

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПАРКОВОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА

Р. Н. Минниханов¹ [0000-0001-9166-2955], **Т. Р. Баторшин**² [0009-0001-9995-8854],
Р. М. Габбазов³ [0009-0009-9187-9121], **Р. И. Фахразиев**⁴ [0009-0008-3463-7663],
А. С. Катасёв⁵ [0000-0002-9446-0491], **М. В. Дагаева**⁶ [0000-0002-5444-9669],
И. Р. Бадрутдинов⁷ [0009-0001-6343-4709]

¹Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, 420111, Россия

^{1, 6}ГБУ «Безопасность дорожного движения», г. Казань, 420059, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, 420066, Россия

^{3-5, 7}Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, 420111, Россия

¹Priemnaya.Minnihanov@tatar.ru, ²Timur.Batorshin.02@gmail.com,

³GabbazovRM@stud.kai.ru, ⁴FakhrazievRI@stud.kai.ru, ⁵ASKatasev@kai.ru,

⁶ITS.Center.kzn@gmail.com, ⁷BadrutdinovIR@stud.kai.ru

Аннотация

Рост уровня урбанизации и автомобилизации приводит к дефициту парковочных мест, что вызывает заторы, повышение выбросов и снижение качества жизни. Традиционные методы организации парковочного пространства не обеспечивают эффективного решения этой проблемы, что требует применения инструментов анализа данных и прогнозирования.

В работе рассмотрено использование цифрового двойника парковочной системы города Казани. Проведены фильтрация и интеграция данных, выполнены кластеризация точек интереса и корреляционный анализ факторов, влияющих на заполняемость парковок. Для прогнозирования уровня загруженности обучены и сравнены модели линейной регрессии, дерева решений, случайного леса, XGBoost, MLP и LSTM. Наилучшие результаты продемонстрировала модель случайного леса. Разработанный прототип цифрового двойника обеспечивает мониторинг и сценарное моделирование, что делает его эффективным инструментом для оптимизации парковочного пространства и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: цифровой двойник, парковки, заполняемость парковочных мест, машинное обучение, точки интереса, оптимизация.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрый рост уровня урбанизации и автомобилизации в современных городах привел к серьезным проблемам транспортной инфраструктуры, которые проявляются в виде повышенной нагрузки на парковочное пространство. Дефицит парковочных мест способствует обострению заторов на дорогах, росту экологического загрязнения и снижению мобильности населения, что отрицательно сказывается на качестве жизни и вызывает недовольство горожан.

Классические подходы к организации парковочного пространства, такие как формирование платных зон, точечное строительство новых парковок и корректировка тарифной политики, лишь частично смягчают проблему и не гарантируют оптимального решения. Увеличение числа парковочных мест может привести к дополнительным расходам, а необоснованное повышение тарифов – к общественному недовольству. Таким образом, важны не только количественная корректировка, но и эффективное использование существующего парковочного ресурса на основе анализа данных о заполняемости парковочных мест и прогнозирования загруженности парковок.

Для решения этих задач необходим инструмент, позволяющий моделировать и оптимизировать поведение парковочной системы в различных условиях. Таким инструментом может служить цифровой двойник парковочного пространства, позволяющий исследовать эту проблему без использования реальных ресурсов и обосновать управленческие решения на основе аналитических прогнозов. Таким образом, требуется разработка цифрового двойника для анализа и оценки использования парковочного пространства. Также необходимо исследовать факторы, влияющие на его эффективность: пространственную доступность, близость к точкам интереса, взаимосвязь с другими парковками и уровень их загруженности.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В последние годы концепция цифровых двойников находит все более широкое применение в сфере управления транспортной инфраструктурой, включая

организацию парковочного пространства. Цифровой двойник – это виртуальная модель объекта или системы, которая позволяет в реальном времени собирать и обрабатывать данные, а также проводить сценарное моделирование. Тем не менее, большинство существующих исследований сосредоточено на задачах мониторинга и накопления статистики, тогда как направления, связанные с оптимизацией процессов и прогнозированием, остаются проработанными в меньшей степени.

Так, в ряде исследований акцент сделан на применение цифровых двойников для мониторинга занятости парковочного пространства и сбора статистики. В статье [1] авторы использовали IoT-технологии с ультразвуковыми датчиками и облачными сервисами, добившись высокой точности распознавания занятости мест. В работе [2] были применены алгоритмы компьютерного зрения YOLOv7 для детекции автомобилей в связке с BIM-моделями, что позволило детектировать автомобили и визуализировать систему в 3D-среде. Несмотря на различие технологий, все эти решения направлены прежде всего на контроль текущей ситуации без моделирования сценариев или оптимизации работы парковочной системы.

В ряде исследований предприняты попытки перейти от простого мониторинга к прогнозированию. Авторы статьи [3] разработали цифровой двойник для старых жилых районов с выраженным дефицитом парковочных мест. Их система использовала комбинацию данных с сенсоров, CAD и BIM-моделей, а также методы машинного обучения. В частности, они применили LSTM-модель для прогнозирования спроса на парковку, это позволило оценивать альтернативные сценарии, такие как изменение схемы организации мест или перераспределение потоков. Тем не менее данное решение было ограничено анализом отдельных случаев и не ориентировалось на поиск оптимального распределения ресурсов.

Наиболее близкой к задачам оптимизации и прогнозирования является работа [4], в которой авторы использовали цифровой двойник в сочетании с методами многокритериальной оптимизации (Pareto-оптимизация, марковские процессы принятия решений, алгоритм роя частиц). Полученные результаты показали сокращение времени поиска парковки, энергопотребления, а также заторов. Тем не менее результаты остались в пределах имитационной среды и не были подтверждены на реальных данных, что ограничивает их применимость.

