

УДК: 656.13

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.28

EDN: SAWGRQ



Система обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения

Мокшин В.В.¹, Р.В. Николаева², Н.Б. Мавлиева², Л.Ф. Мавлиев²

¹Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева,

²Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Дорожные дефекты являются одной из постоянно возникающих проблем в дорожной отрасли, ставящие под угрозу безопасность дорожного движения, и требующие значительных затрат на устранение. Для эффективного содержания дорог и обеспечения безопасности участников дорожного движения важно оперативно обнаруживать дефекты покрытия автомобильных дорог. Традиционные методы определения дефектов занимают значительное количество времени, трудоемки и подвержены человеческим ошибкам. Развитие современных технологий и алгоритмов компьютерного зрения позволяет значительно сократить время на решение задач в различных областях, в том числе и в дорожной отрасли. Поэтому целью исследования является выбор методов и алгоритмов обнаружения дорожных дефектов с использованием компьютерного зрения для повышения точности и оперативности выявления повреждений на автомобильных дорогах. Это, в свою очередь, оптимизирует процессы их эксплуатации и обслуживания, обеспечивая более эффективное сохранение качества дорожной инфраструктуры. Задачи исследования: сравнить YOLOv8 с другими архитектурами нейронных сетей на одинаковом датасете; разработать систему обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения.

Результаты. В рамках исследования определены этапы создания системы обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения. Получены метрики качества детектирования YOLOv8 на тестовой выборке дорожных дефектов.

Выводы. Значимость полученных результатов для дорожной отрасли заключается в возможности своевременно выявлять дорожные дефекты, что в свою очередь способствует повышению эффективности управления состоянием автомобильных дорог, снижению затрат на их содержание, и как следствие, обеспечивается более высокий уровень безопасности и комфорта для пользователей дорог. Результаты могут быть использованы в дальнейших научных разработках и для оптимизации процессов обслуживания и ремонта дорожного покрытия.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное покрытие, дорожные дефекты, компьютерное зрение, YOLOv8.

Для цитирования: Мокшин В.В., Николаева Р.В., Мавлиева Н.Б., Мавлиев Л.Ф. Система обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения // Известия КГАСУ, 2026, № 1 (75), с. 344-355, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.28, EDN: SAWGRQ

A system for detecting road defects based on computer vision

V.V. Mokshin¹, R.V. Nikolaeva², N.B. Mavlieva², L.F. Mavliev²

¹Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev,

²Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Road defects are one of the constantly emerging problems in the road industry that endanger road safety and require significant costs to eliminate. For effective maintenance of roads and ensuring the safety of road users, it is important to promptly detect defects in the road surface. Traditional defect detection methods take a significant amount of time, are laborious, and are prone to human error. The development of modern computer vision technologies and algorithms can significantly reduce the time needed to solve problems in various fields, including the road industry. Therefore, the purpose of the study is to select methods and algorithms for detecting road defects using computer vision to improve the accuracy and efficiency of detecting damage on highways. This, in turn, optimizes the processes of their operation and maintenance, ensuring more effective preservation of the quality of the road infrastructure. The research tasks are to compare YOLOv8 with other neural network architectures on the same dataset; to develop a system for detecting road defects based on computer vision.

Results. The study defines the stages of creating a system for detecting road defects based on computer vision. The YOLOv8 detection quality metrics were obtained based on a test sample of road defects.

Conclusions. The significance of the results obtained for the road industry lies in the ability to detect road defects in a timely manner, which in turn contributes to improving the efficiency of managing the condition of highways, reducing maintenance costs, and as a result, provides a higher level of safety and comfort for road users. The results can be used in further scientific developments and for optimizing road surface maintenance and repair processes.

Keywords: highway, road surface, road defects, computer vision, YOLOv8.

For citation: Mokshin V.V., Nikolaeva R.V., Mavlieva N.B., Mavliev L.F. A system for detecting road defects based on computer vision // News of KSUAE, 2026, № 1 (75), p. 344-355, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.28, EDN: SAWGRQ

1. Введение

Современное состояние дорожной инфраструктуры играет ключевую роль в обеспечении эффективного и безопасного движения транспортных средств. Автомобильные дороги, как основа транспортной системы, подвергаются негативному воздействию различных факторов, таких как климатические условия, интенсивность движения и качество строительных материалов. Обнаружение дорожных дефектов и борьба с ними являются важнейшей задачей. Дорожные дефекты, которые обычно образуются из-за износа дорожного покрытия, представляют собой серьезную угрозу для дорожного движения, приводя к авариям, повреждению транспортных средств и увеличению расходов на техническое обслуживание автомобильных дорог. Эти проблемы решаются с помощью упреждающих мер, направленных на своевременное обнаружение и устранение дефектов.

