3. Objects characteristic for this zone are generated.

Step 3.4. The silence zone is generated at the furthest point from the mass events zone. Steps 3.2–3.3 are repeated (Fig. 5).

Step 4: RoadBuilder generates paths between entrances, avoiding obstacles using a shortest path algorithm, and builds additional objects such as benches and rubbish bins.

Step 5: The user gets the 3-dimensional generated park (Fig. 6).

CONCLUSION AND DISCUSSION

A review of existing approaches to generative design in the field of urban planning is given. The method of park area layout formation based on generative design technologies and ontological engineering is proposed. This approach will reduce the time for designing new territories and evaluating existing projects.

In further research it is supposed to expand the ontological model by adding new sets of rules, improve the generation algorithms, add interactivity, as well as rules for the formation of urban areas, and implement the proposed approaches and methods in the most popular software products.

REFERENCES

1. Slizh V.D., Salnikov V.B. Advantages of generative design. Ural TIM readings. *Technologies of information modeling of buildings and territories : materials of the scientific and practical All-Russian conference*. 2020; 23-27. EDN AIFOUH. (rus.).
2. Laushkina A.A., Basov O.O. Application of generative design methods using multimodal data in the field of architecture and urban planning. *Scientific Result. Information Technologies*. 2021; 6(3):3-10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1. EDN TPOQSQ. (rus.).

3. Rodionova Yu.V., Pakhtaeva A.Ya. Application of artificial intelligence technologies for generative landscape design. *New information technologies in architecture and construction : materials of the scientific and practical conference with international participation*. 2020; 19. EDN BHAACKG. (rus.).
4. Ayrapetyan N., Zaitsev A. Enhancing land plot use efficiency through generative design. *Journal of Legal and Economic Studies*. 2021; 3:129-136. DOI: 10.26163/GIEF.2021.47.55.019. EDN UQHSUX. (rus.).
5. Garyaeva V.V., Garyaev A.N. Information processing during building design automation using generative design technology. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2022; 4:61-63. EDN RWILTM. (rus.).
6. Moscovitz O., Barath S. A Generative Design Approach to Urban Sustainability Rating Systems During Early-Stage Urban Development. *CAADRIA Proceedings*. 2022; 1:171-180. DOI: 10.52842/conf.caadria.2022.1.171
7. Sun Y., Dogan T. *Generative methods for Urban design and rapid solution space exploration*. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.06783
8. Kumalasari D., Koeva M.N., Vahdatikhaki F., Petrova-Antonova D., Kuffer M. Generative design for walkable cities: a case study of Sofia. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2022; XLVIII-4/W5-2022:75-82. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W5-2022-75-2022
9. Wang D., Wu L., Zhang D., Zhou J., Sun L., Fu Y. *Human-instructed Deep Hierarchical Generative Learning for Automated Urban Planning*. 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.00904
10. Yufan M., Reinhard K., Katja K. The Development of Optimization Methods in Generative Urban Design : A Review. *SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design*. 2020.
11. Koenig R., Miao Y., Aichinger A., Knecht K., Konieva K. Integrating urban analysis, generative design, and evolutionary optimization for solving urban design problems. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2020; 47(6):997-1013. DOI: 10.1177/2399808319894986
12. Koma S., Yamabe Y., Tani A. Research on urban landscape design using the interactive genetic algorithm and 3D images. *Visualization in Engineering*. 2017; 5(1). DOI: 10.1186/s40327-016-0039-5
13. Reyzbikh E.I. Tools of capitalism in the service of smart city ethics. *Architecture and urban planning, design and fine arts – 2021: theory and history, artistic creativity and projects : collection of works of the jubilee International scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the first graduation of the higher architectural and design school in Altai*. 2022; 476-482. EDN KSGWTD. (rus.).
14. Misami Azad F. *The Average Best Solution: A Generative Design Tool for Multi-Objective Optimization of Free-Form Diagrid Structures : abstract*. Waterloo, Ontario, Canada, 2014.
15. Oksuz E.B. Generating Through Allometry in Architecture: A design Approach for Relational Morphogenesis. *Proceedings of XVI Generative Art Conference GA*. 2013; 89-103.
16. Yeh A.G.O., Li X. Simulation of Development Alternatives Using Neural Networks, Cellular Automata, and GIS for Urban Planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2003; 69(9):1043-1052. DOI: 10.14358/pers.69.9.1043
17. Baranova V.A. Generative design in the design of industrial products. Youth. Intelligence. *Initiative : proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference of Students and Masters*. 2020; 426-427. EDN JPLFCN. (rus.).
18. Pakhtaeva A.Ya. *Application of a genetic algorithm and a neural network classifier for generative design of a park landscape*. Novosibirsk, 2020. URL: https://nsu.ru/files/ksnp-2020/dizayn/4_Pakhtaeva.pdf (rus.).
19. Smetanina N.I. Generative design as a new tool for design and engineering. *Art through the eyes of the young : proceedings of the X International Scientific Conference*. 2018; 76-77. EDN TYKXYU. (rus.).
20. Bozhuk V.N. Urban planning assessment of the area to define theme parks location. *Internet journal Naukovedenie*. 2016; 8(3):(34):109. EDN WIRJYT. (rus.).
21. Ivlyakova A.Yu., Chesnokov N.N., Rudaya O.O. A. Landscape architecture and urban planning. *Science and Education*. 2021; 4(1). EDN CPMTHW. (rus.).
22. Gorlov D.A., Rashevsky N.M., Dyatlov K.A., Zalinyan A.K., Shcherbakov A.G. Application of the ontological model of knowledge representation in the design of architectural objects. Natural and Technogenic Risks. *Safety of Structures*. 2022; 6(61):22-25. DOI: 10.55341/ptrbs.2022.61.6.001. EDN MLZNDD. (rus.).

Received January 24, 2024.

Adopted in revised form on November 29, 2024.

Approved for publication on January 29, 2025.

BIONOTES: Nikolay M. Rashevsky — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; rashevsky.n@gmail.com;

Konstantin R. Nazarov — postgraduate student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; nazkostja@gmail.com;

Vyacheslav A. Dzhagaev — master's student of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; vyacheslav.dzh@gmail.com;

Artem G. Shcherbakov — assistant of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; artem.shcherbakov01@gmail.com;

Artyom D. Chikin — assistant of the Department of Digital Technologies in Urbanism, Architecture and Construction; **Volgograd State Technical University (VSTU)**; 28 Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russian Federation; artyom.chikin@gmail.com.

Authors' contribution:

Nikolay M. Rashevsky — scientific guidance, research concept, participation in the development of training programs and their implementation, source text writing.

Konstantin R. Nazarov — research concept, participation in the development of training programs and their implementation, source text writing, final conclusions.

Vyacheslav A. Dzhagaev — participation in curriculum development and implementation, source text writing.

Artem G. Shcherbakov — participation in curriculum development and implementation, source text writing.

Artyom D. Chikin — participation in curriculum development and implementation, source text writing, revision of the text.

The authors declare no conflict of interest.