

УДК: 656.13
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/74.21
EDN: UBETMH



Организация приоритетного проезда спецтранспорта экстренных служб на основе компьютерного зрения

Л.Р. Ибятгов¹, К.Р. Хузиахметова¹, Л.Ф. Мавлиев¹, В.В. Мокшин²,

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

²Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* В условиях растущей автомобилизации и перегруженности улично-дорожной сети особенно остро стоит задача обеспечения приоритетного проезда спецтранспорта экстренных служб. Нарушение регламентированного времени прибытия ведет к росту тяжести чрезвычайных ситуаций, а несвоевременное освобождение полос другими водителями нередко становится причиной дорожно-транспортных происшествий с участием экстренных служб. Существующие интеллектуальные транспортные системы сосредоточены на управлении потоками и фиксации нарушений, но не обеспечивают адаптивный приоритет для спецтранспорта. Хотя искусственный интеллект для распознавания объектов изучен достаточно хорошо, его возможности для этой задачи используются ограниченно. Поэтому целью работы является разработка программы, использующей технологии компьютерного зрения для автоматического распознавания транспорта экстренных служб с возможностью адаптивного управления дорожным движением. Задачи работы заключаются в осуществлении сбора исходных данных для обучения нейросети по типам транспортных средств для приоритетного проезда, разработке программы определения спецтранспорта экстренных служб с использованием искусственного интеллекта, а также интегрировании разработанных решений в существующие системы управления дорожного движения.

Результаты экспериментов показали высокую эффективность разработанного алгоритма в обнаружении экстренного транспорта в реальном времени. Реализован программный прототип, который способен обрабатывать видеопоток и распознавать нужные объекты с последующей возможностью передачи сигнала в систему управления светофорными объектами.

Выводы. Значимость полученных результатов для дорожной отрасли состоит в том, что предложенный подход открывает перспективы интеграции программного продукта на основе компьютерного зрения в интеллектуальные транспортные системы с целью повышения оперативности и безопасности функционирования экстренных служб.

Ключевые слова: искусственный интеллект; компьютерное зрение; приоритетный проезд; экстренные службы, адаптивное управление; YOLO; Roboflow.

Для цитирования: Ибятгов Л.Р., Хузиахметова К.Р., Мавлиев Л.Ф., Мокшин В.В. Организация приоритетного проезда спецтранспорта экстренных служб на основе компьютерного зрения // Известия КГАСУ, 2025, № 4 (74), с. 239-251, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/74.21, EDN: UBETMH

Organization of priority passage of special emergency vehicles based on computer vision

L.R. Ibyatov¹, K.R. Khuziakhmetova¹, L.F. Mavliev¹, V.V. Mokshin²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering

²Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI

Abstract: *Problem statement.* In the context of growing motorization and congestion of the road network, the task of ensuring priority passage of emergency vehicles is especially acute. Violation of the regulated arrival time leads to an increase in the severity of emergencies, and untimely vacating of lanes by other drivers often causes traffic accidents involving emergency services. Existing intelligent transport systems are focused on flow management and recording violations, but do not provide adaptive priority for emergency vehicles. Although artificial intelligence for object recognition has been studied quite well, its capabilities are used to a limited extent for this task. Therefore, the objective of the work is to develop a program using computer vision technologies for automatic recognition of emergency vehicles with the ability to adaptively control traffic. The tasks of the work are to collect initial data for training a neural network by types of vehicles for priority passage, to develop a program for identifying emergency vehicles using artificial intelligence, and to integrate the developed solutions into existing traffic management systems.

The *results* of the experiments showed high efficiency of the developed algorithm in detecting emergency transport in real time. A software prototype has been implemented that is capable of processing a video stream and recognizing the desired objects with the subsequent ability to transmit a signal to the traffic light control system.

Conclusions. The significance of the obtained results for the road industry is that the proposed approach opens up prospects for integrating a software product based on computer vision into intelligent transport systems in order to improve the efficiency and safety of emergency services.

Key words: artificial intelligence; computer vision; priority travel; emergency services, adaptive control; YOLO; Roboflow.

For citation: Ibyatov L.R., Khuziakhmetova K.R., Mavliev L.F., Mokshin V.V. Organization of priority passage of special emergency vehicles based on computer vision // News of KSUAE, 2025, № 4 (74), p. 239-251, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/74.21, EDN: UBETMH

1. Введение

Современные города сталкиваются с проблемой перегруженности дорог, что приводит к заторам, увеличению времени в пути и снижению безопасности дорожного движения. Так, в Казани за последние пять лет количество зарегистрированных автомобилей увеличилось на 26 %, что отразилось на ухудшении пропускной способности улично-дорожной сети, увеличении числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и снижении безопасности движения [3]. В таких условиях вопрос обеспечения приоритетного проезда экстренных служб – скорой медицинской помощи, пожарных, полиции – приобретает критическую важность, так как задержки и ДТП с их участием могут иметь серьезные последствия [4]. Отсутствие свободного проезда может стоить здоровья и жизни, при этом задержки в прибытии на место инцидента регламентируются нормативными документами, требующими точного соблюдения временных порогов.

