

DOI: 10.12731/3033-5965-2025-15-3-370

EDN: VKTGZT



УДК 656.135.4

Научная статья |

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПАРКОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

А.Е. Кривоногова, А.Г. Исавнин

Аннотация

Обоснование. В статье исследуется актуальная проблема дефицита парковочных пространств в современных городских условиях. Авторами разработано инновационное решение на основе автоматизированной системы мониторинга, использующей методы компьютерного зрения и глубокого обучения. Проведен комплексный анализ существующих мировых аналогов систем управления парковками с выделением их конкурентных преимуществ и существенных ограничений. В качестве методологической основы предложена детализированная процессная модель, представленная в нотации BPMN 2.0, которая включает описание архитектуры решения, алгоритмы обработки видеоданных и методику обучения нейронной сети. Особое внимание уделено разработке специализированного шаблона отчетности, обеспечивающего наглядное представление статистических данных о занятости парковочных мест в режиме реального времени.

Цель – повышение эффективности управления парковочной инфраструктурой за счет внедрения интеллектуальных алгоритмов автоматического распознавания.

Материалы и методы. В работе применяется комплекс современных методов, включая технологии машинного обучения (с акцентом

на использование модели YOLOv8m), принципы системного анализа и синтеза, а также методы статистической обработки данных.

Результаты. Экспериментальные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода, демонстрируя стабильно высокую точность детектирования свободных парковочных мест, превышающую 80%. В перспективе развития системы авторы выделяют три ключевых направления: обеспечение масштабируемости для работы с крупными парковочными комплексами, оптимизацию пользовательских интерфейсов и дальнейшее повышение точности детектирования за счет совершенствования алгоритмов. Полученные результаты имеют значительную практическую ценность для решения актуальных задач smart city и оптимизации городской инфраструктуры.

Ключевые слова: машинное обучение; нейронные сети; интеллектуальная транспортная система; автоматизированный мониторинг; автомобилизация

Для цитирования. Кривоногова, А. Е., & Исавнин, А. Г. (2025). Автоматизированный мониторинг инфраструктуры парковки с использованием методов машинного обучения и компьютерного зрения. *Transportation and Information Technologies in Russia*, 15(3), 72–91. <https://doi.org/10.12731/3033-5965-2025-15-3-370>

Original article | System Analysis, Management and Information Processing, Statistics

AUTOMATED MONITORING OF PARKING INFRASTRUCTURE USING MACHINE LEARNING AND COMPUTER VISION METHODS

A.E. Krivonogova, A.G. Isavnin

Abstract

Background. The article examines the current problem of parking space shortage in modern urban conditions. The authors have developed an innovative solution based on an automated monitoring system using

computer vision and deep learning methods. A comprehensive analysis of existing global analogues of parking management systems is carried out, highlighting their competitive advantages and significant limitations. As a methodological basis, a detailed process model presented in BPMN 2.0 notation is proposed, which includes a description of the solution architecture, video data processing algorithms and a neural network training methodology. Particular attention is paid to the development of a specialized reporting template that provides a visual representation of statistical data on the occupancy of parking spaces in real time.

Purpose. The purpose is to improve the efficiency of parking infrastructure management through the implementation of intelligent algorithms for automatic recognition.

Materials and methods. The study employed a comprehensive scientific approach incorporating machine learning techniques, systems theory, systems analysis and synthesis, along with analytical and statistical methods.

Results. The work uses a set of modern methods, including machine learning technologies (with an emphasis on the use of the YOLOv8m model), principles of system analysis and synthesis, as well as methods of statistical data processing.

Keywords: machine learning; neural networks; intelligent transport system; automated monitoring; motorization

For citation. Krivonogova, A. E., & Isavnin, A. G. (2025). Automated monitoring of parking infrastructure using machine learning and computer vision methods. *Transportation and Information Technologies in Russia*, 15(3), 72–91. <https://doi.org/10.12731/3033-5965-2025-15-3-370>

Введение

Российский автомобильный рынок демонстрирует устойчивую положительную динамику в 2024 году. Эксперты «АВТОСТАТ» зафиксировали продажи 1,15 млн. новых легковых автомобилей за январь-сентябрь текущего года, что представляет собой рост на 60,9% в годовом исчислении [1]. При этом плотность автомо-

