

Архитектурные решения размещения подконтрольных объектов инфраструктуры с использованием ГИС-технологий и методов искусственного интеллекта

А. Г. Глущенко[✉], И. И. Холод

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

[✉] artemglushenko98@gmail.com

Аннотация. Предлагается подход к построению архитектуры расположения инфраструктурных объектов, основанный на интеграции качественного и количественного анализа признаков объектов с использованием ГИС-технологий и методов искусственного интеллекта. Подход позволяет повысить объективность и точность оценки состояния инфраструктуры; обеспечивает наглядное представление результатов; информирование о потенциальном риске сбоев и необходимости обновления или исправления ошибок, регламенте восстановления, оценке производительности, оптимизации трафика сети. Для оценки возможности территориального расположения объектов инфраструктуры используются ГИС-технологии и средства оценки территориальных, социальных, социально-экономических факторов. Результаты анализа построенной архитектуры расположения инфраструктурных объектов для повышения наглядности могут быть представлены в виде интерактивных тематических карт с использованием перцепционно линейных цветовых палитр, количественных метрик, синтеза сценариев использования инфраструктурных объектов. Модули визуализации дополнительно допускают формирование обоснованных рекомендаций по выбору локаций инфраструктурных объектов. Разработанная модель размещения инфраструктурных объектов и методика анализа архитектур расположения объектов учитывают стратегические приоритеты эксплуатирующей организации, позволяют ранжировать потенциальные точки размещения объектов по качественному и количественному анализу признаков объектов, демонстрируют высокую степень практической применимости и могут быть использованы для оптимизации размещения объектов инфраструктуры.

Ключевые слова: информационные системы, системный анализ, геопространственный анализ, обработка информации, искусственный интеллект, визуализация данных, поддержка принятия решений

Для цитирования: Глущенко А. Г., Холод И. И. Архитектурные решения размещения подконтрольных объектов инфраструктуры с использованием ГИС-технологий и методов искусственного интеллекта // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2026. Т. 19, № 4. С. 63–77. doi: 10.32603/2071-8985-2026-19-4-63-77.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Architectural Solutions for the Placement of Controlled Infrastructure Facilities Using GIS Technologies and Artificial Intelligence Methods

A. G. Glushchenko✉, I. I. Kholod

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ artemglushenko98@gmail.com

Abstract. The article proposes an approach to building the architecture of the location of infrastructure facilities based on the integration of qualitative and quantitative analysis of features of objects using GIS technologies and artificial intelligence methods. The approach makes it possible to increase the objectivity and accuracy of assessing the state of the infrastructure; provides a visual representation of the results; informing about the potential risk of failures and the need for updating or correcting errors, recovery procedures, performance assessment; network traffic optimization, data warehouses and other resources depending on their demand. GIS technologies and tools for assessing territorial, social, and socio-economic factors are used to assess the feasibility of the territorial location of infrastructure facilities. The results of the analysis of the constructed architecture of the location of infrastructural objects to increase visibility can be presented in the form of interactive thematic maps using perceptually linear color palettes, quantitative metrics, and the synthesis of scenarios for the use of infrastructural objects. Visualization modules additionally allow for the formation of sound recommendations on the choice of locations of infrastructure facilities. The developed model of the location of infrastructure facilities and the methodology for analyzing the architectures of the location of facilities take into account the strategic priorities of the operating organization, make it possible to rank potential locations of facilities by qualitative and quantitative analysis of the signs of facilities, demonstrate a high degree of practical applicability and can be used to optimize the location of infrastructure facilities.

Keywords: information systems, system analysis, geospatial analysis, information processing, artificial intelligence, data visualization, decision support

For citation: Glushchenko A. G., Kholod I. I. Architectural Solutions for the Placement of Controlled Infrastructure Facilities Using GIS Technologies and Artificial Intelligence Methods // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2026. Vol. 19, no. 4. P. 63–77. doi: 10.32603/2071-8985-2026-19-4-63-77.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interests.

Актуальность. Успехи в области информационных и коммуникационных технологий позволяют создавать системы с принципиально новыми функциональными возможностями применения и технологическими решениями проектирования и разработки. Спрос потребителей и предложения разработчиков информационных систем предполагают использование высокотехнологичных достижений современного информационного общества. Технологии информатизации и цифровизации позволяют оперативно продвигать новые концепции и парадигмы проектирования информационно-ориентированных систем в сферу производства и потребления. Возрастает значимость в конкретизации информационных процессов описания и применения объектов структур производства, потребления, управления. Запрос на максимальное использование специфики объектов исследования, производства и по-

требления поддерживается способностью потребителя и пользователя применять высокотехнологичные технологии реализации информационных процессов предметно-ориентированных систем и инфраструктур. При грамотном построении сервисных и коммуникативных средств поддержки предметно-ориентированных инфраструктур пользователю становятся доступными новейшие достижения в развитии информационных технологий.

В статье рассматривается задача размещения объектов инфраструктуры массового обслуживания в некотором пространстве территорий, имеющем возможность его описания с точки зрения запросов пользователя инфраструктуры. Пользователь формулирует набор признаков, которые он считает существенными для этой инфраструктуры, разработчик проектирует структуру и доказательно предъявляет соответствие или непротиворечивость требованиям заказчика.

Современная картография территорий размещения объектов инфраструктуры позволяет совместить решение функциональных задач инфраструктуры с характеристиками конкретных территорий, необходимо только обеспечить сопрягаемость со средствами ГИС-технологий. Преимущество ГИС-технологий состоит в наличии хорошо сопрягаемых средств визуализации, аналитики и логистики. Неотъемлемое качество информационных систем и геоинформационных систем (ГИС) – их безопасность, что часто выступает ключевым критерием при выборе разработки с научно обоснованным подходом в оценке рисков размещения объектов инфраструктуры на определенной территории.

В статье предусмотрен риск-ориентированный подход при формировании архитектуры размещения объектов инфраструктуры. Особенно остро эта задача может стоять в условиях урбанизированных территорий, где характеристики социальной и производственной среды могут быть сопряжены с рисками полноценной эксплуатации объектов инфраструктуры.

Средства ГИС-технологий могут иметь существенное значение для учета транспортной доступности/недоступности территорий, для больших инфраструктур транспортный компонент может быть особенно важен.

Многофакторный принцип описания территорий и состояния инфраструктуры для размещения объектов требует сохранять как всестороннее описание и оценку однородных подборок признаков инфраструктуры, ее объектов и территории размещения, так и взаимосвязанное и интегральное заключение по воздействию разнородных факторов на инфраструктуру и территорию.

ГИС-технологии как основа для анализа территориальных факторов. Геоинформационные системы сегодня играют ключевую роль в анализе территориальных факторов, обеспечивая возможность интеграции разнородных данных для пространственного моделирования. Такие данные могут включать демографические параметры, транспортную доступность, физико-географические и социально-экономические характеристики. Архитектура современных ГИС-платформ позволяет обрабатывать, визуализировать и анализировать эти данные на единой пространственной основе, что делает их незаменимым инструментом в сферах городского планирования, страхования, промышленного сектора и государственного управления.