В России за последние годы активизировалось внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в транспортных системах с целью оптимизации движения, повышения безопасности и улучшения логистических показателей [5], что является частью глобальной тенденции конвергенции ИИ и Интернета вещей (IoT) в концепции «умного транспорта» [17]. Среди существующих решений можно выделить российские разработки:

– EV-Crossroad от компании Edge Vision – модуль ИИ, управляющий дорожным движением в реальном времени [6];

– EV-Accident от компании Edge Vision – система для автоматического обнаружения ДТП на перекрестках улично-дорожной сети и передачи информации диспетчерским службам в режиме реального времени [6];

– Беспилотный самосвал «Юпитер 30» от научно-технического центра ПАО «КАМАЗ», предназначенный для добычи полезных ископаемых по «безлюдной» технологии [7];

– «Свободный поток» от концерна «Телематика» – система безбарьерной оплаты на платных трассах с автоматическим распознаванием номеров. В России такие системы функционируют на трассах ЦКАД, М-12 и М-4 [8];

– «СПЕКТР-Д» – система синхронизации времени, навигационных параметров и фиксации нарушений правил дорожного движения, включая распознавание госномеров и передачу данных в централизованные базы [9].

Эти проекты демонстрируют масштабы применения ИИ в российской транспортной инфраструктуре и его растущий потенциал в различных областях: от управления движением до автоматической фиксации нарушений.

На международном рынке также существуют успешные примеры внедрения ИИ:

– Адаптивное управление светофорами. В Лос-Анджелесе внедрена система Automated Traffic Surveillance and Control, которая использует ИИ для анализа трафика в реальном времени и автоматического переключения светофоров. Данная система позволяет снизить заторы на 16% и сократить время в пути на 12% [10];

– Автономные транспортные средства. В ряде городов (в том числе России) активно тестируются беспилотные автомобили. Эти автомобили используют ИИ для обнаружения препятствий, навигации и взаимодействия с другими участниками дорожного движения [11];

– Система City Brain. В Ханчжоу внедрена система City Brain от Alibaba, использующая ИИ для анализа данных с камер и датчиков. Это оптимизирует транспортные потоки и уменьшает заторы. В результате время в пути сократилось на 15% [12];

– Камеры с ИИ на кикшеринговых самокатах. В Мельбурне на самокатах, доступных для аренды, установлены камеры с ИИ, которые автоматически фиксируют аварии и отправляют уведомления в экстренные службы. Это позволяет быстрее реагировать на происшествия [13].

Несмотря на наличие подобных проектов, мало внимания уделено теме обеспечения приоритетного проезда именно экстренных служб с использованием компьютерного зрения [14]. В большинстве исследований упор сделан на общие задачи оптимизации дорожных потоков, автоматического распознавания ДТП или адаптивного управления светофорами, тогда как вопрос организации перекрестков, маршрутов и зон приоритета для экстренных служб остается актуальным [5]. При этом существующие исследования в области ИИ для управления светофорами часто фокусируются на многоагентном обучении с подкреплением для глобальной оптимизации потоков [16], оставляя без внимания инженерные аспекты надежной интеграции простого, но эффективного детектора в физическую инфраструктуру для решения конкретной задачи. Отсутствуют систематизированные исследования об алгоритмах, способных:

– Автоматически обнаруживать приближение спецтранспорта экстренных служб;

– Изменять режим работы светофора или формировать «зеленую волну» в пользу экстренных служб;

– Обеспечивать безопасность пешеходов и других водителей при приоритете скорой медицинской помощи, пожарной или полицейской техники.

Таким образом, **целью работы** является разработка программы, использующей технологии компьютерного зрения для автоматического распознавания транспорта экстренных служб с возможностью адаптивного управления дорожным движением.

Для достижения поставленной цели требовалось решение следующих **задач**:

1. Осуществить сбор исходных данных для обучения нейросети по типам транспортных средств для приоритетного проезда.

2. Разработать программу определения спецтранспорта экстренных служб с использованием искусственного интеллекта.

3. Предложить интеграцию разработанных решений в существующие системы управления дорожного движения.

2. Материалы и методы

В качестве материала для обучения нейросети использовались изображения следующих типов транспортных средств: скорой медицинской помощи, полиции и пожарной охраны. Для создания и обучения модели применялась платформа Roboflow, предоставляющая инструменты для обработки изображений, аннотирования объектов, генерации набора данных и последующего обучения нейросетевых моделей.

В качестве алгоритма компьютерного зрения была выбрана модель серии You Only Look Once (YOLOv8) – YOLOv8s [15,18], которая демонстрирует более высокую точность обнаружения объектов по сравнению с предшественниками. Он обеспечивает увеличение скорости обработки кадров в секунду на аналогичном оборудовании. Данная версия представляет собой оптимальный баланс между быстродействием и точностью. В ней применен усовершенствованный шейный модуль C2f для лучшего извлечения признаков.

Для написания кода и разработки интерфейса использовалась программа Visual Studio Code (VS Code). Инструмент поддерживает множество языков программирования, включая Python, на котором был написан код.