Таким образом, существующие исследования показывают, что цифровые двойники парковок в первую очередь направлены на мониторинг и сбор статистики, а отдельные примеры прогнозирования и оптимизации носят экспериментальный характер. Поэтому разработка цифрового двойника, способного моделировать динамику занятости, прогнозировать востребованность новых парковок и анализировать влияние различных управленческих решений на систему в целом, является актуальной задачей.

2. ПОЛУЧЕНИЕ И ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА

Для построения цифрового двойника парковочного пространства города Казани использовались разнородные данные, отражающие характеристики парковок и факторы внешней среды. Учитывались сведения о расположении парковочных зон и их заполняемости, а также пространственные признаки, полученные на основе анализа ближайших объектов городской инфраструктуры. Такой подход позволил сформировать основу для выявления закономерности спроса и разработки прогнозных моделей.

Для получения данных об объектах городской среды различных категорий от торговых и сервисных точек до объектов здравоохранения, туризма и образования было принято решение обратиться к проекту OpenStreetMap [5], из которого с помощью Overpass API были выгружены точки интереса (POI). Их пространственное распределение дало возможность оценить, какие зоны города потенциально притягивают автомобилистов и формируют дополнительную нагрузку на парковки (см. рис. 1).

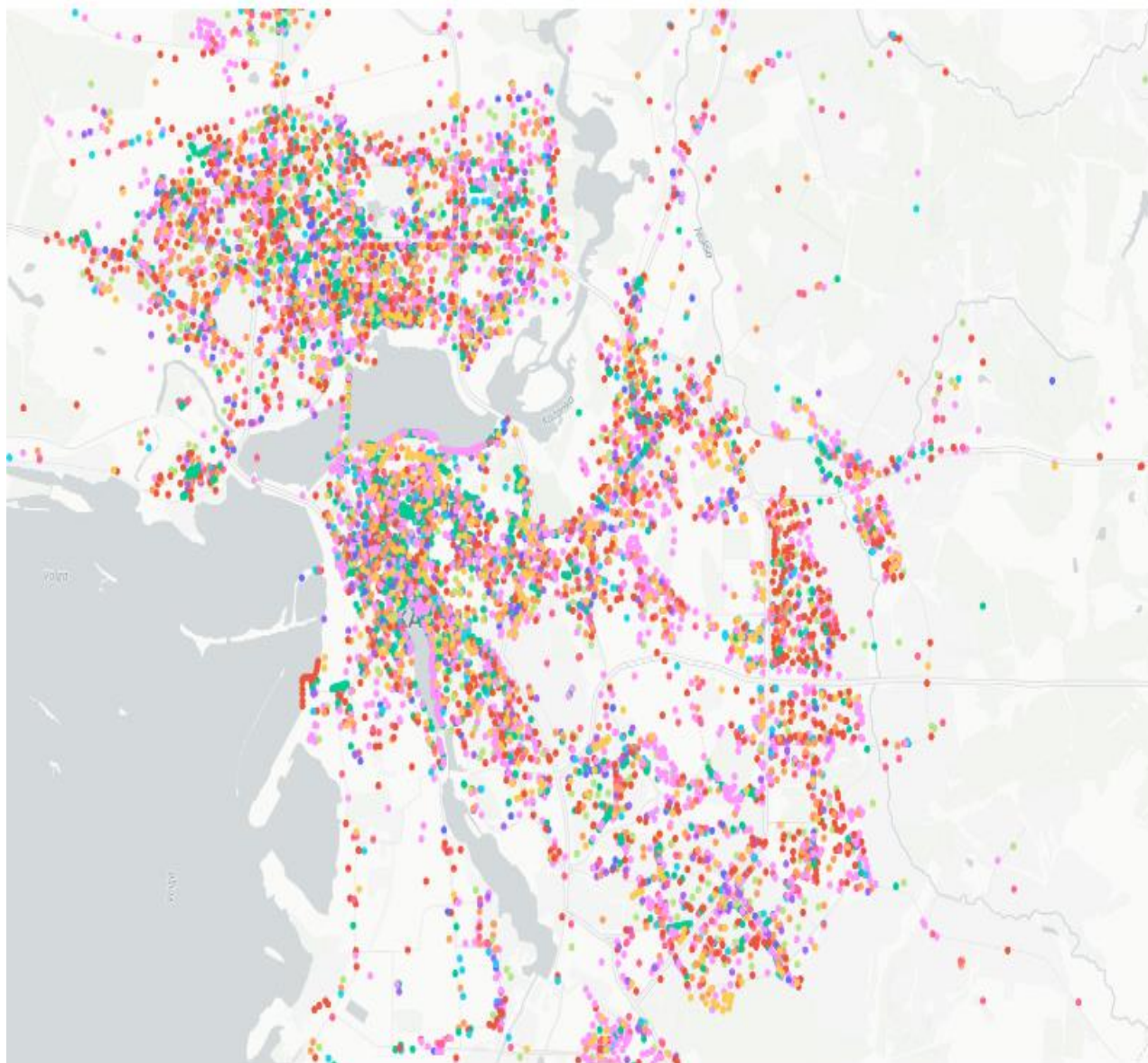


Рис. 1. Карта расположения POI в городе Казани

Данные о парковках города Казани и их заполняемости были получены с помощью сервиса parkingkzn [6]. Сбор данных проводился в течение месяца, что позволило накопить сведения о загруженности парковок в разное время суток и дни недели. Рассмотрим особенности подготовки данных для анализа.

Оба набора данных прошли многоэтапную предобработку. Для POI были выполнены фильтрация по релевантным категориям, устранение дубликатов и исправление ошибок геопозиционирования. Для данных о парковках – синхронизация временных рядов, удаление пропусков и сглаживание шумов, возникающих при кратковременных сбоях фиксации.

Дополнительно была проведена интеграция пространственных и временных признаков: для каждой парковки рассчитывалось количество POI определенных типов в радиусе 200 метров, а также формировались новые атрибуты: время суток, день недели, ценовая категория и доля свободных мест.