Современные ГИС-платформы строятся на многоуровневой архитектуре, обеспечивающей сбор, хранение, обработку и визуализацию пространственных данных. Основные компоненты таких систем – клиентский интерфейс (приложения web- или desktop), сервер приложений, база данных (пространственные СУБД), а также модули аналитики и геообработки. Интеграция разнородных данных, таких как демографическая структура населения и транспортная доступность, требует использования специализированных ETL-процессов (Extract, Transform, Load), позволяющих преобразовывать данные из различных источников в унифицированное пространственное представление.

Для хранения и обработки данных используется пространственная СУБД, например PostgreSQL с расширением PostGIS, Microsoft SQL Server Spatial или Oracle Spatial. Эти системы позволяют выполнять сложные запросы к пространственным данным, включая операции буферизации, пересечения геометрий и пространственной агрегации. Например, при оценке риска размещения инфраструктурных объектов в определенном районе можно объединить данные о частоте правонарушений в радиусе 500 м с характеристиками пешеходного потока и транспортной доступности объекта.

Современное состояние исследований. На сегодняшний день в научной и практической сфере применяются различные подходы к оценке рисков. В числе наиболее распространенных – методы FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), Bowtie-анализ, а также сценарное моделирование, основанное на экспертизе и экспертных оценках.

Однако данные методы имеют ряд ограничений: субъективность оценок, отсутствие учета пространственной структуры рисков и недостаточная интеграция с реальными данными об актуальном состоянии территории и инфраструктуре. Для повышения объективности и точности прогнозов все чаще применяются ГИС с возможностью визуализировать и анализировать территориальные риски на основе интеграции разнородных данных.

Современные исследования демонстрируют успешное применение ГИС-технологий в оценке рисков в таких сферах, как управление чрезвычайными ситуациями, логистика, страхование и городское планирование. ГИС опирается на способность определять местоположение на поверхности Земли с использованием небольшого числа

четко определенных и совместимых систем, из которых широта и долготы, безусловно, наиболее универсальны. Распространение добровольной географической информации (ДГИ) знаменует собой фундаментальный сдвиг в способах создания и распространения географических данных, открывая возможности для новых форм пространственного анализа и участия общественности [1].

Кроме того, в научной литературе все большее внимание уделяется комбинированным подходам, сочетающим качественный и количественный анализ. Такие методы позволяют учитывать не только вероятность возникновения риска, но и его потенциальное воздействие, что особенно важно при принятии решений в условиях неопределенности.

Предлагаемый подход. В данной статье предлагается комбинированный подход к оценке рисков расположения инфраструктурных объектов, основанный на интеграции качественного и количественного анализа с использованием ГИС-технологий и методов искусственного интеллекта. Предлагаемая методика включает следующие ключевые этапы:

1. Идентификация факторов риска с выявлением ключевых территориальных и инфраструктурных факторов, влияющих на работоспособность объектов (транспортная доступность, плотность населения, климатические, экологические, социально-экономические показатели).

2. Объединение разнородных данных (транспортная сеть, демография, экология) в единой геопространственной системе с последующей обработкой и нормализацией.

3. Применение методов классификации и стратификации данных (head/tailbreaks, Fisher–Jenks) для выявления зон с повышенным уровнем риска.

4. Построение интерактивных тематических карт с использованием перцепционно линейных цветовых палитр и регулируемой прозрачностью слоев для повышения наглядности и доступности информации.

5. Синтез качественных сценариев (экспертные оценки, возможные угрозы) с количественными метриками (вероятность, ущерб, частота социально-экономических происшествий) для формирования обобщенного индекса риска.

Предложенный подход позволяет повысить объективность и точность оценки рисков, обеспечивает наглядное представление результатов и может быть внедрен в практику промышленного сектора, страховых компаний и муниципального планирования.

Комбинированный подход к оценке рисков: интеграция качественных и количественных методов. Комбинированный метод оценки рисков предполагает интеграцию сценарного моделирования (качественный аспект) с вероятностными расчетами (количественный аспект). Сценарный анализ позволяет учитывать неявные зависимости, нетипичные события и качественные изменения среды, которые могут быть недооценены при использовании только формальных моделей. ГИС предоставляет платформу для интеграции различных пространственных данных, что позволяет проводить комплексный анализ для принятия решений в области городского планирования, оценки рисков и управления инфраструктурой [2]. В свою очередь, вероятностные подходы обеспечивают строгость выводов, позволяя вычислять ожидаемые значения отказов работоспособности, другие метрики, важные для принятия решений в условиях неопределенности. Такая интеграция особенно эффективна при анализе территориальных и социально-экономических факторов, когда необходимо учитывать географическую специфику, плотность населения, транспортную доступность и другие пространственные переменные.

Для преодоления этих ограничений предлагается использовать комбинированный подход, в котором качественные методы применяются для идентификации ключевых угроз и построения сценариев, а количественные – для их параметризации и верификации. Примером успешного внедрения такого подхода может служить область, где сценарии землетрясений разрабатываются на основе исторических данных, геологической информации и экспертизы, а затем оцениваются вероятностными методами – такими, как вероятностная оценка сейсмической опасности (Probabilistic Seismic Hazard Assessment, PSHA). Многокритериальный анализ решений (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) в ГИС позволяет систематически оценивать альтернативы, комбинируя количественные и качественные критерии, что способствует принятию прозрачных и рациональных решений [3], [4]. Эта методология применительно к поставленной задаче формирования архитектуры размещения объектов инфраструктуры, позволяет не только определить потенциальные зоны риска размещения объектов, но и рассчитать вероятности достижения различных уровней интенсивности землетрясений за заданный период времени, что критически важно для страхования и инвестиционного планирования в регионах с повышенной сейсмической ак-

тивностью. Методы сейсмического анализа рисков применяются для идентификации ключевых угроз и построения сценариев для поставленной предметной задачи [2], [5], [6].

Методы искусственного интеллекта, в том числе нейронные сети и экспертные системы, расширяют возможности анализа сложных пространственных закономерностей и прогнозирования результатов в географическом контексте [7]. Исследование, проведенное в Италии и Франции, показало применимость метода и комбинированного подхода при перевозке опасных грузов. Требовалось учитывать частоту аварий и их последствия, включая социально-экономические и экологические издержки. Подобные комплексные оценки последствий стали стандартом при анализе крупных инцидентов [2], [8]. В данном случае была использована матрица рисков, основанная на сочетании качественной классификации типа угрозы и количественной оценки вероятности и воздействия.

ГИС – важнейший инструмент для специалистов по городскому и региональному планированию, позволяющий анализировать землепользование, транспортные сети и размещение инфраструктуры с помощью визуализации пространственных данных. Сочетание ГИС и искусственного интеллекта позволяет автоматически составлять карты рисков и проводить предиктивную аналитику, повышая эффективность мониторинга и управления инфраструктурой [9], [10].