В качестве обучающего набора данных использовались изображения транспорта скорой медицинской помощи, полиции и пожарной охраны, полученные в различных условиях освещенности, под разными углами съемки и в разнообразной метеорологической обстановке (рис. 1). Такое разнообразие входных данных позволило обеспечить высокую степень адаптивности модели к реальным условиям городской улично-дорожной сети. Общий объем собранного и размеченного датасета составил более 6000 изображений. Распределение данных по классам было сбалансированным. Датасет был разделен на обучающую - 70% изображений, валидационную - 20% и тестовую - 10% изображений выборки. Разделение проводилось случайным образом с сохранением пропорций классов для обеспечения репрезентативности каждой выборки.

Скорая медицинская помощь



Полиция



Пожарная охрана



Рис. 1. Типы транспортных средств экстренных служб для обучения нейросети¹⁻⁶
Fig. 1. Types of emergency vehicles for neural network training¹⁻⁶

¹ Скорая помощь // Фотобанк Moscow-Live. 2016. URL: <https://www.flickr.com/> (дата обращения: 07.08.2025)

² Тверская областная детская больница получила новый реанимобиль // Министерство здравоохранения Тверской области. 2017. URL: <https://минздрав.тверскаяобласть.рф/> (дата обращения: 07.08.2025)

³ Машины полиции России // klev.club. 2021. URL: <https://klev.club/> (дата обращения: 07.08.2025)

⁴ В Симферополе сотрудник полиции сбил 11-летнего школьника // Миртесен. 2022. URL: <https://mirtesen.ru/> (дата обращения: 07.08.2025)

⁵ «КАМАЗы» огненной профессии // Ростех. 2022. URL: <https://rostec.ru/> (дата обращения: 07.08.2025)

⁶ Пожарная машина упал Некс// klev.club. 2023. URL: <https://klev.club/> (дата обращения: 07.08.2025)

Для детекции и оповещения о транспортных средствах экстренных служб на видеофайлах и в реальном времени был написан исходный код, который необходим для интеграции обученной модели в рабочую систему. Она позволяет не просто детектировать объекты, но и анализировать их, фильтровать ложные срабатывания, визуализировать результаты и реагировать на обнаружение экстренных служб. Сама обученная модель умеет только предсказывать классы объектов. Основными компонентами программы являются:

– Инициализация и настройки. Этот блок кода нужен для импорта всех необходимых библиотек и настройки окружения для работы системы детекции спецтранспорта экстренных служб. То есть он подключает инструменты для обработки видео, машинного обучения, создания интерфейса и управления временем, а также отключает лишние предупреждения.

Импорт необходимых библиотек:

```
import cv2 # OpenCV для работы с видео и изображениями
```

```
import numpy as np # NumPy для числовых операций
```

```
import tkinter as tk # GUI для отображения оповещений
```

```
from tkinter import filedialog, Toplevel, Label, Button # Компоненты GUI
```

```
from inference import get_model # Roboflow для работы с ML моделью
```

```
import time # Для работы со временем
```

```
warnings.filterwarnings("ignore", category=UserWarning) # Игнорируем предупреждения
```

– Правила детекции транспортных средств. Этот блок кода задает правила классификации и визуализации транспортных средств, определяя: какие объекты считать спецтранспортом экстренных служб (через ключевые слова `keywords`); как их подписывать (`label`); каким цветом выделять (`color`); порог уверенности модели (`min_conf`); исключения (`exclude`).

```
VEHICLE_RULES = [
```

```
    # Правила для разных типов транспорта с приоритетами
```

```
{
```

```
    'keywords': ['ambulance', 'реанимобиль', 'скорая помощь', ...],
```

```
    'label': 'СКОРАЯ',
```

```
    'color': (0, 140, 255), # Оранжевый цвет для обозначения
```

```
    'min_conf': 0.85, # Минимальная уверенность модели
```

```
    'exclude': ['non emergency'] # Исключения
```

```
},
```

```
]
```

Аналогично для пожарных, полиции и обычных автомобилей.

– Инициализация модели Roboflow. Этот блок кода выполняет инициализацию предобученной модели детекции спецтранспорта экстренных служб с платформы Roboflow.

```
API_KEY = "*****"
```

```
try:
```

```
    model = get_model("emergency-vehicles-russia-gjfv1/4", api_key=API_KEY)
```

```
except RoboflowAPIUnauthorizedError as e:
```

```
    print("Ошибка: Неверный API-ключ.")
```

```
    exit(1)
```

– Основной цикл обработки видео. Этот блок кода представляет основной цикл обработки видеопотока, который: последовательно считывает кадры из видео (`cap.read()`); анализирует каждый кадр с помощью ML-модели (`model.infer(frame)`); обрабатывает результаты детекции.

```
while cap.isOpened() and not force_quit:
```

```
    ret, frame = cap.read()
```

```
    if not ret:
```

```
        break
```

```
    # Получаем предсказания от модели
```

```

results = model.infer(frame)
# Обрабатываем каждое обнаружение
for prediction in results[0].predictions:
    # Проверяем, является ли транспорт спецслужбой
    if is_vehicle_valid(prediction.class_name, rule):
        # Рисуем bounding box
        draw_prediction(frame, x, y, width, height, class_name, confidence)
        # Если это спецтранспорт, начинаем отсчет времени
        if emergency_detected:
            if emergency_start_time is None:
                emergency_start_time = current_time
            elif (current_time - emergency_start_time) >= DETECTION_THRESHOLD:
                show_emergency_popup(vehicle_id)
    
```