Принятие обоснованных решений по ремонту и содержанию автомобильных дорог стало критически важным для поддержания безопасности и качества дорожной инфраструктуры, что вызывает необходимость в эффективном мониторинге дорожных дефектов. Однако традиционные методы выявления дорожных дефектов на автомобильных дорогах осуществляется в основном путем физического осмотра, что является трудоемкой задачей. Кроме того, поскольку такие проверки носят реактивный характер, дорожные дефекты часто обнаруживаются уже после того, как они привели к повреждению дорожного покрытия или дорожно-транспортным происшествиям [1].

В последние десятилетия развитие современных технологий, в том числе машинного обучения, компьютерного зрения и интернета вещей, изменило процесс обнаружения дорожных дефектов [2, 3]. В этом контексте технологии компьютерного зрения открывают новые возможности для автоматического и точного обнаружения дорожных дефектов, что в свою очередь способствует оперативному реагированию на возникающие проблемы [4, 5]. Такие системы позволяют не только оперативно собирать данные, но и анализировать их, предоставляя актуальную информацию для принятия решений на всех уровнях управления дорожной инфраструктурой.

Для обнаружения и мониторинга дорожных дефектов в режиме реального времени используется несколько стратегий, в том числе сенсорные системы, алгоритмы обработки изображений и методы анализа данных [6, 7]. Внедрение современных технологий и алгоритмов компьютерного зрения позволяет значительно сократить время на выявление повреждений, улучшая качество принимаемых решений и, как следствие, обеспечивая более высокий уровень безопасности и комфорта для пользователей дорог. Таким образом, исследование и разработка автоматизированных систем для анализа состояния дорожного покрытия становятся актуальными в условиях современной транспортной системы и имеют значительное практическое значение [8, 9].

Российские и зарубежные исследователи и технологические компании активно развивают инновационные подходы к автоматизации процесса обнаружения дефектов на дорогах. Ключевыми тенденциями последних лет стали активное применение методов компьютерного зрения, искусственного интеллекта и роботов. Этот подход существенно повышает точность диагностики, сокращая потребность в трудозатратных визуальных осмотрах [10-12].

Российские ученые ведут активные разработки нейросетевых моделей, которые повышают точность обнаружения дефектов дорожного покрытия. Одной из ключевых задач стало внедрение системы ранней диагностики дорожных нарушений, позволяющей предотвратить серьезные разрушения и обеспечить своевременный ремонт [13, 14].

Ученые Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ) и Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) создали систему, которая объединяет методы машинного обучения и виброакустического анализа. В ее основе лежат алгоритмы искусственного интеллекта, компьютерного зрения и анализ акустических данных, поступающих от специализированных сенсоров и датчиков (лазерных сканеров, радаров, виброакустических устройств) [15].

Ученые Уральского федерального университета разработали систему автоматизированного обнаружения дефектов на дорожном полотне с применением сверточных нейронных сетей. Система основана на сочетании методов компьютерного зрения и нейросетей. Камера, установленная на автомобиле, снимает дорогу, а программное обеспечение обрабатывает полученные кадры, определяя наличие трещин, ям и прочих дефектов [16].

Ученые из разных стран также представляют свои разработки в области автоматизации процесса обнаружения дефектов на дорогах.

Турецко-венгерский проект U-SOAR представил разработку системы контроля дорожного покрытия с помощью дронов. В качестве основного направления деятельности было предложено создать сервис, в рамках которого информация о дорожном покрытии (его состоянии и/или наличии посторонних предметов), собранная с помощью дронов, будет предоставляться участникам дорожного движения и операторам в обработанном виде, а именно в виде оценки качества дороги и уведомлений об опасных участках [17, 18].