бильного парка в стране увеличилась до 322 машин на тысячу человек [2], что отражает интенсивный процесс насыщения рынка. Данная тенденция характеризуется комплексом взаимосвязанных социально-экономических и экологических последствий. С одной стороны, отмечаются позитивные эффекты, включающие повышение транспортной мобильности населения, сокращение временных затрат на передвижение, рост комфортности перемещений и стимулирование развития дорожно-транспортной инфраструктуры. С другой стороны, эмпирические наблюдения фиксируют ряд негативных явлений: ухудшение экологической ситуации вследствие повышенных выбросов загрязняющих веществ, увеличение загруженности дорожной сети, рост уровня шумового загрязнения в урбанизированных зонах, а также обострение проблемы дефицита парковочных пространств. Указанные процессы требуют комплексного междисциплинарного изучения с позиций транспортной экономики, урбанистики и экологического менеджмента для разработки сбалансированных решений.

Основные принципы организации и управления парковочным пространством, в условиях его ограниченности

Оптимизация управления парковочными ресурсами в условиях их дефицита представляет собой системный комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на эффективное управление использованием парковочных мест и минимизацию негативных последствий дефицита парковочных площадей.

Рассмотрим современные подходы к решению проблемы дефицита парковочных пространств. Одним из наиболее эффективных способов решения данной проблемы является строительство многоуровневых и подземных парковочных комплексов. [7]. Современные архитектурно-планировочные решения в данной области включают создание подземных паркингов (1-5 уровней), надземных многоэтажных сооружений (до 10-15 ярусов) и комбинированных парковочных систем, что позволяет существенно оптимизировать использование

ограниченного городского пространства. Основные преимущества многоуровневых парковочных комплексов включают: значительную оптимизацию использования городского пространства (плотность размещения транспортных средств в 3-5 раз выше, чем на наземных парковках), снижение уровня акустического воздействия на 15-20 дБ по сравнению с открытыми парковочными площадками, улучшение экологических показателей за счет сокращения выбросов в жилых зонах на 25-30%, а также существенное повышение защищенности транспортных средств (снижение риска угона на 40-60%). Однако реализация подобных проектов сопряжена с рядом существенных ограничений: высокой капиталоемкостью, техническими сложностями при реализации в условиях плотной городской застройки, необходимостью применения дополнительных инженерных решений (включая системы вентиляции, дренажа и противопожарной безопасности), а также ограниченной пропускной способностью въездных и выездных узлов в периоды пиковой нагрузки.

Вторым значимым направлением оптимизации парковочного пространства выступает внедрение системы платных парковок. Данный метод регулирования транспортных потоков демонстрирует комплексное воздействие на городскую среду. Ключевые преимущества данной системы, подтвержденные международной практикой городского планирования, включают: существенное сокращение времени поиска свободных парковочных мест (на 25-40% согласно исследованиям транспортных департаментов европейских городов), значительное уменьшение количества нарушений правил парковки (до 60-70% по данным мониторинга), повышение пропускной способности основных транспортных артерий на 15-20%, улучшение визуального восприятия городского пространства за счет упорядочивания парковочной деятельности, а также заметное улучшение экологических показателей (снижение уровня вредных выбросов на 10-15% в зонах действия платных парковок).

Однако анализ социально-экономических последствий внедрения данной системы выявляет ряд существенных проблемных аспектов.

Наиболее критичными из них являются: прогрессирующее сокращение количества бесплатных парковочных мест (до 80-90% в центральных районах крупных городов), установление экономически обоснованных тарифов на парковку, что создает условия для социального неравенства в доступе к городской инфраструктуре [4].

Третьим перспективным направлением оптимизации парковочного пространства является внедрение систем автоматизированного мониторинга, основанных на современных цифровых технологиях. [5]. Особенностью предлагаемого решения является его ориентация на массового пользователя - система разрабатывается с учетом требований доступности, простоты использования и минимальных требований к техническому оснащению пользовательских устройств.

В рамках данного исследования, ориентированного на повышение качества городской среды и комфорта жителей, был выбран именно технологический подход, основанный на применении искусственного интеллекта [11].