Особое значение имеет учет территориальных факторов, таких как уровень развития инфраструктуры, социальная уязвимость и климатические условия, которые могут существенно влиять, например, на инфраструктуру торговли. В этом случае геостатистические методы – такие, как kriging или head/tail breaks, могут быть полезны для анализа пространственной вариации рисков и создания карт рискованной нагрузки/недогрузки инфраструктуры [9].

Также следует отметить, что комбинированный подход позволяет лучше управлять неопределенностью, которая неизбежна в любом процессе оценки рисков. Неопределенность может быть разделена на две категории: epistemic (связанная с недостатком знаний) и aleatory (врожденная случайность процесса) [7]. Качественные методы помогают выявлять источники epistemic-неопределенности, тогда как вероятностные подходы фокусируются на количественной оценке aleatory-неопределенности. Интеграция этих двух

типов анализа позволяет создать более надежную модель риска, учитывающую как известные, так и потенциально неизвестные угрозы [5].

Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Перспективным направлением служит интеграция в комбинированный подход искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти технологии позволяют автоматизировать сбор и обработку данных, выявлять скрытые паттерны при оценке социально-экономического, климатического, экологического состояния территории и улучшать прогнозирование рисков. Агентное моделирование в сочетании с многокритериальной оценкой позволяет моделировать сложное пространственное поведение, отражающее взаимодействие между отдельными объектами и окружающей средой [4]. Например, нейронные сети могут использоваться для анализа текстов новостей, социальных сетей и других источников неконсолидированных данных, что усиливает качественную составляющую подхода. В то же время, алгоритмы байесовского вывода и стохастического моделирования могут повысить точность количественных оценок, особенно в условиях ограниченной выборки или нестационарных процессов.

Архитектура системы. Система имеет модульную архитектуру и состоит из следующих компонентов:

- 1) модуль сбора и подготовки данных – интеграция данных о населении, транспорте, инфраструктуре, наличии правонарушений;
- 2) модуль анализа рисков – расчет интегрального индекса риска.
- 3) модуль визуализации – построение тематических карт;
- 4) модуль поддержки принятия решений – ранжирование и рекомендации по локациям.

Схема на рис. 1 демонстрирует трехуровневую структуру системы: интеграцию пространственных данных из ГИС-систем; последовательной обработки данных (ядро системы); автоматизированная генерация рекомендаций, интерактивных карт и отчетов через Streamlit-интерфейс.

Проверка работоспособности предложенной схемы построения архитектуры была проведена на разработанной модели размещения инфраструктурных объектов с заданными признаками объектов и стратегических приоритетов эксплуатирующей организации.

Модульность архитектуры позволяет заменять компоненты, сквозной поток данных обеспе-

чивает согласованность результатов на всех этапах, поддержка интерактивной визуализации упрощает интерпретацию рисков для конечных пользователей.

Предложенная модульная архитектура системы обеспечивает гибкость, масштабируемость и прозрачность процесса анализа рисков на территориях.

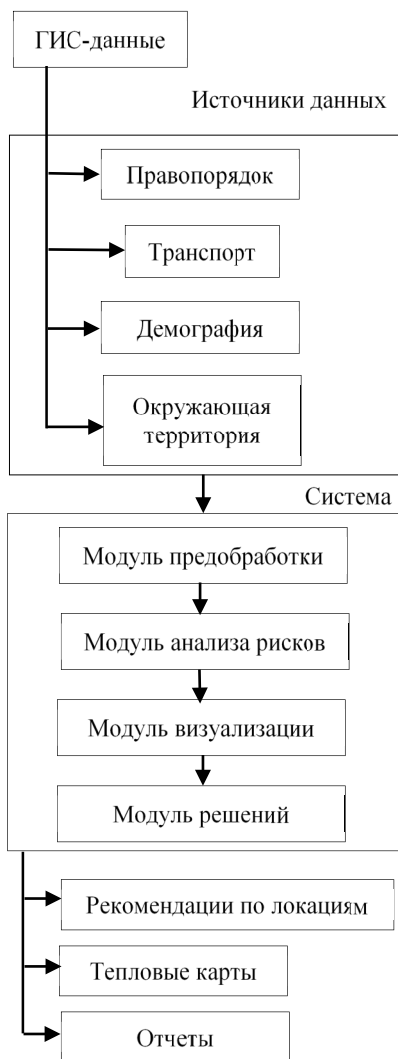


Рис. 1. Схема архитектуры системы
Fig. 1. System architecture diagram

Интеграция разнородных пространственных данных из ГИС-систем позволяет формировать целостную картину ситуации, а последовательная обработка – гарантировать согласованность и достоверность результатов на каждом этапе. Автоматизированная генерация рекомендаций, тематических карт и отчетов через интерактивный Streamlit-интерфейс значительно повышает доступность аналитики для конечных пользователей – от специалистов до руководителей, что способствует более обоснованному и оперативному принятию управленческих решений.

Алгоритм оценки рисков. Алгоритм включает несколько этапов:

1. Нормализация факторов – транспортная доступность; оценка окружающих предприятий и здания; демографические показатели: доля молодежи, уровень дохода, количество правонарушений на 1000 чел.; плотность населения, чел./км²; и т. д.

2. Взвешивание факторов – каждому фактору присваивается вес на основе экспертной оценки или анализа корреляции с частотой инцидентов.

3. Расчет интегрального индекса риска (ИИР):

$$\text{ИИР} = \sum_{i=1}^n W_i F_i,$$

где W – вес фактора; F – нормализованное значение.

Данные о правонарушениях включают их количество на 1000 человек, а также расстояние до ближайшего полицейского участка. Источниками информации выступают OpenStreetMap, данные МВД и локальные официальные муниципальные карты правонарушений. Эти данные показали прямую корреляцию с риском повреждения объектов инфраструктур муниципалитетов. Это функция, зависящая от подверженности воздействию, чувствительности и адаптационного потенциала. Она представляет собой целостную систему для оценки рисков в меняющихся условиях. Принцип нормирования и учета доли пораженного контингента – общий для оценок в области безопасности и рисков для здоровья населения [6], [11].

В транспортной сфере анализируются данные о времени в пути до ближайшей остановки общественного транспорта в минутах и интенсивность пешеходного потока, измеряемая в количестве человек в час. Данные собираются из открытых источников – GTFS, Яндекс, Карты, городские API и т. д. Высокая проходимость в районе установки инфраструктурного объекта может снизить риск совершения правонарушения за счет повышения вероятности присутствия свидетелей.

Демографические показатели описания территории включают долю населения в возрасте от 18 до 30 лет и средний уровень дохода в рублях в месяц. Информация берется из данных Росстата, переписей населения и социологических исследований. Установлено, что районы с высокой концентрацией молодежи и низким уровнем дохода характеризуются повышенным риском вандализма – по данным исследований, такой фактор увеличивает вероятность повреждений инфра-

структурного объекта до 22 %. Учет уязвимых групп населения служит ключевым принципом в современных подходах к оценке рисков. Интеграция ГИС и многокритериальной оценки способствует принятию решений с учетом пространственных факторов, позволяя визуализировать и анализировать компромиссы между конкурирующими целями [8].