Компания RoadBotics из Питтсбурга, штат Пенсильвания, занимается разработкой передовых технологий компьютерного зрения для обследования дорог и инфраструктуры. Компания использует технологии глубокого обучения для оценки состояния дорог в 78 городах, поселках и округах США и Австралии. Специальные автомобили оснащены камерами, снимающими дорогу, а нейросети обрабатывают эти снимки, мгновенно классифицируя проблемы. Компания утверждает, что их технология достигла точности около 90% [19]. Система RoadBotics экономит местным властям время и деньги – например, в городе Саванна (штат Джорджия) объективный рейтинг дорожного покрытия

был предоставлен за три месяца, в то время как ранее на оценку состояния всех 1100 км дорожного полотна у властей уходило три года.

Канадский стартап по сканированию улиц предложил платформу, объединяющую лазерные сканеры LiDAR и фотограмметрию. мобильной сенсорной системы, способной обнаруживать дефекты дорожного покрытия, а также ГИС-приложение, которое можно использовать в качестве инструмента бюджетного планирования и технического обслуживания для принятия решений по реализации инфраструктурных планов на основе полученных данных. Их система собирает трехмерные карты дорог, автоматически находя и классифицируя дефекты. Данная разработка уже получила признание в Канаде и США [20].

Несмотря на успехи, существуют определенные трудности, такие как необходимость адаптации к различным климатическим зонам и типам покрытия, которые влияют на точность обнаружения и классификации дорожных дефектов. Все это стимулирует дальнейшие научные изыскания и инженерные решения по обнаружению дорожных дефектов, а также адаптация их к программным комплексам по содержанию автомобильных дорог.

Целью исследования является выбор методов и алгоритмов обнаружения дорожных дефектов с использованием компьютерного зрения, что позволит повысить точность и оперативность выявления повреждений на автомобильных дорогах. Это, в свою очередь, оптимизирует процессы их эксплуатации и обслуживания, обеспечивая более эффективное сохранение качества дорожной инфраструктуры.

Задачи исследования: сравнить YOLOv8 с другими архитектурами нейронных сетей на одинаковом датасете; разработать систему обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения.

2. Материалы и методы

Создание системы обнаружения дорожных дефектов требует последовательного подхода, включающего сбор качественных данных, выбор подходящей архитектуры нейронной сети, тщательное обучение и проверку результатов перед внедрением в реальную эксплуатацию.

Разработка системы детектирования дорожных дефектов на основе компьютерного зрения должна включать следующие ключевые этапы.

1 этап. Сбор и подготовка данных.

Необходимо собрать большой объем высококачественных фотографий и видеозаписей дорожного полотна, отражающих разные виды повреждений поверхности автомобильной дороги. При сборе видеоданных необходимо учитывать: различные погодные условия (дождь, снег, солнечная погода), изменения в освещении (день, ночь, искусственное освещение), разные типы дорожных покрытий и их повреждения, для эффективного обучения модели.

Источники для сбора данных о дефектах дорожного покрытия:

- видеокамеры и видеорегистраторы: устанавливаются на автомобилях для диагностики и паспортизации, а также патрулирования дорог, что позволяет собирать актуальные данные;

- стационарные камеры: размещаются вдоль дорог для круглосуточного мониторинга, обеспечивают стабильный просмотр участков дороги;

- БПЛА, оснащенные камерой: используются для аэрофотосъемки и получения высококачественных видео в труднодоступных местах, обеспечивают возможность получения комплексного изображения состояния дороги.

2 этап. Обработка и подготовка данных.

Разделение на кадры. Собранные видеопотоки необходимо разделить на отдельные кадры для дальнейшего анализа. Этот процесс включает: выбор частоты кадров (например, 30 кадров в секунду), сохранение кадров в удобном формате для анализа.

Предобработка изображений. Предобработка играет важную роль в улучшении качества анализа, к ним можно отнести: изменение яркости и контрастности (позволяет улучшить видимость дефектов, фильтрация шумов (применение фильтров для удаления нежелательных эффектов, скрадывающих детали дорожного покрытия), кадрирование

(отбор участков кадра, содержащих дорожные объекты, что позволяет сократить время обработки). В работе использован медианный фильтр (размер ядра 3×3) для подавления импульсного шума (например, «соль и перец»), который может возникать при съёмке на подвижную камеру. Этот фильтр эффективно удаляет шум, сохраняя при этом чёткие границы, что критически важно для тонких трещин. Для выравнивания освещённости и повышения локального контраста применена адаптивная гистограммная эквализация (CLAHE). Этот метод позволяет усилить видимость мелких дефектов (включая тонкие трещины шириной до 2–3 пикселей) на участках с неравномерным освещением (тень от деревьев, блики). Также использован фильтр повышения резкости (unsharp masking) – с силой 0.5 и радиусом 1.0 для подчёркивания краёв дефектов.