Пролонгирование решения проблемы дефицита парковочных пространств может спровоцировать существенное ухудшение дорожно-транспортной ситуации. Статистический анализ аварийности в мегаполисах (Москва, СПб) подтверждает, что до 23% всех ДТП происходят в зонах с острым дефицитом парковочных мест (Центр транспортного планирования, 2024) [3]. Особую опасность представляют: стихийные парковки на проезжей части препятствование работе общественного транспорта, перекрытие пешеходных переходов и велодорожек

Перспективным направлением оптимизации использования парковочных пространств является внедрение автоматизированных систем мониторинга на основе технологий искусственного интеллекта [6]. Внедрение автоматизированных систем мониторинга на основе технологий искусственного интеллекта обеспечивает ряд значимых преимуществ, подтвержденных практическими исследованиями. Ключевым достоинством данного подхода является возможность осуществления непрерывного онлайн-анализа состояния парковоч-

ных пространств с использованием современных алгоритмов компьютерного зрения и глубокого обучения. Технологические решения такого класса демонстрируют высокую эффективность в решении следующих задач: существенное сокращение временных затрат на поиск свободных парковочных мест (по данным полевых испытаний, время поиска сокращается на 40-60% по сравнению с традиционными методами), а также значительная экономия топливных ресурсов за счет минимизации холостого пробега транспортных средств в процессе поиска парковки (исследования показывают снижение расхода топлива на 15-20% в зонах действия подобных систем) [14]. Дополнительным преимуществом является синергетический эффект от интеграции таких систем с городскими службами и навигационными приложениями, что создает предпосылки для формирования комплексной экосистемы управления городской мобильностью [14].

Исследование существующих программных решений

В ходе изучения актуальных технологий для обнаружения доступных парковочных мест были проанализированы такие сервисы, как Parkopedia, Яндекс.Парковки и Waze [13].

В ходе исследования современных технологических решений для идентификации свободных парковочных мест был проведен комплексный анализ функциональных характеристик сервисов Parkopedia, Яндекс.Парковки и Waze [13]. Сервис Parkopedia демонстрирует ряд конкурентных преимуществ, включая глобальный охват парковочной инфраструктуры, детализированную информацию о параметрах парковочных зон, интегрированные функции бронирования и электронных платежей, расширенные возможности фильтрации по стоимости, удаленности от целевого объекта и наличию специализированных услуг, а также встроенные навигационные модули для маршрутизации. Однако выявлены существенные ограничения: проблемы актуализации данных, отсутствие информации о специализированных типах парковочных пространств, потенциальные ограничения функциональности в отдельных ре-

гионах, обусловленные зарубежным происхождением платформы. Приложение Яндекс.Парковки характеризуется высокой степенью покрытия парковочной инфраструктуры в Российской Федерации, эргономичным пользовательским интерфейсом и интегрированной системой безналичных расчетов. К существенным недостаткам относятся нестабильность работы программного обеспечения, отсутствие механизма резервирования парковочных мест, неполнота данных по отдельным парковочным объектам и временные задержки в обновлении информации о доступности мест. Сервис Waze обеспечивает оперативное обновление данных в режиме реального времени и алгоритмы оптимизации маршрутов. При этом отмечаются следующие ограничения: отсутствие специализированных фильтров для поиска парковочных мест, наличие ошибок в предоставляемых данных и территориальные ограничения функциональности, характерные для зарубежных разработок. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования систем мониторинга парковочных пространств, в частности в направлениях повышения точности данных, расширения функциональных возможностей и адаптации к региональным особенностям.

Анализ ИИ-решений для мониторинга парковок выявил их несоответствие ключевым требованиям: классификация мест (включая специализированные), визуализация свободных мест в реальном времени, интеллектуальный поиск с учетом типа ТС (легковые/грузовые) и способа парковки (перпендикулярная/параллельная). Особую важность представляет бесплатность сервиса, так как большинство водителей используют такие приложения нерегулярно. Отсутствие комплексных решений указывает на необходимость разработки open-source платформы с компьютерным зрением и машинным обучением [13].

Для решения поставленной задачи предлагается использование сверточной нейронной сети (CNN), оптимальной для задач компьютерного зрения [8; 9]. Система будет обрабатывать видеопоток с камер наблюдения, выполняя детекцию транспортных средств и клас-

сификацию состояния парковочных мест (занято/свободно) в радиусе 500 метров. Архитектура CNN предусматривает многоэтапную обработку данных: прием видеосигнала, сегментацию объектов, определение их статуса и формирование зоны анализа, что обеспечивает высокую точность распознавания при работе в реальном времени.