Для выявления скрытых закономерностей в пространстве распределения объектов был применен метод кластеризации k-means [7]. На рисунке 2 представлена визуализация результатов кластеризации.

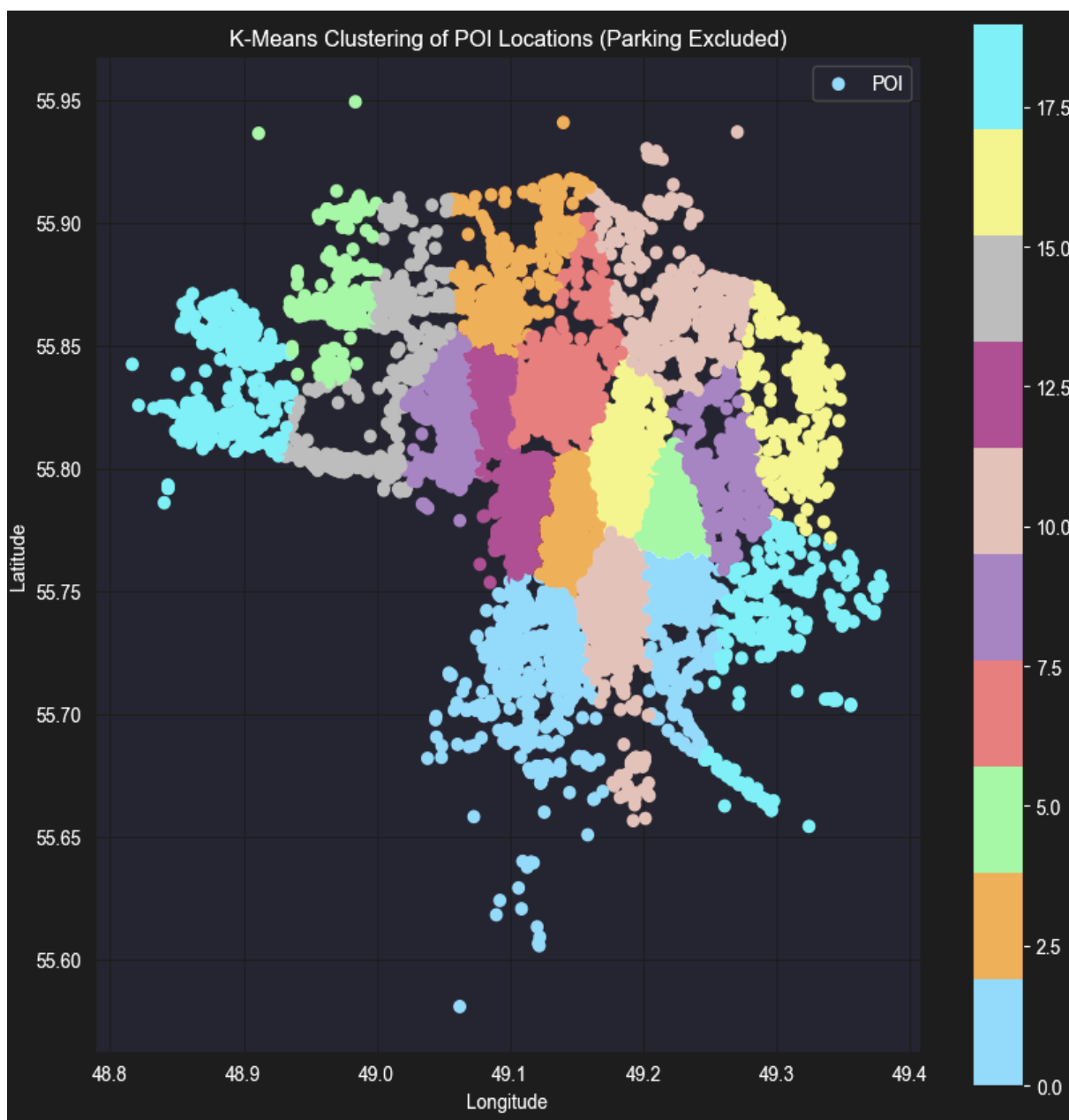


Рис. 2. Визуализация разделения POI на кластеры алгоритмом k-means

В результате удалось сгруппировать точки интереса в 20-ти кластерах, каждый из которых отражал специфический «портрет» городской среды, от зон деловой активности до жилых кварталов. Эта информация была использована в качестве дополнительного фактора при прогнозировании заполняемости парковок, что позволило учесть не только абсолютное число объектов, но и их типологическую структуру.

Следующим этапом стал анализ взаимосвязей между признаками. Для этого была построена матрица корреляций, которая позволила выявить параметры, наиболее сильно влияющие на заполняемость парковок (см. рис. 3).