– Функции обработки и визуализации. Этот блок кода определяет вспомогательные функции для обработки и отображения результатов детекции.

```

def is_vehicle_valid(class_name, rule):
    # Проверяем соответствует ли обнаруженный объект правилам
def draw_prediction(frame, x, y, width, height, class_name, confidence):
    # Рисуем bounding box и подпись на кадре
def show_emergency_popup(vehicle_id):
    # Показываем всплывающее окно с предупреждением
    Label(popup_window,
          text="Обнаружен автомобиль спецслужб!",
          font=("Arial", 12, "bold"),
          fg="red"
    ).pack(pady=20)
    
```

Формирование интерфейса разработанной программы было осуществлено с помощью VS Code (рис. 2).

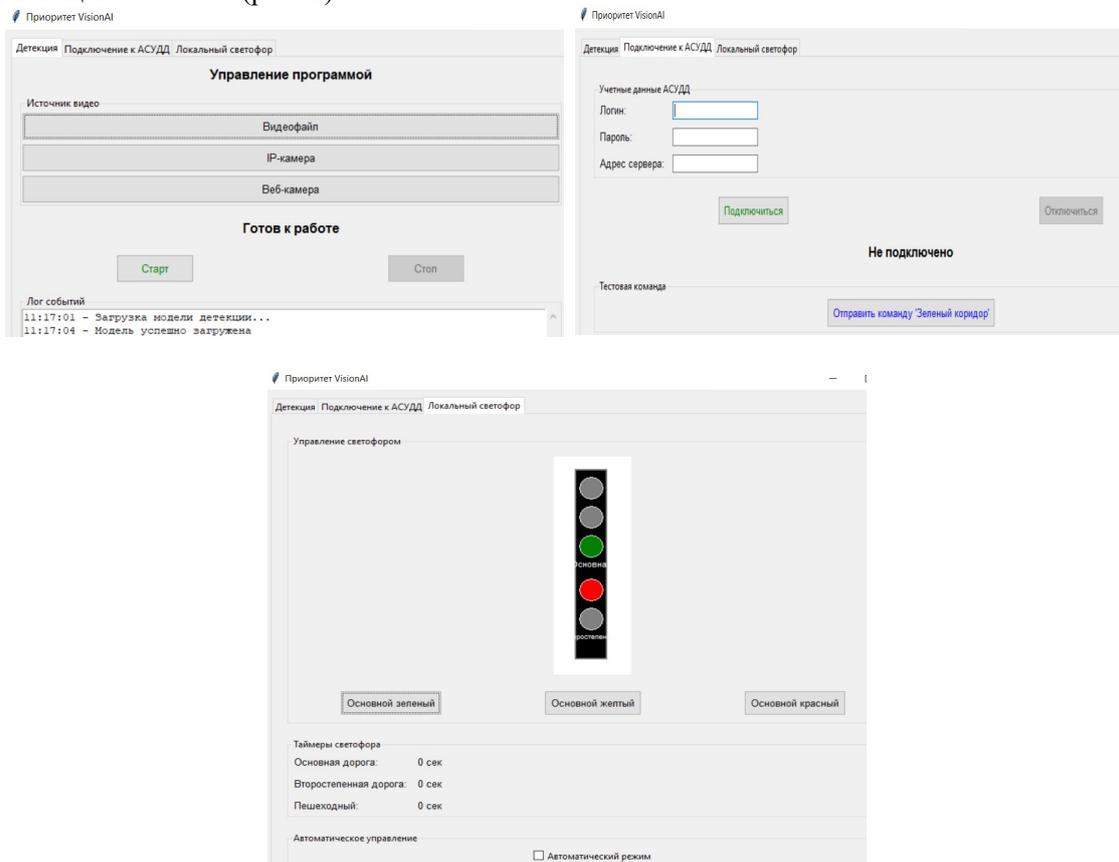


Рис. 2. Интерфейс разработанной программы (иллюстрация авторов)
 Fig. 2. Interface of the developed program (illustration by the authors)

Окно программы состоит из трех вкладок (детекция, подключение к автоматизированной системе управления дорожным движением (АСУДД), локальный светофор). Во вкладке детекция предоставляется 3 варианта выбора источника видео: видеофайл; IP-камера; веб-камера. Для подключения к АСУДД необходимо ввести логин и пароль.

Принцип работы кода представлен на рис. 3, «б» в виде блок-схемы. На основании полученных данных удалось получить программу, способную анализировать видеопоток на наличие спецтранспорта экстренных служб. Алгоритм работы включает проверку наличия выбранного пользователем видеофайла, загрузку предобученной модели для распознавания объектов и, при успешном запуске, кадровую обработку видео с выделением экстренных служб и отображением результата в режиме реального времени. Работа продолжается до завершения видео или нажатия клавиши «q». По окончании программа автоматически освобождает задействованные ресурсы. В случае возникновения ошибок – при открытии файла, загрузке модели или чтении видео – выполнение прекращается досрочно.