Функциональное моделирование системы поддержки принятия решений (СППР) и ее концептуальная модель

Формальное моделирование предметной области управления парковочным пространством было выполнено с использованием нотации BPMN 2.0 - стандартизированного языка графического представления бизнес-процессов, обеспечивающего эффективную визуализацию и последующую имплементацию процессных моделей [12]. В рамках исследования процесс «Мониторинг парковочного пространства» был декомпозирован на две взаимосвязанные подпроцедуры: верификация доступности запрашиваемого парковочного места, непрерывный анализ видеопотока с парковочной территории.

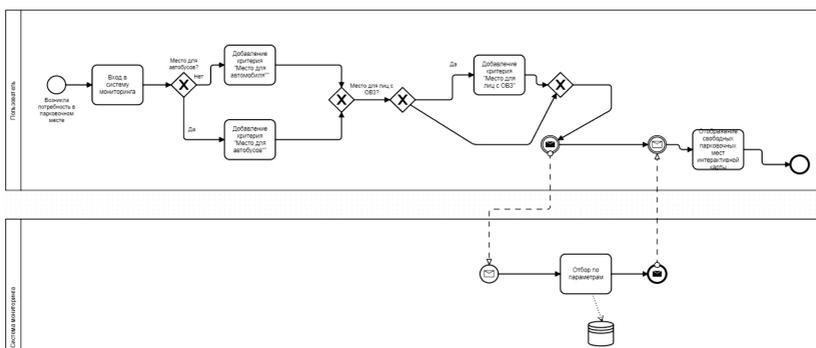


Рис. 1. Декомпозиция задачи «Верификация доступности запрашиваемого парковочного места»

В рамках исследования исходные данные поступают с камер видеонаблюдения MagicPro [4] с частотой обновления 30 секунд. Для обработки и анализа данных используется программный стек,

включающий язык программирования Python (версия 3.9), нейросетевую модель YOLOv8 для детекции объектов, язык запросов SQL и СУБД SQLite, выбор которой обусловлен низкими требованиями к системным ресурсам, простотой интеграции с Python и возможностью работы в embedded-режиме.

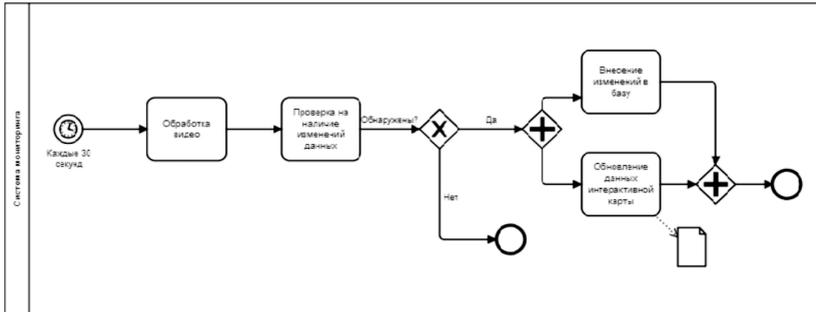


Рис. 2. Декомпозиция задачи «Непрерывный анализ видеопотока с парковочной территории.»



Рис. 3. Концептуальная модель СПМР

В результате обработки данных формируются: интерактивная карта парковочных мест, статистика загруженности в реальном времени, а также рекомендательная система по поиску альтернативных парковочных мест в радиусе 500 м при отсутствии сво-