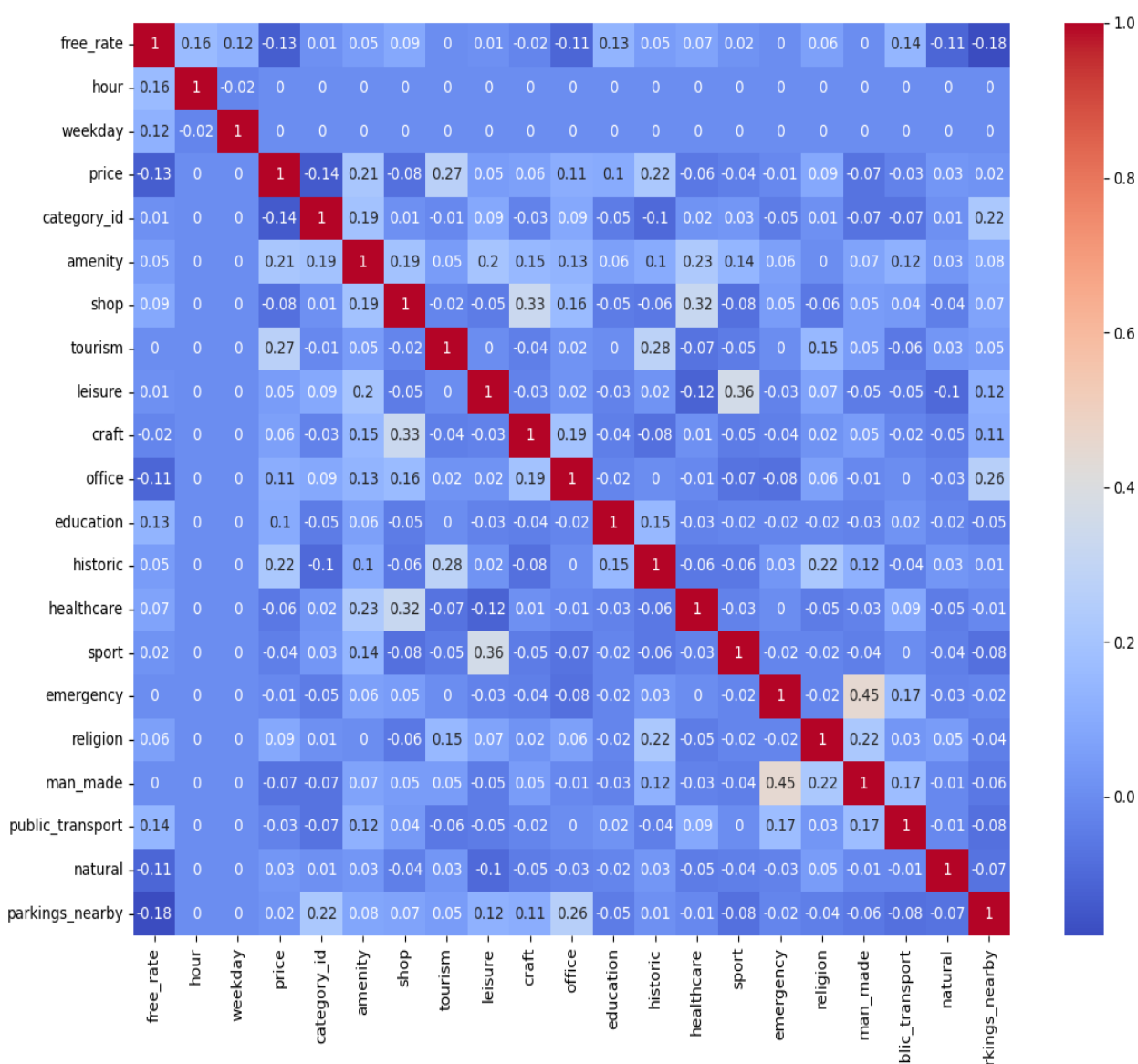


Рис. 3. Матрица корреляции

Как видно из рисунка, высокая корреляция наблюдалась между количеством торговых объектов, расположенных вблизи парковки, и ее фактической загруженностью, а также между ценовой категорией и долей свободных мест. Совмещение результатов корреляционного анализа с кластеризацией POI дало возможность выделить подмножество признаков, наиболее информативных для прогнозной модели.

Таким образом, подготовка данных включала не только очистку и фильтрацию, но и формирование новых признаков, проведение кластеризации и корреляционного анализа. Такой комплексный подход обеспечил построение репрезентативной выборки, отражающей как внутреннюю динамику парковочных зон, так и влияние городской инфраструктуры. Это создало прочную основу для последующего моделирования сценариев и прогнозирования востребованности парковочных мест.

3. ПОСТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

После подготовки и анализа данных следующим этапом стало построение моделей, способных прогнозировать уровень заполняемости парковочных зон. Основная задача состояла в том, чтобы сравнить эффективность различных методов машинного обучения и определить, какие из них лучше подходят для практического применения. Для сравнительного анализа были выбраны следующие модели: линейная регрессия [8], дерево решений [9], случайный лес [10], XGBoost [11], многослойный перцептрон (MLP) [12, 13] и рекуррентная нейронная сеть LSTM [14, 15]. Такой выбор позволил охватить как классические методы, так и более сложные модели, учитывающие нелинейные зависимости.

Все модели обучались на наборе данных, включавшем временные признаки (день недели, время суток), пространственные характеристики (количество точек интереса различных типов, принадлежность к кластерам), а также информацию о ценовой политике и категории парковки.

На рисунке 4 представлены результаты моделирования.