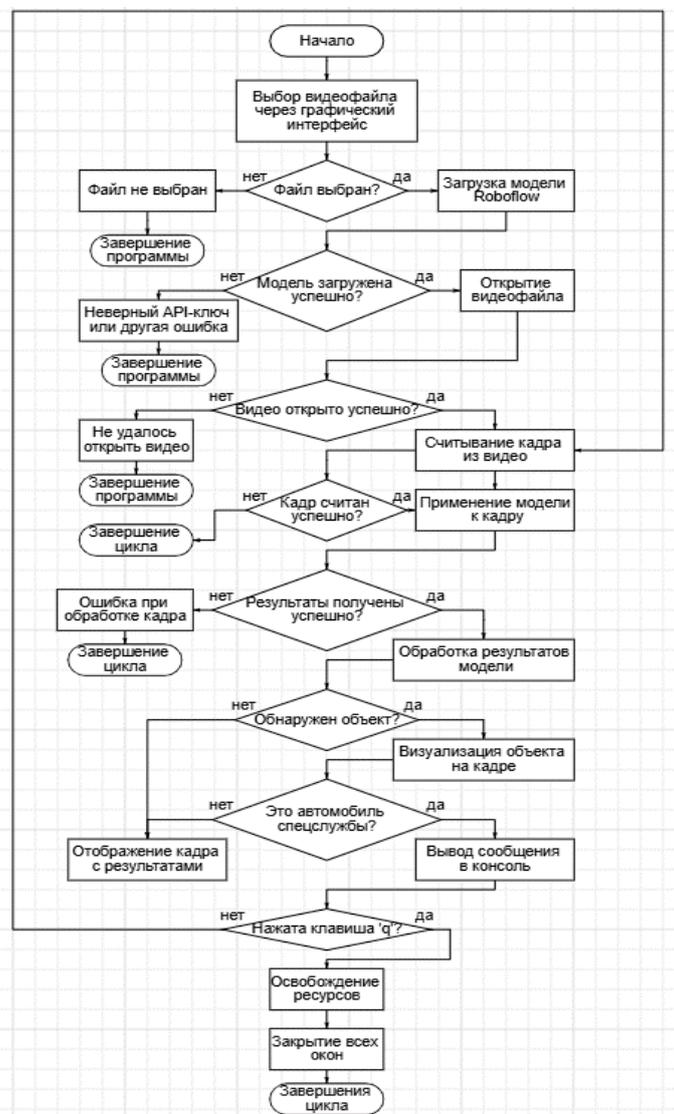


Рис. 3. Блок-схема разработанной программы (иллюстрация авторов)
 Fig. 3. Flowchart of the developed program (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Проверка работы разработанной программы осуществлялась в Ново-Савиновском районе г. Казани, результаты которой представлены на рис. 4. Программа детектирует не только спецтранспорт экстренных служб, но и остальные автомобили. Для остальных

транспортных средств в правилах VEHICLE_RULES заданы отдельные параметры. Ключевые слова для остального транспорта включают «саг», «автомобиль», «грузовик». Они отмечаются меткой «АВТО». Порог уверенности для них установлен ниже ($min_conf=0.7$), чем для спецтранспорта экстренных служб. Эти объекты не вызывают оповещений, но фиксируются системой. Детекция всего транспорта помогает анализировать общую дорожную обстановку. При этом транспорт, не являющийся экстренной службой, исключается из системы оповещений. Такая реализация позволяет получать полную картину дорожного движения.



Рис. 4. Обнаружение экстренных служб разработанной программой (иллюстрация авторов)
 Fig. 4. Detection of emergency services by the developed program (illustration by the authors)

Для количественной оценки работы обученной модели YOLOv8s были использованы стандартные метрики компьютерного зрения: точность (Precision), полнота (Recall) и средняя точность (mean Average Precision, mAP) на тестовой выборке. Порог уверенности (confidence threshold) для детекции был установлен на уровне 0.85. Основное тестирование метрик точности проводилось на компьютере для разработки. Результаты, представленные в таблице, демонстрируют высокую эффективность модели.

Таблица

Метрики эффективности модели детекции YOLOv8s

| Класс объекта | Точность (Precision) | Полнота (Recall) | mAP | Ложноположительные срабатывания (FP)* | Ложноотрицательные срабатывания (FN)* |
|-----------------|----------------------|------------------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Скорая помощь | 0.94 | 0.90 | 0.93 | ~2.4% | ~5.0% |
| Полиция | 0.91 | 0.87 | 0.90 | ~3.3% | ~7.5% |
| Пожарная охрана | 0.95 | 0.92 | 0.94 | ~1.8% | ~4.0% |
| Среднее / Итог | 0.93 | 0.90 | 0.92 | ~2.5% | ~5.5% |

Учитывая, что целевым устройством для развертывания системы является одноплатный компьютер Intel NUC 13 Pro, была проведена оценка ожидаемой производительности. На основании сравнительного анализа вычислительной мощности и открытых тестов YOLOv8 на схожем оборудовании, ожидаемая скорость обработки видеопотока на Intel NUC составляет 20-28 FPS. Данная скорость является достаточной для работы в режиме реального времени с видеопотоком стандартного качества (25-30 FPS), что подтверждает практическую применимость разработанного решения.