бодных мест на текущей парковке. Применяемая методология обработки данных соответствует современным подходам в области компьютерного зрения и анализа пространственных данных [4].

```

train_yolo.py
C:\> vkr\project\3_YOLOv8\2_train_yolo.py
+ Code + Markdown | Run All | Restart | Clear All Outputs | Variables | Outline ...
waiting for success...
logging results to runs\detect\train2
Starting training for 3 epochs...

Epoch  GPU_mem  box_loss  cls_loss  dfl_loss  Instances  Size
1/3      0G      1.016    0.9392   1.318     56         640: 100% |██████████| 450/450 [53:06:00:00, 7.08s/it]
class   Images  Instances  Box(P   R
all     450    4889     0.884   0.781   0.745   0.39

Epoch  GPU_mem  box_loss  cls_loss  dfl_loss  Instances  Size
2/3      0G      0.5979   0.5655   1.056     47         640: 100% |██████████| 450/450 [51:24:00:00, 6.85s/it]
class   Images  Instances  Box(P   R
all     450    4889     0.848   0.78   0.772   0.416

Epoch  GPU_mem  box_loss  cls_loss  dfl_loss  Instances  Size
3/3      0G      0.5802   0.497    1.01     53         640: 100% |██████████| 450/450 [50:37:00:00, 6.75s/it]
class   Images  Instances  Box(P   R
all     450    4889     0.893   0.786   0.806   0.455

3 epochs completed in 2.843 hours.
Optimizer stripped from runs\detect\train2\weights\last.pt, 52.00B
Optimizer stripped from runs\detect\train2\weights\best.pt, 52.00B

Validating runs\detect\train2\weights\best.pt...
Ultralytics YOLOv8.2.24 Python 3.10.14 torch 2.3.0+cpu CPU (AMD Ryzen 5 5600H with Radeon Graphics)
Model summary (fused): 218 Layers, 2584918 parameters, 0 gradients, 78.7 GFLOPs
class   Images  Instances  Box(P   R   mAP50  mAP50-95): 100% |██████████| 113/113 [04:58:00:00, 2.64s/it]
all     450    4889     0.893   0.786   0.806   0.455
Car     450    1739     0.993   0.769   0.851   0.501
Parkingplace  450    3150     0.793   0.803   0.759   0.489

Speed: 1.2ms preprocess, 647.0ms inference, 0.0ms loss, 0.4ms postprocess per image
Results saved to runs\detect\train2
  
```

Рис. 4. Результаты обработки программы

Процесс обработки и анализа данных включает три последовательных этапа: подготовку данных для обучения, аннотацию изображений и обучение нейросетевой модели [6]. Первоначально осуществляется развертывание инструмента компьютерного зрения Computer Vision Annotation Tool (CVAT) в среде Docker, после чего производится сегментация видеопотока на отдельные кадры с использованием библиотеки FFmpeg с последующим экспортом данных в формате YOLO 1.1. На этапе аннотирования изображений выполняется классификация объектов на две категории: «car» (транспортное средство) и «parking place» (парковочное место), а также разделение датасета на обучающую (train) и валидационную (validation) выборки. Финальный этап предполагает обучение модели YOLOv8m в среде разработки Visual Studio Code с установленным параметром количества эпох равным трем, что обеспечи-

вает оптимальный баланс между точностью детекции объектов и вычислительной эффективностью используемого алгоритма [15]. (см. рис. 4).

Результаты и обсуждение

На текущем этапе исследования реализован базовый функционал системы компьютерного зрения, обеспечивающий детекцию свободных парковочных мест в пределах локальной парковочной зоны с применением методов искусственного интеллекта. Перспективным направлением развития системы является масштабирование функциональности для мониторинга распределенных парковочных пространств в радиусе 500 метров. Подобное расширение возможностей системы позволит существенно повысить ее практическую ценность за счет предоставления альтернативных вариантов парковки в условиях высокой загруженности основной парковочной зоны, что соответствует современным требованиям к интеллектуальным транспортным системам



Рис. 5. Результаты обучения нейронной сети

Результаты работы системы визуализируются посредством интерактивной карты парковочного пространства, где с помощью цветовой индикации отображается текущий статус мест: свобод-

ные позиции маркируются зеленым цветом, занятые – красным. Точность детекции транспортных средств и идентификации состояния парковочных мест достигает 80%, что подтверждает эффективность предложенного алгоритма компьютерного зрения.