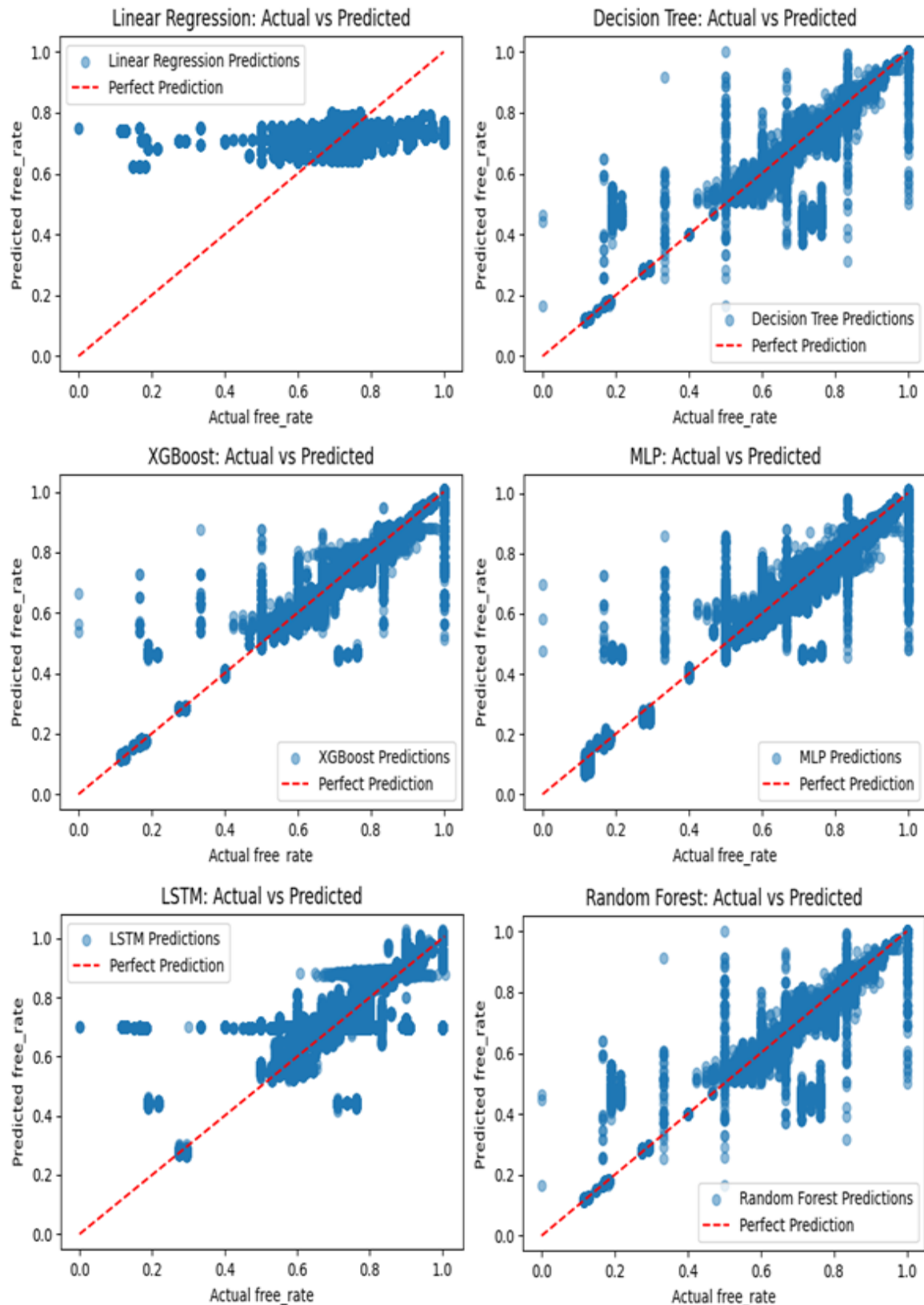


Рис. 4. Графики сравнения реальных данных по заполняемости парковочных мест и данных, полученных моделями

Для оценки качества прогнозирования применялись метрики MSE, RMSE, R2 и MAPE, что обеспечило комплексное сравнение моделей с разных сторон: как по точности приближения фактических значений, так и по способности улавливать закономерности в данных.

На рисунке 5 представлены результаты сравнения построенных моделей по указанным метрикам.