Этап 3: Выбор архитектуры нейронной сети.

Для обработки исходных данных применяется библиотека Python, такая как TensorFlow – одна из наиболее широко используемых библиотек глубокого обучения, разработанная командой Google Brain. Поддерживает широкий спектр алгоритмов машинного обучения и глубокое обучение.

4 этап. Обучение модели.

Разработка и обучение алгоритмов для обнаружения дорожных дефектов:

- имитация работы нейронных сетей: используются сверточные нейронные сети для анализа изображений;
- создание модели машинного обучения: обучение с учителем – использование размеченных данных для тренировки моделей; обучение без учителя – кластеризация изображений для выявления проблем.

Алгоритмы должны уметь классифицировать и идентифицировать дефекты:

- по типам дефектов: трещины, выбоины, деформации;
- по степени серьезности: легкие (незначительные) дефекты, средние дефекты, серьезные дефекты, требующие немедленной реакции. Важно отметить, что предложенная модель YOLOv8 решает задачу детекции и классификации дефектов по типу (трещина, выбоина, деформация). Определение степени серьезности (легкий, средний, серьезный) не выделено в отдельные классы в архитектуре нейронной сети. В дальнейшей работе запланировано вычисление реальных геометрических размеров дефекта на основе калиброванных параметров камеры. В соответствии с пороговыми значениями, заданными нормативными документами, дефекту будет присвоен уровень серьезности.

5 этап. Привязка дефектов дорожного покрытия к координатам.

Привязка дефектов осуществляется при помощи интеграция GPS-данных, которые позволяют точно определить местоположение для каждого выявленного дефекта. Обеспечение точности до нескольких метров, что важно для составления последующего плана ремонта дорог. Данные GPS могут быть интегрированы с цифровыми картами и системами управления дорожным движением.

Для детектирования дорожных дефектов была выбрана архитектура YOLOv8 (You Only Look Once version 8) как современная и эффективная модель для задач реального времени. В отличие от классических двухэтапных детекторов (R-CNN, Fast R-CNN), YOLO выполняет детектирование за один проход через нейронную сеть, что существенно снижает вычислительные затраты и позволяет обрабатывать видеопоток в реальном времени.

Архитектура YOLOv8 состоит из трёх основных компонентов:

- 1) Backbone (CSPDarknet) – свёрточная сеть для извлечения признаков.
- 2) Neck (PAN-FPN) – пирамида признаков для многоуровневой агрегации.
- 3) Head (Anchor-free детектор) – выходные слои для предсказания ограничивающих рамок, классов и уверенности.

Математическая модель YOLO v8.

Входное изображение размером $H \times W \times 3$ (в реализации $640 \times 640 \times 3$) разделяется на сетку размером $S \times S$. Каждая ячейка сетки отвечает за детектирование объектов, центр которых попадает в данную ячейку.

Для каждой ячейки сетки модель предсказывает:

1. в ограничивающих рамок (в YOLOv8 anchor-free подход, но с несколькими уровнями масштабов);
2. для каждой рамки:
 - координаты центра рамки относительно ячейки (t_x, t_y) ;
 - ширина и высота рамки (t_w, t_h) ;
 - уверенность (objectness score), $P(\text{object})$;
 - вероятности классов, $P(c_i | \text{object})$ для $i = 1 \dots K$, где K – количество классов дефектов.

Итоговые координаты рамки вычисляются как:

$$b_x = \sigma(t_x) + c_x, \quad (1)$$

$$b_y = \sigma(t_y) + c_y, \quad (2)$$

$$b_w = p_w \cdot e^{t_w}, \quad (3)$$

$$b_h = p_h \cdot e^{t_h}, \quad (4)$$

где b_x, b_y – координаты центра рамки в абсолютных координатах изображения; c_x, c_y – координаты верхнего левого угла ячейки сетки; p_w, p_h – ширина и высота приоритетной рамки (в anchor-free версии используются динамические якоря); σ – сигмоид-функция.