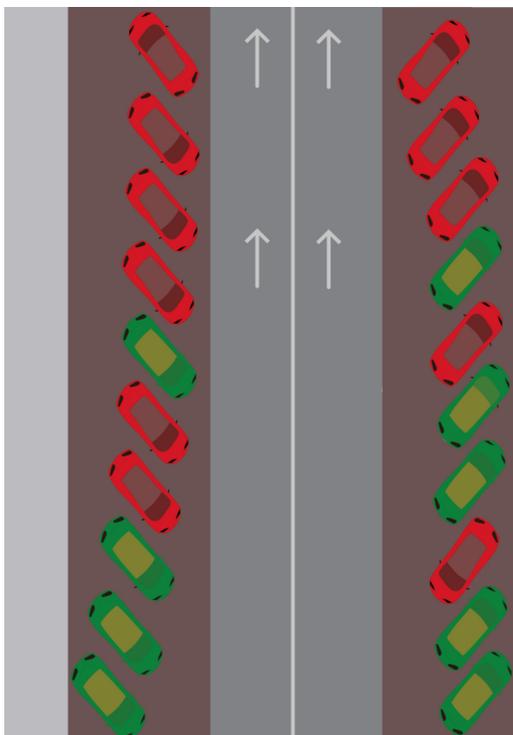


Рис. 6. Схема доступности парковочных мест

В качестве дополнительного результата работы системы формируется аналитический отчет «Длительность парковки транспортных средств на текущий момент времени». Указанный отчет содержит временные характеристики парковки каждого транспортного средства, зафиксированные в режиме реального времени, что обеспечивает мониторинг фактической продолжительности использования парковочных мест.



Admin

Длительность парковки ТС
на текущую дату и время

Id места	Номер транспортного средства	Длительность парковки
1	A111BB	0000-00-00 02:00:30
2	A22BB	0000-00-01 00:25:30
5	A111BB	0000-00-00 01:35:30
6	A111CC	0000-00-00 05:10:00
7	A111EE	0000-00-00 01:10:00
8	A111HH	0000-00-00 02:10:00
9	A111KK	0000-00-00 01:00:30
10	A111MM	0000-00-00 00:50:00
11	A111OO	0000-00-00 01:40:00

Рис. 7. Отчет «Длительность парковки транспортных средств на текущий момент времени»

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что автоматизированные системы мониторинга парковочных пространств представляют собой технологически значимый инструмент оптимизации городской транспортной инфраструктуры. Научная новизна работы заключается в комплексном анализе функциональных возможностей таких систем с предложением перспективных направлений их усовершенствования. Установлено, что внедрение интеллектуального мониторинга позволяет достичь следующих результатов: сокращение времени поиска парковочных мест на 40-60%, уменьшение количества дорожно-транспортных происшествий, связанных с парковкой, на 15-20%, а также снижение вредных выбросов на 15-25% за счет минимизации времени работы двигателей в режиме поиска [5; 10].

Перспективными направлениями развития систем мониторинга являются: внедрение гибридных алгоритмов компьютерного зрения, сочетающих CNN-архитектуры с мультиспектральным анализом для обеспечения устойчивой работы в условиях снежного покрова, тумана и недостаточной освещенности; интеграция данных с распределенной сети датчиков (температурных, влажности, освещенности); применение edge-вычислений для обработки информации в реальном времени; разработка прогнозных моделей загрузки парковочных пространств с использованием методов машинного обучения. Особое значение имеет создание унифицированных протоколов взаимодействия таких систем с другими компонентами интеллектуальной транспортной инфраструктуры «умного города».

Полученные результаты открывают новые возможности для дальнейших научных исследований в области компьютерного зрения, распределенных вычислений и урбанистического планирования. Практическая значимость работы заключается в предложении конкретных технических решений, направленных на повышение точности детекции до 95-98% в любых погодных условиях и обеспечение бесперебойной работы системы мониторинга как ключевого элемента экосистемы smart city [10,15,16]. Реализация предложенных усовершенствований будет способствовать созданию более эффективной, экологичной и безопасной городской среды.

Список литературы

1. Агентство «АВТОСТАТ». (2024). *Продажи новых легковых автомобилей в России за январь–сентябрь 2024 года*. Получено с <https://www.autostat.ru/press-releases/58578> (дата обращения: 30.06.2025).
2. Агентство «АВТОСТАТ». (2024). *Уровень автомобилизации населения 2024*. Получено с <https://www.autostat.ru/infographics/57413/> (дата обращения: 30.06.2025).
3. Госавтоинспекция. (n.d.). *Показатели состояния дорожного движения*. Получено с <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 30.06.2025).