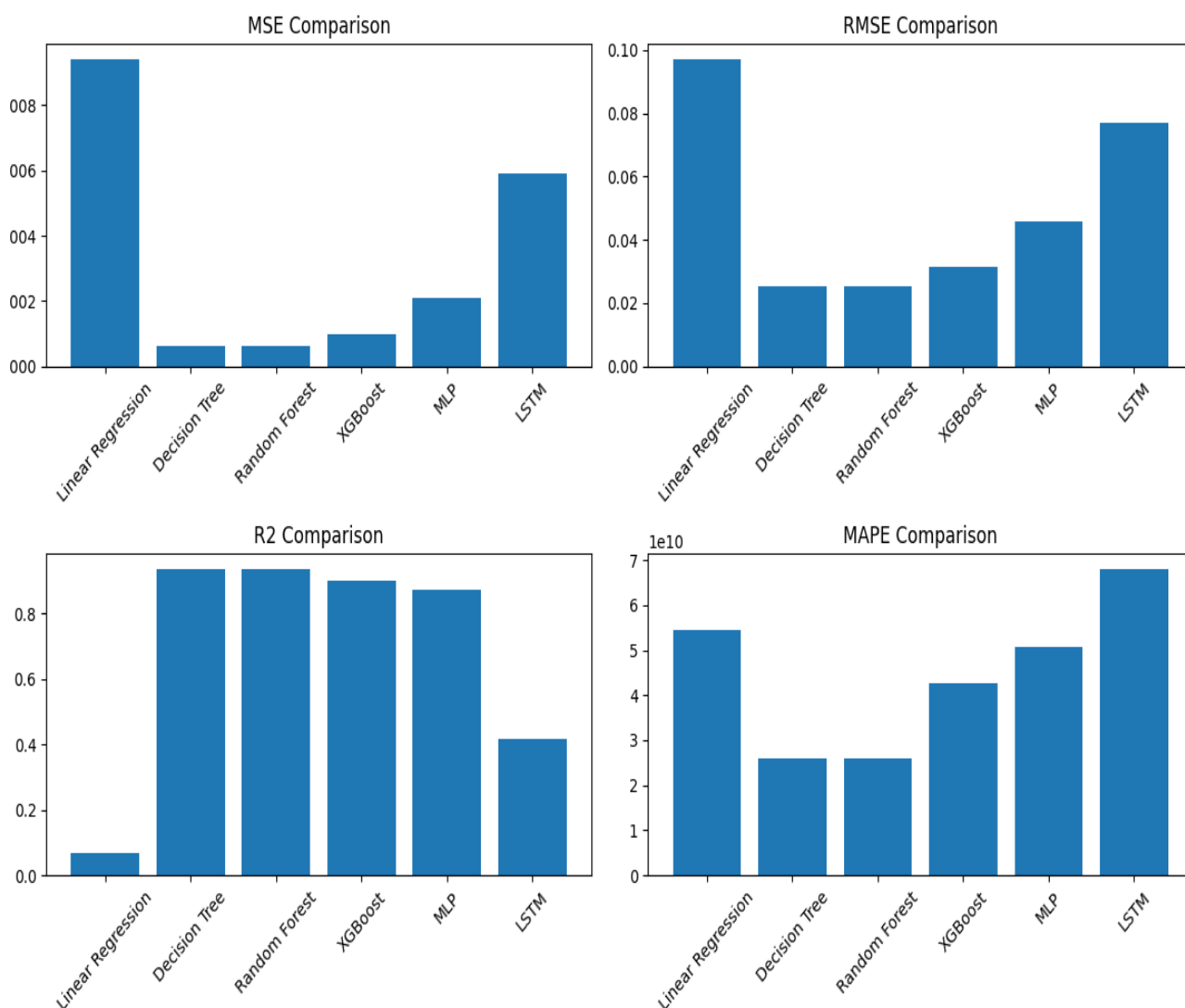


Рис. 5. Графики сравнения метрик точности построенных моделей

Результаты экспериментов показали, что наиболее высокую точность продемонстрировала модель случайного леса, которая оказалась наиболее устойчивой к переобучению. Более низкие значения точности были у XGBoost и дерева решений. Нейросетевые модели оказались менее результативными. LSTM лучше

справлялась с описанием временной динамики по сравнению с MLP, однако их прогностическая способность уступала ансамблевым методам. Наименее удовлетворительные результаты продемонстрировала модель линейной регрессии, что обусловлено ее ограниченной возможностью учитывать нелинейные взаимосвязи между признаками.

Сравнительный анализ построенных моделей позволил сделать вывод о том, что случайный лес является наиболее подходящим методом для решения задачи прогнозирования заполняемости парковочных пространств.

4. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Для реализации цифрового двойника была разработана программа, объединяющая данные о парковках и окружающей инфраструктуре. На рисунке 6 представлена карта, формируемая программой, где каждая парковка визуализируется в виде отдельного объекта с возможностью просмотра ее характеристик и текущего уровня загруженности.

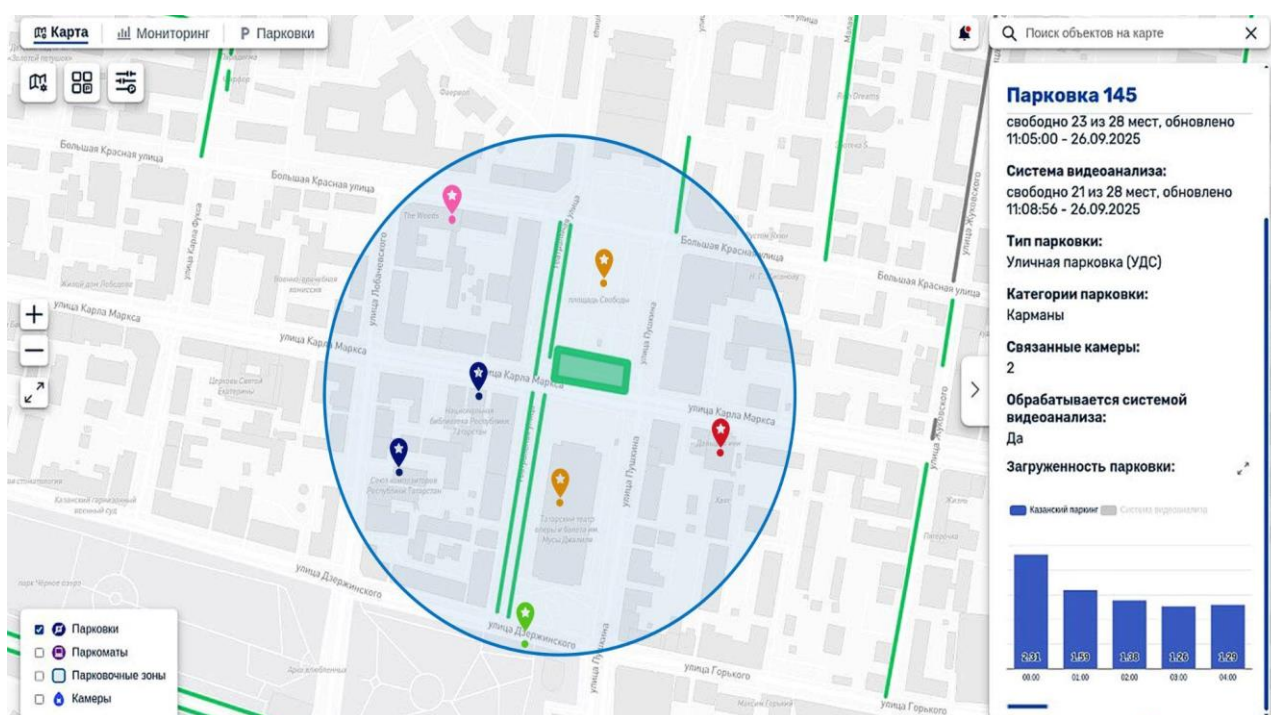


Рис. 6. Интерфейс работы системы

Система интегрирует данные о количестве свободных мест, категории парковки, ее типе и технических параметрах. Пользователям доступна информация о точках интереса (POI), расположенных вблизи каждой парковочной зоны. Для

каждой парковки рассчитывается радиус окружения, в пределах которого анализируется количество магазинов, учреждений, объектов культуры, здравоохранения и других объектов.

Система также предоставляет инструменты для взаимодействия пользователя с цифровым двойником, предусмотрена возможность добавления новых объектов (парковок или точек интереса), а также изменения стоимости парковок и их вместимости. Это позволяет проводить сценарное моделирование, оценивая, как те или иные изменения повлияют на загрузку парковочной зоны.

Дополнительно реализована визуализация динамики загруженности в разные периоды времени. Пользователь может просматривать графики изменения уровня занятости парковки в течение суток и недели. Такая функциональность делает систему не только инструментом мониторинга, но и полноценной аналитической платформой для поддержки управленческих решений. На рисунке 7 представлен пример такого графика.