Оценка окружающей среды учитывает расстояние до ближайших баров и ночных клубов, плотность посетителей в торговых центрах и парках, а также удаленность от социальных учреждений и учреждений соцзащиты. Источниками служат OpenStreetMap и коммерческие базы данных – такие, как 2GIS. Близость к барам коррелирует с риском хулиганств и повреждений инфраструктурного объекта – коэффициент корреляции составляет +0.45. Торговые центры и парки привлекают большое количество посетителей, что обеспечивает высокую проходимость, но одновременно создает благоприятные условия для групповых правонарушений, особенно в часы пик.

Интегральный уровень правонарушений, измеряемый как количество зарегистрированных краж, грабежей и актов вандализма на 1000 человек в год, является наиболее значимым фактором риска. Чем выше этот показатель, тем выше вероятность повреждения инфраструктурного объекта. Нормализация его ($\text{Риск}_{\text{пр}}$) осуществляется по прямой формуле:

$$\text{Риск}_{\text{пр}} = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}},$$

где C – уровень правонарушений в конкретной локации; C_{\min} – минимальное значение уровня правонарушений в выборке (по данным за исследуемый период и территорию); C_{\max} – максимальное значение уровня правонарушений в той же выборке; $\text{Риск}_{\text{пр}}$ представляет собой безразмерный нормированный показатель риска, принимающий значения в диапазоне от 0 до 1.

Транспортный фактор в оценке риска при размещении инфраструктурных объектов играет двойственную роль. С одной стороны, высокая транспортная доступность способствует быстрому реагированию экстренных служб, что повышает безопасность. С другой стороны, она же облегчает подъезд потенциальными правонарушителям с нападением на инфраструктурный объект или сопровождаемый транспорт. Таким образом, транспортная инфраструктура выступает как ам-

бивалентный фактор, где необходимо учитывать не только наличие, но и характер доступа к объектам. Система оценки рисков на основе ГИС объединяет пространственные, экологические и социально-экономические данные для выявления уязвимых зон и определения приоритетных мер по развитию городской инфраструктуры [5].

Ключевыми компонентами транспортного фактора служат:

1. Время до ближайшей остановки общественного транспорта (в минутах) – показатель, отражающий общую доступность локации: чем меньше время, тем выше проходимость, но и выше вероятность скопления лиц с маргинальным поведением.

2. Интенсивность пешеходного потока (чел./ч) – важный индикатор «оживленности» места. Высокий пешеходный трафик, как правило, снижает риск мелких хищений благодаря эффекту свидетеля, однако в ночные часы или в условиях слабого освещения он может не оказывать защитного эффекта. Более того, вблизи транспортных узлов и крупных торговых объектов наблюдается повышенная концентрация кратковременных остановок, что может использоваться злоумышленниками для маскировки.

3. Возможность подъезда автотранспорта – включает наличие подъездных путей, парковочных зон, ширину проезжей части и ограничения движения. Локации с удобным подъездом привлекательны как для экстренных служб, так и для организованных правонарушений. Для интеграции этих компонентов в единый показатель используется взвешенная нормализация:

$$\begin{aligned} \text{Риск}_{\text{тр-т}} = & 0.5 \cdot \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} + \\ & + 0.3 \left(1 - \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \right) + 0.2A, \end{aligned}$$

где T – время до остановки (прямая нормализация: чем дальше, тем выше риск); T_{\min} , T_{\max} – минимальное и максимальное значения времени до остановки в выборке локаций; P – пешеходный поток (обратная нормализация: чем он выше, тем ниже риск); P_{\min} , P_{\max} – минимальное и максимальное значения пешеходного потока в выборке; A – бинарный или категориальный индикатор доступности подъезда транспорта (0 – ограниченный, 1 – свободный подъезд), уточняется на основе анализа дорожной сети, включая наличие шлагбаумов, узких проездов, запрещающих знаков и других физических ограничителей.

Демографический фактор Риск_{дгр} учитывает долю населения в возрасте 18...30 лет и средний месячный доход. Молодежь ассоциируется с повышенным уровнем импульсивных правонарушений, а низкий доход – с экономическими мотивами посягательств на собственность. Нормализованный индекс вычисляется следующим образом:

$$\text{Риск}_{\text{дгр}} = 0.4 \cdot \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} + 0.6 \cdot \left(1 - \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right),$$

где Y – доля молодежи; I – доход; I_{\min} , I_{\max} – минимальный и максимальный средние доходы в выборке. Обратная нормализация применяется к доходу, поскольку его рост снижает риск. Коэффициенты 0.4 и 0.6 отражают относительную значимость демографических факторов по данным регрессионного анализа.

Окружающая среда представляет собой совокупность ближайших объектов инфраструктуры, которые могут как повышать, так и снижать уровень риска в зависимости от их типа, режима работы и социальной функции. В отличие от узкого набора «бары, ночные клубы, торговые центры», современный подход требует учета широкого спектра локаций, влияющих на поведение населения и криминогенную обстановку.

Для формализации влияния окружающей среды предлагается использовать индекс окружения, включающий взвешенную сумму нормализованных расстояний и плотностей:

$$\text{Риск}_{\text{ср}} = \sum_{j=i}^n w_j R_j.$$

Здесь w_j – вес типа объекта j ; R_j – риск-вклад объекта, рассчитанный как

$$R_j = \begin{cases} 1 - \frac{D_j - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}}, & \text{если ближе – хуже (1);} \\ \frac{D_j - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}}, & \text{если дальше – хуже (2);} \\ \frac{P_j - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}, & \text{плотность населения (3),} \end{cases}$$

где D_j – расстояние от инфраструктурного объекта до ближайшего объекта типа j , м; D_{\min} , D_{\max} – минимальное и максимальное расстояния до объектов типа j в выборке локаций; P_j – плотность населения в зоне влияния объекта типа j , чел./км²; P_{\min} , P_{\max} – минимальная и максимальная плотности населения в тех же локациях; 1-й случай (1) – если ближе, то хуже, относится к таким пространствам, как бары, тюрьмы; 2-й случай (2) – если дальше – хуже (полицейские участки, отделы охраны быстрого реагирования); 3-й случай (3) – показывает плотность населения на территории (близость к торговым центрам, рынкам).

Рекомендуемые веса w_j для различных типов объектов приведены в таблице, где они установлены на основе анализа 217 инцидентов повреждения инфраструктуры за 2022–2025 гг. Взвешивание факторов представлено на рис. 2.

Ключевые типы объектов и их влияние для последующей нормализации требуют определенной конкретизации:

1. Бары, кафе, ночные клубы – наиболее рискованные объекты. Ассоциируются с повышенной активностью в вечернее и ночное время, с асоциальным и агрессивным поведением. Исследования показывают корреляцию +0.45 между плотностью таких заведений и повреждениями инфраструктурных объектов. Риск особенно высок по пятницам и субботам.