4. Матовников, С. А., & Матовникова, Н. Г. (2010). Некоторые современные тенденции в теории и практике проектирования городских парков. В *Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международной конференции, посвящённой 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области* (с. 386–391). Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. EDN: <https://elibrary.ru/RUHJZV>
5. Линёв, Е. Д., & Братухин, Д. С. (2021). Технология видеоналитики в современном понимании. В *Инновационные научные исследования 2021: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса* (с. 21–24). Пенза: Наука и Просвещение. EDN: <https://elibrary.ru/EJKZWG>
6. Осипенко, А. А., Мананков, К. Ф., Осипенко, А. М., Николенко, Т. А., & Данилов, О. Ф. (2023). Разработка системы мониторинга парковочных пространств. *Архитектура, строительство, транспорт, I*(103), 58–66. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-1-58-66>. EDN: <https://elibrary.ru/DMCLEG>
7. Панина, В. С., Амеличев, Г. Э., & Белов, Ю. С. (2022). Построение интеллектуальной системы мониторинга как части интеллектуальной парковочной системы. *Научное обозрение. Технические науки, 4*, 17–21. <https://doi.org/10.17513/srts.1404>. EDN: <https://elibrary.ru/NAVYVL>
8. Рахматова, Г. Э. (2024). Проектирование многоуровневой парковки в условиях плотной городской среды. *Вестник науки, 3*(6), 2222–2227. EDN: <https://elibrary.ru/OWEPUE>
9. Салахутдинов, Э. Р., Исавнин, А. Г., Карамышев, А. Н., Сиякина, В. В., & Фадеева, А. (2020). *Исследование возможностей нейронных сетей для анализа и колоризации изображений* [монография]. Набережные Челны: Мир печати. 82 с. EDN: <https://elibrary.ru/TLHDMO>
10. Сиякина, В. В., Исавнин, А. Г., Карамышев, А. Н., Салахутдинов, Э. Р., & Фадеева, А. (2020). *Применение нейронных сетей для рас-*

- познавания образов* [монография]. Набережные Челны: Мир печати. 98 с. EDN: <https://elibrary.ru/TLJOAO>
11. Begishev, I., Isavnin, A., Nedelkin, A., Lydia, E. L., & Kumar, K. V. (2024). AI and IoT in smart cities: A methodology, transformation, and challenges. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1057, 305–318. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4895-2_25. EDN: <https://elibrary.ru/FROVWX>
 12. Chen, K., Zhang, M., & Wang, L. (2022). Smart parking management system using artificial intelligence and internet of things. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 12456–12468.
 13. Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2013). *Fundamentals of business process management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33143-5>
 14. Fahim, A., Hasan, M., & Chowdhury, M. A. (2021). Smart parking systems: Comprehensive review based on various aspects. *Heliyon*, 7(5), e06896. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06896>. EDN: <https://elibrary.ru/HGOZWX>
 15. Jugnu, M. (2024). Automated monitoring systems in IT infrastructure: A systematic analysis of detection, response, and optimization mechanisms. *International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, 15(6), 1099–1110.
 16. Sobirin, M., Tiorivaldi, & Mufit, C. (2023). Car parking space detection using YOLOv8. В *Proceedings of the 4th International Seminar and Call for Paper (ISCP UTA '45 JAKARTA 2023)* (с. 394–398). <https://doi.org/10.5220/0012582600003821>

References

1. Avtostat Agency. (2024). *Sales of new passenger cars in Russia for January–September 2024*. Retrieved from <https://www.autostat.ru/press-releases/58578> (accessed: 30.06.2025).
2. Avtostat Agency. (2024). *Level of motorization of the population 2024*. Retrieved from <https://www.autostat.ru/infographics/57413/> (accessed: 30.06.2025).