Рис. 7. График зависимости количества занятых парковочных мест от времени

Разработанный прототип цифрового двойника демонстрирует, каким образом можно объединять данные из различных источников, представлять их в удобной визуальной форме и использовать для аналитики. Система позволяет не

только отслеживать текущую ситуацию, но и моделировать изменения за счет изменения параметров парковок и окружения. Это превращает ее из инструмента мониторинга в платформу для поддержки управленческих решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена проблема дефицита парковочных мест и показано, что традиционные методы ее решения не эффективны. Проведенный обзор литературы подтвердил, что существующие цифровые двойники парковок в основном ориентированы на мониторинг и сбор статистики, в то время как прогнозирование и оптимизация остаются недостаточно проработанными. На примере города Казани разработан прототип цифрового двойника, основанный на данных OpenStreetMap и сервиса «Казанский паркинг». После очистки и анализа данных были построены модели прогнозирования заполняемости парковок, среди которых наилучшие результаты продемонстрировал алгоритм случайного леса. Разработанная система объединяет мониторинг и аналитику с возможностью сценарного моделирования, что превращает ее в инструмент поддержки управленческих решений. Полученные результаты подтверждают перспективность применения цифровых двойников для повышения эффективности управления городской парковочной инфраструктурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Amusan A.A., Ogunleye G.A.* A Digital Twin-Enabled Smart Car Park Management System: Architecture and Impact on Emission Reduction // *FUOYE Journal of Engineering and Technology*. 2024. Vol. 9. No. 4. P. 629–635.
2. *Coching J.K. et al.* Digital Twinning Mechanism and Building Information Modeling for a Smart Parking Management System // *Smart Cities*. 2025. Vol. 8. No. 5. P. 146.
3. *Zou Y. et al.* A Digital Twin prototype for smart parking management // *ECPPM 2022-eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022*. CRC Press, 2023. P. 250–257.
4. *Chen W., Wang X., Wu M.* Intelligent Parking Service System Design Based on Digital Twin for Old Residential Areas // *Electronics*. 2024. Vol. 13. No. 23. P. 4597.

5. Open Street Map: сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 25.08.2025).

6. Горпарковки Казань. Официальный сайт сервиса парковок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://parkingkzn.ru/ru/> (дата обращения: 25.08.2025).

7. *Aliguliyev R., Tahirzada S.F.* Performance comparison of k-means, parallel k-means and k-means++ // *Reliability: Theory & Applications*. 2025. Vol. 20. No. S7 (83). P. 169–176.

8. *Базилевский М.П.* Решение оптимизационной задачи оценивания моделей полносвязной линейной регрессии // *Моделирование и анализ данных*. 2024. Т. 14. № 1. С. 121–134.

9. *Пырнова О.А., Катасёв А.С.* Построение и оценка эффективности модели дерева решений для прогнозирования успеваемости обучающихся // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 4 (112). С. 578–584.

10. *Utkin L., Konstantinov A.* Random survival forests incorporated by the Nadaraya-Watson regression // *Informatics and Automation*. 2022. Vol. 21. No. 5. P. 851–880.

11. *Chen T., Guestrin C.* XGBoost: A scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining*. 2016. P. 785–794.

12. *Матвеева К.А., Минниханов Р.Н., Катасёв А.С.* Сверточная нейросетевая модель акустического обнаружения аварийно-спасательных машин // *Вестник Технологического университета*. 2024. Т. 27. № 1. С. 76–80.

13. *Комарцова Л.Г., Кадников Д.С.* Исследование генетических алгоритмов для обучения многослойного персептрона // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2010. № 12. С. 12–19.

14. *Hochreiter S., Schmidhuber J.* Long short-term memory // *Neural computation*. 1997. Vol. 9. No. 8. P. 1735–1780.

15. *Емалетдинова Л.Ю., Вильданов Н.Р., Катасёв А.С.* Использование нейросетевой модели TCN-LSTM для прогнозирования значений временного ряда // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2023. № 6. С. 62–64.

DIGITAL TWIN OF PARKING SPACE

R. N. Minnikhanov¹ [0000-0001-9166-2955], T. R. Batorshin² [0009-0001-9995-8854],
R. M. Gabbazov³ [0009-0009-9187-9121], R. I. Fakhraziev⁴ [0009-0008-3463-7663],
A. S. Katasev⁵ [0000-0002-9446-0491], M. V. Dagaeva⁶ [0000-0002-5444-9669],
I. R. Badrutdinov⁷ [0009-0001-6343-4709]

¹Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, 420111, Russia

^{1, 6}SBI "Road Safety", Kazan, 420059, Russia

²Kazan State Power Engineering University, Kazan, 420066, Russia

^{3-5, 7}Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, 420111, Russia

¹Priemnaya.Minnihanov@tatar.ru, ²Timur.Batorshin.02@gmail.com,

³GabbazovRM@stud.kai.ru, ⁴FakhrazievRI@stud.kai.ru, ⁵ASKatasev@kai.ru,

⁶ITS.Center.kzn@gmail.com, ⁷BadrutdinovIR@stud.kai.ru

Abstract

Increasing urbanization and motorization lead to a shortage of parking spaces, resulting in congestion, increased emissions, and a declining quality of life. Traditional parking management methods are ineffective in addressing this issue, necessitating the use of data analysis and forecasting tools. This paper examines the use of a digital twin of the Kazan parking system. Data was filtered and integrated, points of interest were clustered, and a correlation analysis of factors influencing parking occupancy was performed. Linear regression, decision tree, random forest, XGBoost, MLP, and LSTM models were trained and compared to predict occupancy levels. The random forest model demonstrated the best results. The developed digital twin prototype enables monitoring and scenario modeling, making it an effective tool for parking space optimization and management decision-making.