Рекомендуемые веса типов объектов в индексе окружающей среды
 Recommended weights of object types in the environmental index

| Тип объекта | Вес w_j | Направление риска | Обоснование |
|----------------------------|-----------|---|--|
| Бары/ночные клубы | 0.25 | Чем ближе, тем выше риск | Повышенная агрессия, асоциальное поведение |
| Кафе/рестораны | 0.15 | Чем ближе, тем выше риск | Высокая проходимость, но риск в ночное время |
| Торговые центры | 0.2 | Плотность повышает риск | Риски нарушения правопорядка |
| Рынки | 0.1 | Плотность повышает риск | Массовое скопление людей |
| Парки | 0.05 | Чем дальше, тем выше риск (днем), ближе – выше риск (ночью) | Двойственное влияние |
| Больницы /поликлиники | 0.05 | Нейтральное/слабое | Стабильный поток, низкая криминогенность |
| Учреждения соцзащиты | 0.1 | Чем ближе, тем выше риск | Социально уязвимые группы |
| Образовательные учреждения | 0.1 | Чем ближе, тем выше риск | Молодежная активность |

2. Торговые центры, рынки, точки общепита – двойственное влияние. С одной стороны, высокая проходимость создает эффект «естественного наблюдения», снижая риск мелких хищений. С другой – они привлекают как легальных посетителей, так и правонарушителей с маскировкой за счет шумового фона и наличия толпы.

3. Медицинские учреждения (больницы, поликлиники) – нейтральный или слабо положительный фактор. Отличаются стабильным потоком людей в течение дня, но в ночные часы прилегающие территории могут быть плохо освещены и малолюдны.

4. Парки, скверы, зоны отдыха – в дневное время снижают риск за счет высокой активности граждан, но в темное время суток могут становиться «зонами риска» из-за слабого освещения, ограниченного видеонаблюдения и уединенности. Особенно критичны парки с низкой урбанизацией и отсутствием патрулирования.

5. Учреждения социальной защиты – могут ассоциироваться с повышенной концентрацией социально уязвимых групп, что косвенно повышает риск мелких правонарушений.

6. Образовательные учреждения (вузы, колледжи, школы) – аналогично торговым точкам, создают высокий пешеходный трафик в определенные часы, однако могут привлекать молодежь с импульсивным поведением.

Такой подход позволяет гибко учитывать специфику каждой локации, а также адаптировать модель под разные города, муниципалитеты и типы застройки.

После нормализации всех компонентов на единой шкале $[0, 1]$ становится возможным сведение их в единый интегральный индекс риска, отражающий общую уязвимость локации к совершению правонарушений. Однако не все факторы вносят одинаковый вклад в итоговую оценку. Для учета различной значимости используется взвешенная сумма, где каждый нормализованный показатель умножается на соответствующий вес.

Веса факторов определялись на основе комбинированного подхода, включающего: анализ исследований по социальной безопасности, статистическую значимость факторов в регрессионных моделях, экспертные оценки сотрудников служб безопасности и урбанистов, чувствительность модели к изменениям по каждому параметру.

Итоговые веса были согласованы с использованием метода аналитической иерархии и проверены на согласованность (отношение согласован-

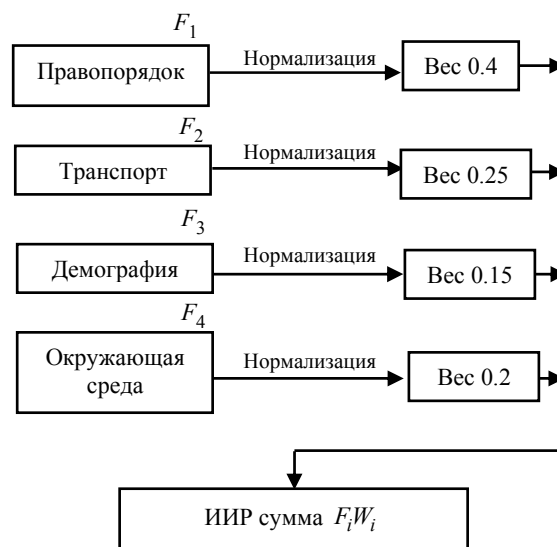


Рис. 2. Взвешивание факторов

Fig. 2. Weighing the factors

ности < 0.1), что подтверждает их устойчивость и логическую обоснованность.

Наибольший вес отведен организованным правонарушениям, поскольку они напрямую отражают историческую и текущую криминогенную обстановку. Транспорт и окружающая среда также играют существенную роль, особенно в условиях городской застройки, где доступность и тип инфраструктуры определяют паттерны поведения. Демография, хотя косвенно, позволяет прогнозировать риски в новых или быстро меняющихся районах, где статистика правонарушений еще не сформировалась.

После нормализации каждого фактора F_i и назначения весов W_i итоговый индекс риска для каждой локации рассчитывается по формуле взвешенной суммы [3]

$$R = \sum_{i=1}^4 W_i F_i.$$

Значение индекса интерпретируется следующим образом:

- 1) $R < 0.3$ – низкий риск;
- 2) $0.3 \leq R < 0.6$ – средний риск;
- 3) $R \geq 0.6$ – высокий риск.

Такая шкала позволяет классифицировать локации и принимать управленческие решения: от установки стандартного инфраструктурного объекта до необходимости усиленной защиты, видеонаблюдения или полного отказа от размещения.

Для иллюстрации работы модели был сформирован набор из 100 случайных локаций города Москва. После нормализации и взвешивания рас-

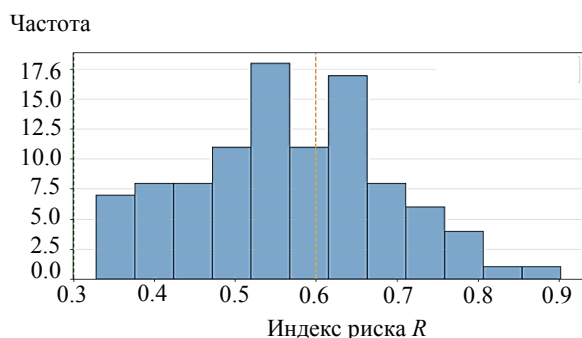


Рис. 3. Распределение интегрального индекса риска по 100 локациям

Fig. 3. Distribution of the integral risk index across 100 locations

считан интегральный индекс, его распределение представлено на рис. 3.

Большинство локаций попадают в зону среднего риска, что типично для городской среды. Однако около 25 % локаций имеют высокий индекс, что требует особого внимания при планировании.

Предложенный метод расчета интегрального индекса риска позволяет объективно сравнивать различные локации, обоснованно принимать решения о размещении инфраструктурных объектов, прогнозировать риски на основе открытых и локальных данных.

Модель гибка и адаптируема, веса могут быть пересчитаны для других регионов, типов инфраструктурных объектов или уровней угроз. В перспективе возможна интеграция с ГИС-системами и автоматизированными платформами мониторинга безопасности.