В YOLOv8 используется составная функция потерь, включающая три компонента:

$$\mathcal{L} = \lambda_{\text{box}} \mathcal{L}_{\text{box}} + \lambda_{\text{cls}} \mathcal{L}_{\text{cls}} + \lambda_{\text{dfl}} \mathcal{L}_{\text{dfl}}, \quad (5)$$

где $\mathcal{L}_{\text{box}}$ – потери локализации (Distribution Focal Loss + CIoU);

$\mathcal{L}_{\text{cls}}$ – потери классификации (Binary Cross-Entropy);

$\mathcal{L}_{\text{dfl}}$ – Distribution Focal Loss для улучшения точности регрессии рамок;

$\lambda_{\text{box}}, \lambda_{\text{cls}}, \lambda_{\text{dfl}}$ – весовые коэффициенты.

Метрика оценки качества в задачах компьютерного зрения учитывает не только перекрытие, но и расстояние между центральными точками предсказанной и истинной рамок, а также соотношение сторон. Для оценки качества предсказанной рамки используется метрика CIoU:

$$\mathcal{L}_{\text{CIoU}} = 1 - \text{IoU} + \frac{\rho^2(b, b^{gt})}{c^2} + \alpha v, \quad (6)$$

где IoU – индекс Джаккарда – метрика, используемая в компьютерном зрении для оценки точности алгоритмов обнаружения объектов между предсказанной и истинной рамкой; $\rho^2(b, b^{gt})$ – евклидово расстояние между центрами рамок; c – диагональ наименьшего охватывающего прямоугольника; v – мера согласованности соотношений сторон; α – весовой коэффициент:

$$v = \frac{4}{\pi^2} \left(\arctan \frac{w^{gt}}{h^{gt}} - \arctan \frac{w}{h} \right)^2, \quad (7)$$

Для каждого класса используется бинарная кросс-энтропия:

$$\mathcal{L}_{\text{cls}} = - \sum_{i=1}^K [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)], \quad (8)$$

где y_i – истинная метка класса (0 или 1); $\hat{y}_i$ – предсказанная вероятность.

DFL оптимизирует распределение вероятностей положения границ рамки:

$$\mathcal{L}_{\text{DFL}} = - \sum_{j=0}^3 \sum_k \text{one-hot}(y_{jk}) \log(P_{jk}). \quad (9)$$

Обучение модели YOLOv8 производится с использованием оптимизатора AdamW с начальной скоростью обучения $\eta = 0.001$ и косинусным затуханием (cosine annealing). Размер батча (batch size) составляет 16 изображений. Результат обучения приведен на рисунке 1.

Исходный набор данных включал 5000 изображений дорожного покрытия, из них: изображений с трещинами – 2250, выбоин – 1750, деформаций – 1000. В результате обучения модели YOLOv8 на датасете из 5000 изображений дорожных дефектов (70% – обучение, 15% – валидация, 15% – тест) были получены метрики, представленные в таблице 1.