Полученные метрики объективно подтверждают высокую эффективность модели, заявленную в работе. Средняя точность (mAP) на уровне 0.92 и точность (Precision) выше 0.91 свидетельствуют о высокой надежности детекции и минимальном количестве ложных

срабатываний, что критически важно для предотвращения нештатных переключений светофоров. Полнота (Recall) 0.90 указывает, что система пропускает менее 10% целевых объектов. Основные ошибки (ложноположительные срабатывания) связаны со схожестью обычных белых микроавтобусов с машинами скорой помощи, а ложноотрицательные – со сложными условиями (окклюзия, дальность). Оценочная производительность в 20-28 FPS на целевом устройстве (Intel NUC) доказывает принципиальную возможность работы системы в реальном времени. Таким образом, количественные данные всесторонне подтверждают практическую применимость разработанного алгоритма для интеграции в интеллектуальные транспортные системы.

Интегрировать разработанные решения по реализации приоритетного проезда спецтранспорта экстренных служб можно в существующие светофорные объекты, которые дополняют систему организации приоритетного проезда транспорта. На сегодняшний день в Казани эксплуатируется 479 светофорных объектов, из которых 263 подключены к АСУДД. Принцип работы АСУДД заключается в том, что без участия человека в режиме реального времени можно изменить режим светофорного объекта в зависимости от загруженности улично-дорожной сети.

Схематичное представление интеграции обученной модели в АСУДД показано на рис. 5.

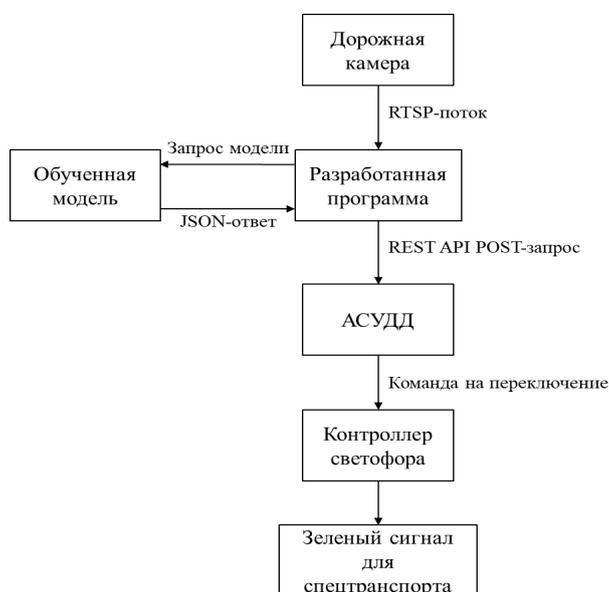


Рис. 5. Схема интеграции обученной модели в АСУДД (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Block diagram of the integration of the trained model into the ATCS (illustration by the authors)

Разработанную обученную модель можно синхронизировать с АСУДД в следующей последовательности:

- Подключение к видеокерам через IP-адрес, способный передавать потоковое видео в режиме реального времени с помощью real time streaming protocol (RTSP).

- После определения спецтранспорта экстренных служб, за 100-150 метров до перекрестка, обученная модель через API передает информацию в АСУДД. Данные перенаправляются через POST-запрос в REST API, который используется для отправки данных на сервер для обработки.

- После обработки данных АСУДД передает команду контроллеру на переключение сигнала светофора. Задержка в 5 секунд между детекцией и включением зеленого сигнала вводится для безопасной остановки транспортных средств, уже въехавших на перекресток на разрешающий сигнал. Длительность «зеленой волны» для спецтранспорта установлена в 17 секунд. Данное значение обосновано расчетом, исходя из средней скорости движения спецтранспорта по городу в условиях приоритетного проезда (40-60 км/ч) и типичной длины перекрестка (20-30 метров). Этого времени достаточно для

гарантированного и безопасного проезда спецтранспорта через перекресток, включая возможное снижение скорости. По истечении этого интервала светофорный объект возвращается к запланированному координационному циклу.

Также возможна интеграция ИИ к локальным стационарным дорожным камерам и другим камерам без необходимости подключения к облаку или центральному серверу. Алгоритмы ИИ используют данные, генерируемые на устройстве, обрабатывают их в режиме реального времени и выдают результат за миллисекунды. Интеграция в локальные стационарные светофорные объекты, неподключенные к АСУДД, возможна в следующей последовательности:

- Изначально подключение должно осуществляться по ethernet-кабелю через одноплатный компьютер Intel NUC 13 Pro.

- При этом к контроллерам светофора через канал связи RS-485 необходимо подключить ОБЕН ПР200, который является свободно программируемым реле. Написание алгоритма осуществляется с помощью бесплатной среды программирования OWEN Logic. Подключение к персональному компьютеру производится посредством стандартного MiniUSB-кабеля. Для интеграции в SCADA-системы и управления внешними устройствами в прибор может быть установлено до 2-х интерфейсов RS-485 с поддержкой протоколов Modbus RTU/ASCII.