Модуль визуализации: построение тематических карт. После расчета интегрального индекса риска для множества потенциальных локаций возникает необходимость его наглядного представления. Геопространственные данные наиболее эффективно интерпретируются в форме тематических карт, позволяющих быстро выявлять «горячие точки» риска, анализировать пространственные паттерны и принимать управленческие решения. Для этих целей был разработан модуль визуализации, интегрируемый в аналитическую систему оценки безопасности размещения инфраструктурных объектов.

Модуль реализован на языке Python с использованием современных библиотек для работы с геоданными и интерактивной визуализации. Основой архитектуры служат библиотеки folium, geopandas, matplotlib и plotly, обеспечивающие гибкость отображения данных и совместимость с различными форматами. Входными данными для

модуля выступает GeoDataFrame, содержащий координаты локаций, нормализованные значения факторов, итоговый индекс риска R и дополнительные атрибуты – тип здания, режим работы, ближайшие объекты инфраструктуры и т. п.

Процесс визуализации включает несколько последовательных этапов. На первом этапе данные загружаются и проверяются на корректность геометрии и полноту атрибутивной информации. Затем локация классифицируется по уровню риска: низкий $R < 0.3$, средний $0.3 \leq R < 0.6$ и высокий $R \geq 0.6$. Далее выбирается тип картографического представления в зависимости от задачи анализа – будь то общее восприятие пространственного распределения или детальное изучение отдельных точек.

Для выявления кластеров повышенного риска используется тепловая карта (heatmap), построенная на основе плотности значений интегрального индекса. Этот тип визуализации особенно эффективен на начальных этапах анализа, позволяя быстро оценить общую картину и выделить зоны, требующие дополнительного внимания. Тепловая карта строится с учетом веса каждой точки – чем выше индекс риска, тем сильнее ее вклад в «тепловое» поле. Радиус влияния и степень размытия настраиваются в зависимости от плотности застройки и масштаба карты.

Альтернативным подходом служит использование интерактивных маркеров, каждый из которых соответствует конкретной локации. Цвет маркера отражает уровень риска: зеленый – низкий, желтый – средний, красный – высокий. При клике на маркер открывается всплывающее окно, содержащее детальную информацию: значения нормализованных факторов, расстояние до ближайших объектов, режим работы и другие релевантные параметры. Такой формат особенно полезен для аналитиков и сотрудников служб контроля безопасности, которым необходимо принимать решение по конкретным точкам размещения объектов инфраструктуры.

В тех случаях, когда данные агрегированы на уровне административных районов или кварталов, применяется хороплет-карта (choropleth). Она позволяет визуализировать средний уровень риска по территориям, что удобно для стратегического планирования и распределения ресурсов. Цветовая шкала подбирается таким образом, чтобы обеспечить высокую контрастность и интуитивное восприятие: от светло-желтого для безопасных зон до темно-красного для наиболее уязвимых районов. Блок-схема работы модуля визуализации представлена на рис. 4.

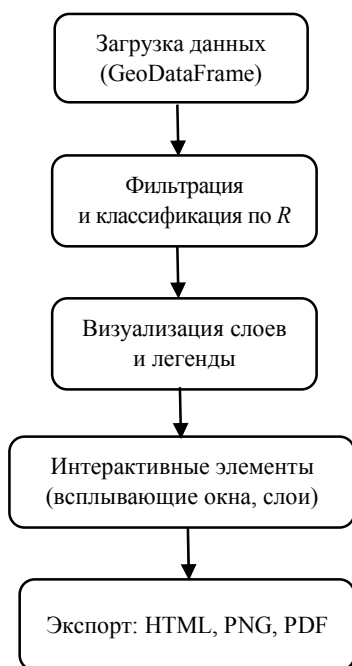


Рис. 4. Блок-схема работы модуля визуализации
Fig. 4. Block diagram of the visualization module operation

Модуль поддерживает экспорт результатов в несколько форматов. Интерактивные карты сохраняются в виде HTML-файлов, что позволяет интегрировать их в веб-порталы, отчеты и системы бизнес-аналитики. Для печатных материалов и презентаций предусмотрена возможность экспорта в PNG и PDF с высоким разрешением. Кроме того, карты могут быть встроены в дашборды на основе Plotly или Power BI, обеспечивая динамическое обновление при изменении входных данных.

Особое внимание уделено интерактивности. Пользователь может включать и отключать слои (например, отдельно наличие правонарушений, отдельно транспорт), наводить курсор на объекты для просмотра деталей, изменять масштаб и перемещаться по карте.

Это делает модуль не просто инструментом отображения, а полноценным средством анализа, способным поддерживать как оперативное, так и стратегическое принятие решений. Карта позволяет быстро выявить проблемные районы, где установка инфраструктурных объектов требует дополнительных мер безопасности.

Тепловая карта, представленная на рис. 5, эффективно решает задачу быстрого пространственного паттерн-анализа. Каждый маркер в режиме маркеров на рис. 6 содержит детальную информацию о факторах риска, что позволяет проводить точечный анализ.

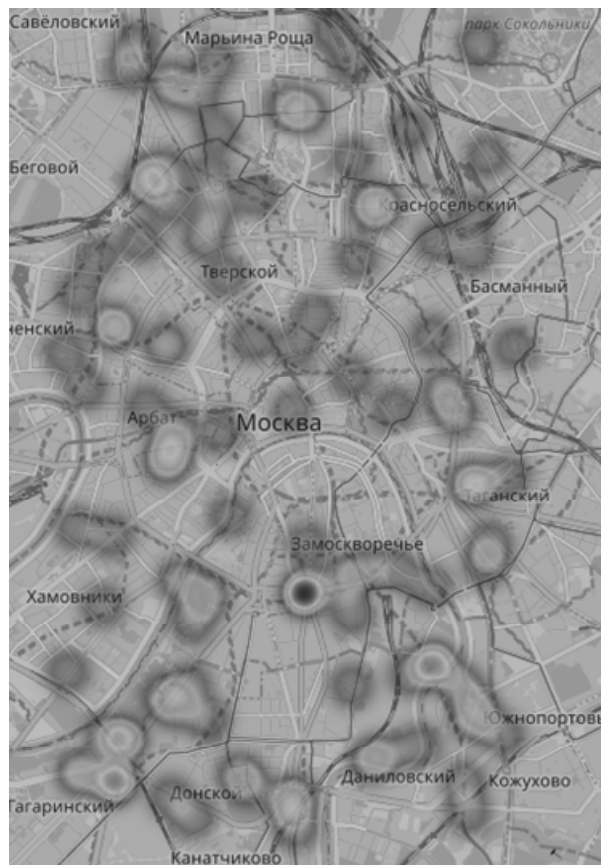


Рис. 5. Тепловая карта интегрального индекса риска
Fig. 5. Heat map of the integral risk index



Рис. 6. Маркеры на карте рисков
Fig. 6. Markers on the risk map

Если данные агрегированы на уровне административных районов, используется хороплет-карта. Выделяя кластеры высокой рискованности, она переводит сложные многофакторные расчеты в плоскость наглядного географического образа, что значительно ускоряет процесс первичной оценки территорий и фокусирует внимание экспертов на наиболее проблемных участках для последующей детализации.