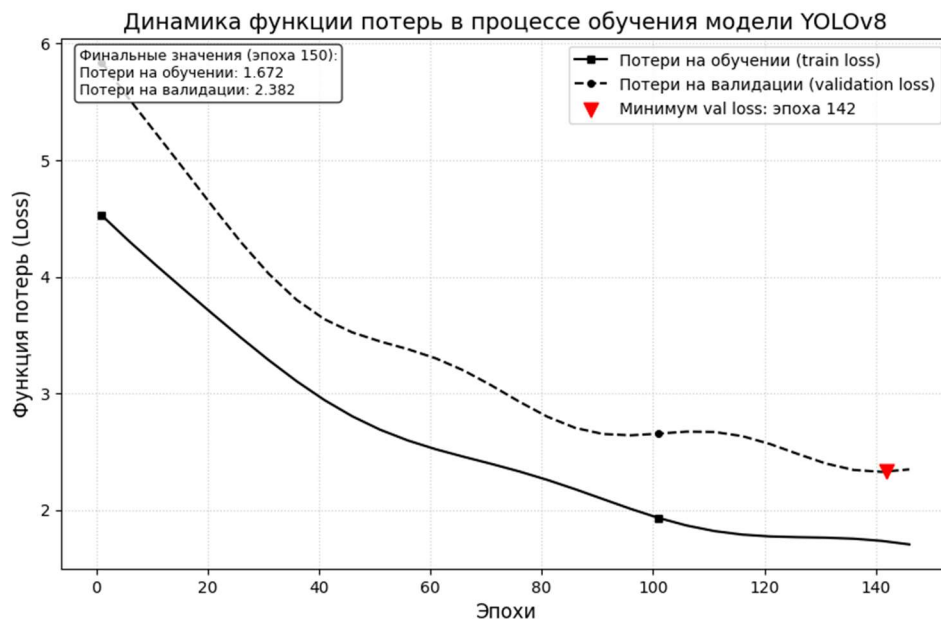


Рис. 1. Динамика функции потерь в процессе обучения модели YOLOv8 (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Dynamics of the loss function during the training of the YOLOv8 model (illustration by the authors)

Таблица 1

Метрики качества детектирования YOLOv8 на тестовой выборке

№ п/п	Класс дефекта	Precision	Recall	AP@0.5	AP@0.5:0.95
1	Трещины	0,93	0,89	0,91	0,67
2	Выбоины	0,91	0,86	0,88	0,62
3	Деформации	0,88	0,82	0,84	0,58
4	Все классы	0,91	0,86	0,89	0,63

В таблице 1 *Precision* показывает, какая доля объектов, обнаруженных моделью как дефекты, действительно является дефектами. *Recall* показывает, какая доля реальных дефектов была обнаружена моделью. *AP@0.5* (Average Precision при $\text{IoU}=0.5$) IoU показывает, насколько точно предсказанная рамка совпадает с реальной. *AP@0.5:0.95* это средняя AP по диапазону порогов. Сравнение архитектур детекторов представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение архитектур детекторов

№ п/п	Архитектура	mAP@0.5	FPS (GPU)	Размер модели
1	YOLOv8n	0,89	45	6,2 MB
2	YOLOv5s	0,87	42	14,1 MB
3	EfficientDet-D0	0,84	38	15,2 MB
4	SSD MobileNet	0,79	52	5,8 MB

В результате сравнения YOLOv8 с другими архитектурами нейронных сетей на том же датасете получили следующие результаты, представленные в таблице 2. YOLOv8n обеспечивает наилучший баланс между точностью ($\text{mAP}=0.89$), скоростью (45 FPS) и компактностью модели (6.2 MB), что делает её оптимальным выбором для развёртывания на мобильных устройствах и встраиваемых системах.

3. Результаты и их обсуждение

Архитектура системы обнаружения дорожных дефектов представляет собой структурированный и последовательный процесс, который начинается с установки камер с GPS на транспортные средства для записи видеоматериалов и их последующей передачи в облачное хранилище. Эффективность системы достигается через четкую интеграцию программного обеспечения, позволяющего обрабатывать видеоданные и генерировать отчеты о состоянии дорожного покрытия.

Сбор данных о дефектах дорожного покрытия осуществлялся с использованием камеры, установленной на дорожной лаборатории. Видеосъемка проводилась в Елабужском районе Республики Татарстан, координаты начала съемки – 55.774890 с.ш., 52.024234 в.д., координаты конца съемки – 55.763675 с.ш., 52.022568 в.д. Для разработки системы обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения, использовался формат видео MP4 (Рис. 2).



Рис. 2. Кадр из видеоматериала, Елабужский район Республика Татарстан (иллюстрация авторов)
Fig. 2. A frame from the video material, Yelabuga district of the Republic of Tatarstan
(illustration by the authors)

Разработка архитектуры нейронной сети проводилась на основе собранных исходных данных с применением библиотеки TensorFlow. Код, используемый для импорта библиотеки TensorFlow в программе:

- `tf();`
- `tensorflow_hub as hub().`

Примеры фотографий, на основе которых обучалась нейросеть представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Пример фотографий дорожных дефектов для обучения нейросети (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Example of photos of road defects for training a neural network (illustration by the authors)

Алгоритм работы программы кода системы детектирования дорожных дефектов изображен на блок-схеме (Рис. 4).

После загрузки видео осуществляется его разбивка на отдельные кадры. Затем программа анализирует каждый кадр, сосредоточивая внимание на дорожном покрытии, и отбирает те кадры, на которых выявлены дорожные дефекты. На следующем этапе программа определяет тип дорожного дефекта (например, трещина или выбоина) и отображает пиксельную маску на дефекте (Рис. 5), сохраняя кадр в указанную папку.