- Для подключения одноплатного компьютера Intel NUC 13 Pro к ОБЕН ПР200 потребуется AC4 преобразователь интерфейсов, предназначенный для взаимного преобразования сигналов интерфейсов USB и RS-485, так как у Intel NUC 13 Pro нет встроенного COM-порта, представляющего собой аппаратный интерфейс компьютера, с помощью которого для прямого соединения с ОБЕН ПР200 к оборудованию можно подключать внешние устройства для передачи данных. Для этого на одноплатный компьютер потребуется установить драйвер, который позволяет операционной системе распознавать преобразователь как COM-порт и использовать стандартный асинхронный режим передачи данных, применяющийся для работы с аппаратным COM-портом.

- Для обработки и хранения данных и стабильной работы системы потребуется дата-центр, а также специально подготовленное помещение с комплексом инженерных систем, обеспечивающих условия для надежной непрерывной работы оборудования информационных технологий.

Полученные в работе экспериментальные результаты подтверждают, что современные сверточные нейросети семейства YOLO способны обеспечивать устойчивую детекцию транспортных средств экстренных служб в режиме реального времени при сохранении высокой точности. Это согласуется с выводами работы Дж. Редмона [15], где показано, что однопроводные архитектуры YOLO принципиально пригодны для задач, критичных к задержкам обработки. Дальнейшее развитие данного подхода, представленное в модели YOLOv4 [16], ориентировано на достижение баланса между скоростью и точностью, что подтверждается и результатами настоящего исследования, демонстрирующими mAP на уровне 0.92 при работе с городским видеопотоком. В отличие от работ, посвященных интеллектуальному управлению светофорами на основе обучения с подкреплением [17], где приоритет отдается глобальной оптимизации транспортных потоков, в данной работе акцент сделан на локальной и прикладной задаче – гарантированном приоритете экстренных служб. Обзорные исследования в области IoT и «умного транспорта» [18] подчеркивают необходимость интеграции компьютерного зрения с физической инфраструктурой, однако большинство публикаций ограничиваются концептуальными архитектурами. Представленный прототип восполняет данный пробел, демонстрируя практическую связку результатов детекции и реального управления светофорными объектами.

Работа предложенной системы на локальных светофорных объектах возможна при расширении распознавания включенного проблескового маячка и специального звукового сигнала на транспорте экстренных служб.

4. Заключение

Для обучения нейросети был сформирован набор данных, включающий изображения машин скорой помощи, пожарных автомобилей и полиции в различных условиях освещенности и с разных ракурсов. Это обеспечило устойчивость модели к изменяющимся условиям городской среды.

Реализована программа, способная в режиме реального времени обрабатывать видеопоток, выявлять спецтранспорт экстренных служб с высокой точностью и отображать результаты детекции пользователю.

Предложена схема подключения разработанного решения к существующим светофорным объектам через IP-камеры и REST API, а также алгоритм взаимодействия с локальными и централизованными системами управления дорожным движением. Это позволяет реализовать динамическую «зеленую волну» для проезда экстренных служб и тем самым ускорить их прибытие к месту назначения.

Список литературы / References

1. Гатиятуллин М.Х., Николаева Р.В. Обеспечение безопасности в местах производства дорожных работ на федеральных дорогах при помощи интеллектуальных транспортных систем // Вестник НЦБЖД. 2022. Т. 54, № 4. С. 59–65.
Gatiyatullin M.Kh., Nikolaeva R.V. Ensuring safety at road works sites on federal roads using intelligent transport systems // Bulletin of the NTSBZD. 2024. Vol. 54, No. 4. P. 59–65
2. Николаева Р.В., Костин А.П. Применение имитационного моделирования при организации дорожного движения на перекрестке улично-дорожной сети // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2025. Т. 9, № 1. С. 155–163.
Nikolaeva R.V., Kostin A.P. Application of simulation modeling in organizing traffic at an intersection of the street and road network // Automobile Roads and Transport Infrastructure. 2025 Vol. 9, No. 1. P. 155–163
3. Бассар Фарадж М.Х., Николаева Р.В. Повышение безопасности федеральных дорог, проходящих по территориям населенных пунктов, элементами интеллектуальных транспортных систем // Kazan digital week - 2024: сборник материалов Международного форума. Казань: НЦ БЖД, 2024. С. 9–15.
Bassar Faraj M.Kh., Nikolaeva R.V. Improving the safety of federal roads passing through populated areas using elements of intelligent transport systems // Kazan digital week - 2024: collection of materials from the International forum. Kazan: NTSBZD, 2024. P. 9–15
4. Кутдусов Р.Ф., Гатиятуллин М.Х. Снижение аварийности на объектах дорожного сервиса применением элементов интеллектуальных транспортных систем // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2024. Т. 5, № 1. С. 124–133.
Kutdusov R.F., Gatiyatullin M.Kh. Reducing accidents at road service facilities using intelligent transport system elements // Automobile Roads and Transport Infrastructure. 2024. Vol. 5. No. 1. P. 124-133.
5. Печатнова Е.В., Кирюшин И.И., Егорова Н.С. Интеллектуальная транспортная система как средство снижения аварийности // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2024. Т. 8, № 4. С. 99–106.
Pechatnova E.V., Kiryushin I.I., Egorova N.S. Intelligent transport system as a means of reducing accident rate // Automobile Roads and Transport Infrastructure. 2024. Vol. 8. No. 4. P. 99-106.
6. Шилков В.И., Шибакова С.А. Интеллектуальные транспортные системы в умном городе // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. Севастополь: СГУ, 2023. С. 122–126.
Shilkov V.I., Shibakova S.A. Intelligent Transport Systems in a Smart City // Promising Directions for the Development of Domestic Information Technologies. Sevastopol: SSU, 2023. P. 122–126.