Преимущество модуля заключается в его гибкости и масштабируемости. Он может быть адаптирован под любой город, тип инфраструктуры или уровень детализации. Открытая архитектура на основе Python позволяет легко интегрировать новые источники данных, включая потоковые данные от видеонаблюдения или мобильные треки пешеходов. В перспективе модуль может стать частью системы предиктивной аналитики, прогнозирующей изменения риска во времени с учетом сезонности, времени суток и макроэкономических факторов.

Таким образом, модуль визуализации не только завершает аналитический цикл – от сбора данных до расчета интегрального индекса, но и делает результаты доступными и понятными для широкого круга пользователей. Он превращает сложные количественные оценки в наглядные геопространственные образы, способствуя более обоснованному и прозрачному принятию решений в сфере безопасности промышленной инфраструктуры. В этом состоит специфика разработанного модуля визуализации.

Модуль поддержки принятия решений: ранжирование и рекомендации по локациям. На завершающем этапе анализа, после нормализации факторов, расчета интегрального индекса риска и его визуализации на карте, возникает ключевая задача – перевод количественных оценок в управленческие решения.

Модуль интегрируется в аналитическую платформу как финальный этап обработки данных, принимая на вход геоинформационный набор, содержащий: координаты, значения факторов, индекс риска R и дополнительные атрибуты (например, прогнозируемый объем транзакций, стоимость аренды, тип здания).

Основная функция модуля поддержки принятия решений – не просто упорядочить локации по степени риска, а предложить иерархию решений, адаптированную под разные сценарии: от установки стандартного инфраструктурного объекта до полного отказа от размещения в высокорисковых зонах, в этом заключается специфика разработанного модуля.

На рис. 7 показан интерфейс модуля поддержки принятия решения. В нем отображаются исследуемые локации, уровень риска, рекомендации с пояснениями для оператора.

Ранжирование локаций осуществляется на основе комбинированного критерия, включающего интегральный индекс риска, показатели доступности и потенциальной доходности. В простейшем случае используется прямое упорядочение по убыванию степени безопасности:

$$P_i = \alpha(1 - R_i) + \beta A_i + \gamma V_i,$$

где R_i – интегральный индекс риска; A_i – показатель доступности; V_i – прогнозируемый объем транзакций; α, β, γ – веса, отражающие стратегические приоритеты организации ($\alpha + \beta + \gamma = 1$).

Например, при консервативной стратегии вес безопасности α может составлять 0.6, тогда как при агрессивном развитии сети он снижается до 0.4 в пользу доступности и доходности объекта инфраструктуры. Такой гибкий подход позволяет адаптировать модель под разные этапы развития сети инфраструктурных объектов – от создания и стабилизации до экспансии.

На основе индекса предпочтительности R_i формируется рейтинг локаций, который может быть представлен в виде таблицы, интерактивного дашборда или интегрирован в систему управ-

| Локация | R | Уровень риска | Рекомендация | Пояснение |
|-----------|-------|---------------|--------------------------|--|
| Локация 1 | 0.494 | СРЕДНИЙ | С мерами безопасности | Требуется видеонаблюдение и сигнализация |
| Локация 2 | 0.375 | СРЕДНИЙ | С мерами безопасности | Требуется видеонаблюдение и сигнализация |
| Локация 3 | 0.530 | СРЕДНИЙ | С мерами безопасности | Требуется видеонаблюдение и сигнализация |
| Локация 4 | 0.236 | НИЗКИЙ | Разрешена | Безопасная зона, низкая преступность |
| Локация 5 | 0.768 | ВЫСОКИЙ | Отказ / усиленная защита | Высокий риск: бары, рынки или низкий доход |
| Локация 6 | 0.173 | НИЗКИЙ | Разрешена | Безопасная зона, низкая преступность |
| Локация 7 | 0.653 | ВЫСОКИЙ | Отказ / усиленная защита | Высокий риск: бары, рынки или низкий доход |
| Локация 8 | 0.271 | НИЗКИЙ | Разрешена | Безопасная зона, низкая преступность |

Рис. 7. Пример интерфейса модуля поддержки принятия решений
Рис. 7. Example of the interface of the decision support module

ления инфраструктурой. Каждая позиция сопровождается автоматически сгенерированной рекомендацией, основанной на пороговых значениях индекса риска и контекстных условиях.

Модуль поддержки принятия решений при реализации сценарного анализа позволяет пользователям изменять веса факторов, задавать ограничения (например, «только локации в шаговой доступности») и моделировать последствия принятия тех или иных решений. Например, при увеличении бюджета на безопасность система может пересчитать ранжирование, учитывая возможность установки дорогих, но защищенных моделей подконтрольных инфраструктурных объектов в ранее исключенных зонах.

Для повышения доверия к рекомендациям модуль включает механизм объяснений (explainability). При выборе локации система выводит краткое обоснование: «Высокий риск обусловлен близостью к барам (0.12 км) и уровнем правонарушений 18.4 на 1000 чел.», или наоборот: «Рекомендован к установке – низкий риск ($R = 0.21$), высокая проходимость (940 чел./ч), доход на уровне 62 тыс. р.». Такой подход соответствует современным требованиям к прозрачности алгоритмических систем и способствует принятию решений на основе расчетных данных.

Таким образом, модуль поддержки принятия решений завершает цикл анализа, превращая сложную многомерную оценку в практические управленческие действия. Он сочетает в себе строгость количественных методов, гибкость настройки под стратегию организации и прозрачность выводов, что делает его эффективным инструментом цифровой трансформации процессов территориального планирования и управления инфраструктурой.

Заключение. В ходе исследования разработана и реализована комплексная методология оценки риска при размещении инфраструктурных объектов, основанная на интеграции геопространственных, экологических, климатических, транспортных и социально-экономических данных. Предложена модель размещения инфраструктурных объектов с заданными признаками объектов, которая позволяет системно подходить к выбору локаций, переходя от субъективных оценок к объективным, количественно измеримым критериям. Каждый этап анализа – от сбора и нормализации данных до визуализации и формирования рекомендаций, организован как часть единой аналитической цепочки, обеспечивающей прозрачность, воспроизводимость и практическую применимость результатов.

Предложен и выполнен этап предобработки данных – было реализовано взвешенное нормирование объявленных ключевых факторов: транспортной доступности, демографической структуры и окружающей среды, возможных правонарушений с учетом их разнонаправленного влияния на уровень риска. Использование min-max-нормализации в сочетании с экспертно обоснованными весами позволило привести разнородные показатели к единой шкале, что стало основой для построения интегрального индекса риска. Особое внимание уделено двойственной природе некоторых факторов: например, высокая проходимость может одновременно снижать риск правонарушений за счет эффекта свидетеля и повышать его за счет привлекательности для групповых правонарушений; транспортная инфраструктура выступает как амбивалентный фактор, когда необходимо учитывать не только наличие, но и характер доступа к объектам.