Keywords: *digital twin, parking, parking space occupancy, machine learning, points of interest, optimization.*

REFERENCES

1. Amusan A.A., Ogunleye G.A. A Digital Twin-Enabled Smart Car Park Management System: Architecture and Impact on Emission Reduction // FUOYE Journal of Engineering and Technology. 2024. Vol. 9. No. 4. P. 629–635.

2. *Coching J.K. et al.* Digital Twinning Mechanism and Building Information Modeling for a Smart Parking Management System // Smart Cities. 2025. Vol. 8. No. 5. P. 146.
3. *Zou Y. et al.* A Digital Twin prototype for smart parking management // ECPPM 2022-eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022. CRC Press, 2023. P. 250–257.
4. *Chen W., Wang X., Wu M.* Intelligent Parking Service System Design Based on Digital Twin for Old Residential Areas // Electronics. 2024. Vol. 13. No. 23. P. 4597.
5. Open Street Map: sajt [Elektronnyj resurs].
URL: <https://www.openstreetmap.org/> (last access: 25.08.2025).
6. Gorparkovki Kazan'. Oficial'nyj sajt servisa parkovok [Elektronnyj resurs].
URL: <https://parkingkzn.ru/ru/> (last access: 25.08.2025).
7. *Aliguliyev R., Tahirzada S.F.* Performance comparison of k-means, parallel k-means and k-means++ // Reliability: Theory & Applications. 2025. Vol. 20. No. S7 (83). P. 169–176.
8. *Bazilevsky M.P.* Reshenie optimizacionnoj zadachi ocenivaniya modelej polnosvyaznoj linejnoj regressii // Modeling and data analysis. 2024. Vol. 14. No. 1. P. 121–134.
9. *Pyrnova O.A., Katasev A.S.* Postroenie i ocenka effektivnosti modeli dereva reshenij dlya prognozirovaniya uspevaemosti obuchayushchihsya // Engineering Bulletin of the Don. 2024. No. 4 (112). P. 578–584.
10. *Utkin L., Konstantinov A.* Random survival forests incorporated by the Nadaraya-Watson regression // Informatics and Automation. 2022. Vol. 21. No. 5. P. 851–880.
11. *Chen T., Guestrin C.* XGBoost: A scalable tree boosting system // Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining. 2016. P. 785–794.
12. *Matveeva K.A., Minnikhanov R.N., Katasev A.S.* Svertochnaya nejrosetevaya model' akusticheskogo obnaruzheniya avarijno-spasatel'nyh mashin // Bulletin of the Technological University. 2024. Vol. 27. No. 1. P. 76–80.

13. *Komartsova L.G., Kadnikov D.S.* Issledovanie geneticheskikh algoritmov dlya obucheniya mnogoslojnogo perseptrona // *Neurocomputers: development, application*. 2010. No. 12. P. 12–19.

14. *Hochreiter S., Schmidhuber J.* Long short-term memory // *Neural computation*. 1997. Vol. 9. No. 8. P. 1735–1780.

15. *Emaletdinova L.Yu., Vildanov N.R., Katasev A.S.* Ispol'zovanie nejrosetevoj modeli TCN-LSTM dlya prognozirovaniya znachenij vremennogo ryada // *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2023. No. 6. P. 62–64.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



МИННИХАНОВ Рифкат Нургалиевич – д. т. н., проф., Президент Академии наук Республики Татарстан, директор ГБУ «Безопасность дорожного движения».

Rifkat Nurgalievich MINNIKHANOV – Doctor of Technical Sciences, Professor, President of the Tatarstan Academy of Sciences, Director of the SBI "Road Safety".

email: Priemnaya.Minnihanov@tatar.ru

ORCID: 0000-0001-9166-2955



БАТОРШИН Тимур Русланович – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов и производств Казанского государственного энергетического университета.

Timur Ruslanovich BATORSHIN – Master's student of the Department of Automation of Technological Processes and Production of the Kazan State Power Engineering University.

email: Timur.Batorshin.02@gmail.com

ORCID: 0009-0001-9995-8854



ГАББАЗОВ Руслан Марселевич – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ).

Ruslan Marselevich GABBAZOV – postgraduate student of the Department of Automated Systems for Information Processing and Control of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (KNRTU-KAI).

email: GabbazovRM@stud.kai.ru

ORCID: 0009-0009-9187-9121



ФАХРАЗИЕВ Рузель Ильдарович – магистрант кафедры систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ.

Ruzel Ildarovich FAKHRAZIEV – Master's student of the Department of Information Security Systems of the KNRTU-KAI.

email: FakhrazievRI@stud.kai.ru

ORCID: 0009-0008-3463-7663



КАТАСЁВ Алексей Сергеевич – д. т. н., проф., профессор кафедры систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ.

Alexey Sergeevich KATASEV – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Security Systems of the KNRTU-KAI.

email: ASKatasev@kai.ru

ORCID: 0000-0002-9446-0491

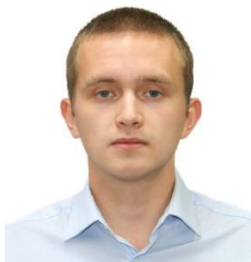


ДАГАЕВА Мария Витальевна – к. т. н., начальник Центра разработки и сопровождения информационных систем ГБУ «Безопасность дорожного движения».

Maria Vitalievna DAGAEVA – Candidate of Technical Sciences, Head of the Center for Development and Maintenance of Information Systems of the SBI "Road Safety".

email: ITS.Center.kzn@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5444-9669



БАДРУТДИНОВ Инзиль Ринатович – магистрант кафедры прикладной математики и информатики КНИТУ-КАИ.

Inzil Rinatovich BADRUTDINOV – Master's student at the Department of Applied Mathematics and Informatics of the KNRTU-KAI.

email: BadrutdinovIR@stud.kai.ru

ORCID: 0009-0001-6343-4709

Материал поступил в редакцию 28 августа 2025 года