3. State Traffic Inspectorate. (n.d.). *Indicators of road traffic conditions*. Retrieved from <http://stat.gibdd.ru/> (accessed: 30.06.2025).
4. Matovnikov, S. A., & Matovnikova, N. G. (2010). Some current trends in the theory and practice of urban park design. In *Science and Education: Architecture, Urban Planning and Construction: Proceedings of the International Conference Dedicated to the 80th Anniversary of Construction Education and the 40th Anniversary of Architectural Education in the Volgograd Region* (pp. 386–391). Volgograd: Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. EDN: <https://elibrary.ru/RUHJZV>
5. Linëv, E. D., & Bratukhin, D. S. (2021). Video analytics technology in the modern understanding. In *Innovative Scientific Research 2021: Proceedings of the International Research Competition* (pp. 21–24). Penza: Nauka i Prosveshchenie. EDN: <https://elibrary.ru/EJKZWG>
6. Osipenko, A. A., Manankov, K. F., Osipenko, A. M., Nikolenko, T. A., & Danilov, O. F. (2023). Development of a parking space monitoring system. *Architecture, Construction, Transport, I*(103), 58–66. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-1-58-66>. EDN: <https://elibrary.ru/DMCLEG>
7. Panina, V. S., Amelichev, G. E., & Belov, Yu. S. (2022). Building an intelligent monitoring system as part of an intelligent parking system. *Scientific Review. Technical Sciences*, 4, 17–21. <https://doi.org/10.17513/srts.1404>. EDN: <https://elibrary.ru/NAVYVL>
8. Rakhmatova, G. E. (2024). Designing a multi-level parking facility in a dense urban environment. *Bulletin of Science*, 3(6), 2222–2227. EDN: <https://elibrary.ru/OWEPUE>
9. Salakhutdinov, E. R., Isavnin, A. G., Karamyshev, A. N., Siyakina, V. V., & Fadeeva, A. (2020). *Research on the capabilities of neural networks for image analysis and colorization* [Monograph]. Naberezhnye Chelny: Mir Pechati. 82 pp. EDN: <https://elibrary.ru/TLHDMO>
10. Siyakina, V. V., Isavnin, A. G., Karamyshev, A. N., Salakhutdinov, E. R., & Fadeeva, A. (2020). *Application of neural networks for pattern recognition* [Monograph]. Naberezhnye Chelny: Mir Pechati. 98 pp. EDN: <https://elibrary.ru/TLJOAO>

11. Begishev, I., Isavnin, A., Nedelkin, A., Lydia, E. L., & Kumar, K. V. (2024). AI and IoT in smart cities: A methodology, transformation, and challenges. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1057, 305–318. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4895-2_25. EDN: <https://elibrary.ru/FROVWX>
12. Chen, K., Zhang, M., & Wang, L. (2022). Smart parking management system using artificial intelligence and internet of things. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 12456–12468.
13. Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2013). *Fundamentals of business process management*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33143-5>
14. Fahim, A., Hasan, M., & Chowdhury, M. A. (2021). Smart parking systems: Comprehensive review based on various aspects. *Heliyon*, 7(5), e06896. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06896>. EDN: <https://elibrary.ru/HGOZWX>
15. Jugnu, M. (2024). Automated monitoring systems in IT infrastructure: A systematic analysis of detection, response, and optimization mechanisms. *International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, 15(6), 1099–1110.
16. Sobirin, M., Tiorivaldi, & Mufit, C. (2023). Car parking space detection using YOLOv8. In *Proceedings of the 4th International Seminar and Call for Paper (ISCP UTA '45 JAKARTA 2023)* (pp. 394–398). <https://doi.org/10.5220/0012582600003821>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Кривоногова Алла Евгеньевна, магистрант

*Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета
пр. Мира, 68/19, г. Набережные Челны, 423810, Российская Федерация
web.programmer2001@gmail.com*

Исавнин Алексей Геннадьевич, доктор физико-математических наук, профессор

*Набережночелнинский институт (филиал) Казанского
(Приволжского) федерального университета
пр. Мира, 68/19, г. Набережные Челны, 423810, Российская
Федерация
isavnin@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alla E. Krivonogova, Master's Student

*Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute
(branch)
68/19, Mira Ave., Naberezhnye Chelny, 423810, Russian Fed-
eration
web.programmer2001@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3869-7902>*

Alexey G. Isavnin, Doctor of Physical-Mathematical Sciences, Pro-
fessor

*Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute
(branch)
68/19, Mira Ave., Naberezhnye Chelny, 423810, Russian Fed-
eration
isavnin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6413-3329>*

Поступила 11.06.2025

После рецензирования 15.07.2025

Принята 23.07.2025

Received 11.06.2025

Revised 15.07.2025

Accepted 23.07.2025