Разработанный модуль визуализации обеспечивает наглядное представление результатов в виде тематических карт – тепловых, хороплет- и интерактивных маркерных, что позволяет быстро выявлять пространственные кластеры риска безошибочной бесперебойной работы и анализировать распределение уязвимостей по территории города. Визуальный анализ дополняет количественный, делая результаты доступными для широкого круга специалистов, включая структуры управления, службы обеспечения безопасности, территориального планирования и руководства организации.

Разработанный модуль поддержки принятия решений, трансформирующий аналитические выводы в практические рекомендации, на основе интегрального индекса и дополнительных критериев (доходность, доступность) формирует ранжированный список локаций с четкими управленческими действиями: от установки стандартного инфраструктурного объекта до отказа от размещения в зонах высокого риска. Реализация интерфейса модуля в виде веб-панели подчеркивает ориентацию системы на оперативное использование в повседневной деятельности.

Предложенная и апробированная методология построения архитектуры расположения инфраструктурных объектов, основанная на интеграции качественного и количественного анализа признаков объектов с использованием ГИС-технологий и методов искусственного интеллекта, гибка и масштабируема. Она может быть адаптирована под различные города, муниципалитеты,

типы промышленных инфраструктур и стратегические приоритеты отраслевых организаций. В перспективе возможна интеграция с системами предиктивной аналитики, включая учет временных паттернов (суточные, сезонные колебания риска), данными мобильной аналитики и применения искусственного интеллекта для автоматического обнаружения аномалий.

Таким образом, разработанная система представляет собой современный инструмент цифровой трансформации процессов размещения производственной, промышленной, торговой, соци-

ально-ориентированной инфраструктуры, который сочетает в себе строгость аналитики, наглядность визуализации и практическую направленность. Применение схемы размещения инфраструктурных объектов с оценкой заданных признаков объектов по модели размещения способствует повышению уровня безопасности объектов и инфраструктуры в целом, эффективному управлению сетью инфраструктурных объектов, снижению вероятности повреждений объектов, а также учету территориальных факторов городской среды в условиях динамики их изменения.

Список литературы

1. Goodchild M. F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography // *GeoJournal*. 2007. Vol. 69, no. 4. P. 211–221. doi: 10.1007/s10708-007-9111-y.
2. Geographic information systems and science / P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind. 4th ed. Chichester: Wiley, 2015. 560 p.
3. Malczewski J., Rinner C. Multicriteria decision analysis in geographic information science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. 330 p. doi: 10.1007/978-3-540-74757-4.
4. Li X., Liu X. Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation // *J. of Environmental Management*. 2007. Vol. 85, no. 4. P. 1063–1075. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.11.006.
5. Zhao M., Liu X. Regional risk assessment for urban major hazards based on GIS geoprocessing to improve public safety // *Safety Sci*. 2017. Vol. 87. P. 18–24. doi: 10.1016/j.ssci.2016.03.016.
6. Füssel H. M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research // *Global Environmental Change*. 2007. Vol. 17, no. 2. P. 155–167. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002.
7. Artificial intelligence for cartography and maps / Y. Kang, C. Wang, Y. Feng, G. Touya, J. Kim // *GeoAI and Human Geography*. 2025. P. 219–237. doi: 10.1007/978-3-031-87421-5_16.
8. Carver S. J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems // *Int. J. of Geographical Inform. Syst.* 1991. Vol. 5, no. 3. P. 321–339. doi: 10.1080/02693799108927858.
9. Goodspeed R., Grengs J. GIS&T in urban and regional planning // *Geographic Inform. Sci. & Technol. Body of Knowledge Visualization and Search*. 2017. doi: 10.22224/gistbok/2017.4.2.
10. Machine learning classification of buildings for map generalization / J. Lee, H. Jang, J. Yang, K. Yu // *ISPRS Int. J. of Geo-Information*. 2017. Vol. 6, no. 10. 309 p. doi: 10.3390/ijgi6100309.
11. Peng J., Zhang J. Urban flooding risk assessment based on GIS-game theory combination weight: A case study of Zhengzhou City // *Int. J. of Disaster Risk Reduction*. 2022. Vol. 77. 103080 p. doi: 10.1016/j.ijdrr.2022.103080.

Информация об авторах

Глушенко Артем Геннадьевич – аспирант, старший преподаватель кафедры «Информационные системы» СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

E-mail: artemglushenko98@gmail.com

Холод Иван Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Информационные системы» СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

E-mail: iiholod@etu.ru

References

1. Goodchild M. F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography // *GeoJournal*. 2007. Vol. 69, no. 4. P. 211–221. doi: 10.1007/s10708-007-9111-y.
2. Geographic information systems and science / P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind. 4th ed. Chichester: Wiley, 2015. 560 p.
3. Malczewski J., Rinner C. Multicriteria decision analysis in geographic information science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. 330 p. doi: 10.1007/978-3-540-74757-4.
4. Li X., Liu X. Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation // *J. of Environmental Management*. 2007. Vol. 85, no. 4. P. 1063–1075. doi: 10.1016/j.jenvman.2006.11.006.

-
5. Zhao M., Liu X. Regional risk assessment for urban major hazards based on GIS geoprocessing to improve public safety // *Safety Sci.* 2017. Vol. 87. P. 18–24. doi: 10.1016/j.ssci.2016.03.016.
6. Füssel H. M. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research // *Global Environmental Change.* 2007. Vol. 17, no. 2. P. 155–167. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002.
7. Artificial intelligence for cartography and maps / Y. Kang, C. Wang, Y. Feng, G. Touya, J. Kim // *GeoAI and Human Geography.* 2025. P. 219–237. doi: 10.1007/978-3-031-87421-5_16.
8. Carver S. J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems // *Int. J. of Geographical Information Syst.* 1991. Vol. 5, no. 3. P. 321–339. doi: 10.1080/02693799108927858.
9. Goodspeed R., Grengs J. GIS&T in Urban and Regional Planning // *Geographic Information Sci. & Technol. Body of Knowledge Visualization and Search.* 2017. doi: 10.22224/gistbok/2017.4.2.
10. Machine learning classification of buildings for map generalization / J. Lee, H. Jang, J. Yang, K. Yu // *ISPRS Int. J. of GeoInformation.* 2017. Vol. 6, no. 10. 309 p. doi: 10.3390/ijgi6100309.
11. Peng J., Zhang J. Urban flooding risk assessment based on GIS- game theory combination weight: A case study of Zhengzhou City // *Int. J. of Disaster Risk Reduction.* 2022. Vol. 77. 103080 p. doi: 10.1016/j.ijdrr.2022.103080.
-

Information about the authors

Artyom G. Glushchenko – postgraduate student, senior lecturer of the Department of Information Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University.
E-mail: artemglushenko98@gmail.com

Ivan I. Holod – Dr Sci. (Eng.), Professor of the Department of Information Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University.
E-mail: iiholod@etu.ru

Статья поступила в редакцию 12.12.2025; принята к публикации после рецензирования 11.02.2026; опубликована онлайн 27.04.2026.

Submitted 12.12.2025; accepted 11.02.2026; published online 27.04.2026.