7. Кацуба Ю.Н., Караваяев Н.А. К вопросу продвижения беспилотных технологий на грузовом автомобильном транспорте // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. Т. 127, № 1. С. 1–7.
Katsuba Yu.N., Karavaev N.A. On the Issue of Promoting Unmanned Technologies in Heavy-Duty Motor Vehicles // International Research Journal. 2023. Vol. 127. No. 1. P. 1–7.
8. Системы дорожные весового и габаритного контроля «СВК» [Электронный ресурс] // GRmetr. [2019]. URL: <https://grmetr.ru/gosreestr/816610-42677-14-svk> (дата обращения: 07.08.2025).
Weight and dimension control systems "SVK" [Electronic resource] // GRmetr. 2019. <https://grmetr.ru/gosreestr/816610-42677-14-svk> (reference date: 07.08.2025)
9. Системы тестирования и диагностики «СпектрДТест» [Электронный ресурс] // ООО «Техинсити» . [2024]. URL: <https://techincity.ru/spektrdtest> (дата обращения: 07.08.2025).
Testing and diagnostic systems "SpektrDTest" [Electronic resource] // Techincity LLC. 2024. <https://techincity.ru/spektrdtest> (reference date: 07.08.2025)
10. Vetrisevi T. et al. Deep learning based license plate number recognition for smart cities // Comput. Mater. Contin. 2021. Vol. 70, No. 1.
11. Беспилотные авто Waymo проехали 16 млн км по реальным дорогам [Электронный ресурс] // Код: цифровое издание. [2024]. URL: <https://kod.ru/bespylotnye-avto-waymo-proehali-sami-16-mln-km> (дата обращения: 07.08.2025).
Waymo self-driving cars have traveled 16 million kilometers on real roads [Electronic resource] // Code: digital edition. [2024]. URL: <https://kod.ru/bespylotnye-avto-waymo-proehali-sami-16-mln-km> (reference date: 07.08.2025).
12. Caprotti F., Liu D. Platform urbanism and the Chinese smart city: the coproduction and territorialisation of Hangzhou City Brain // GeoJournal. 2022. Vol. 87, No. 3.
13. В Мельбурне кикшеринговые самокаты своим ИИ предотвращают столкновения с пешеходами [Электронный ресурс] // SharingPro. [2019]. // URL <https://sharingpro.ru/v-melburne-kiksheringovye-samokaty-svoim-ii-predotvrashhajut-stolknovenija-s-peshehodami/> (дата обращения 07.08.2025).
In Melbourne, Kicksharing Scooters with AI Prevent Collisions with Pedestrians [Electronic resource] // SharingPro. 2019. <https://sharingpro.ru/v-melburne-kiksheringovye-samokaty-svoim-ii-predotvrashhajut-stolknovenija-s-peshehodami/> (reference date: 07.08.2025)
14. Минниханов Р.Н., Махмутова А.З., Сабиров А.И. ИТС среда Республики Татарстан для обеспечения безопасности дорожного движения // Современная наука. 2021. № 3. С. 92–96.
Minnikhanov R.N., Makhmutova A.Z., Sabirov A.I. ITS Environment of the Republic of Tatarstan for Road Safety. Modern Science. 2021. No.3. P. 92-96.
15. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016. P. 779–788. DOI: 10.1109/CVPR.2016.91
16. Bochkovskiy A., Wang C.Y., Liao H.Y.M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection // arXiv preprint. 2020. arXiv:2004.10934. DOI: 10.48550/arXiv.2004.10934
17. Genders W., Razavi S. Using a Deep Reinforcement Learning Agent for Traffic Signal Control // arXiv preprint. 2016. arXiv:1611.01142. DOI: 10.48550/arXiv.1611.01142
18. Alyasin A., Kabir M.M., Nawal S. A Comprehensive Review on Internet of Things (IoT) and its Implications in the Smart Transportation System // Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences. 2022. Vol. 34, Iss. 10, Part A. P. 8267–8284. DOI: 10.1016/j.jksuci.2022.08.005

Информация об авторах

Ибяттов Ленар Рустамович, инженер, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: ibyatov_1@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5313-3147

Хузиахметова Карина Рустамовна, ассистент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: karina261996@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5313-3147

Мавлиев Ленар Фидасович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6301-0941

Мокшин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: vladimir.mokshin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7650-3419

Information about the authors

Lenar R. Ibyatov, engineer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: ibyatov_1@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5313-3147

Karina R. Khuziakhmetova, assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: karina261996@mail.ru

Lenar F. Mavliev, candidate of technical sciences, associate professor, head of department, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: lenarmavliev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-6301-0941

Vladimir V. Mokshin, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russian Federation

E-mail: vladimir.mokshin@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7650-3419

Дата поступления: 28.08.2025

Дата принятия: 25.12.2025