Результаты обработки полученных данных при обработке видеоматериала, включая отчет с координатами и типом дорожного дефекта, сохраняются в текстовый файл в ту же папку, где сохраняются изображения дорожных дефектов. В результате работы кода, были вычислены координаты и тип дорожных дефектов, которые частично представлены в таблице 3.

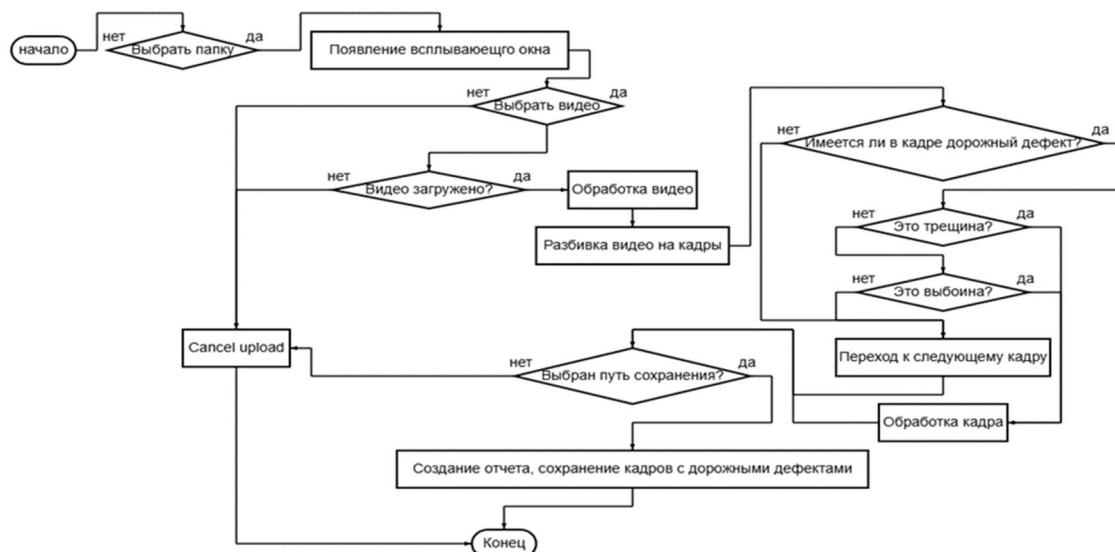


Рис. 4. Алгоритм работы программы кода системы детектирования дорожных дефектов (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Algorithm of operation of the code program of the road defect detection system (illustration by the authors)



Рис. 5. Обнаружение дорожных дефектов при помощи модели компьютерного зрения: а) выбоина, б) трещина (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Detection of road defects using a computer vision model: a) pothole, b) crack (illustration by the authors)

Разработанная система обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения улучшает управление дорогами, позволяя эффективно выявлять дорожные дефекты и прогнозировать износ покрытия. Это способствует повышению безопасности дорожного движения и качества дорожной инфраструктуры.

Таблица 3

Данные координат дорожных дефектов, полученные при работе кода системы обнаружения дорожных дефектов

Широта	Долгота	Дефект
55.774815	52.024223	Трещина
55.774722	52.024209	Трещина
55.774628	52.024195	Трещина
55.774478	52.024173	Трещина
55.774440	52.024168	Выбоина
55.774272	52.024142	Трещина
55.766844	52.023039	Трещина
55.766825	52.023036	Трещина

4. Заключение

Для создания системы обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения были определены ключевые этапы, включающие сбор качественных данных, выбор подходящей архитектуры нейронной сети, обучение и проверку результатов.

Сравнение YOLOv8 с другими архитектурами нейронных сетей показало, что YOLOv8n обеспечивает наилучший баланс между точностью ($mAP=0.89$), скоростью (45 FPS) и компактностью модели (6.2 MB), что делает её оптимальным выбором для развёртывания на мобильных устройствах и встраиваемых системах.

Разработана система обнаружения дорожных дефектов, способная в режиме реального времени обработать видеоматериалы и выявлять типы дефектов покрытия автомобильных дорог с привязкой координат.

Внедрение системы обнаружения дорожных дефектов на основе компьютерного зрения позволит значительно сократить время на выявление повреждений покрытий автомобильных дорог, улучшить качество принимаемых решений и, как следствие, обеспечить более высокий уровень безопасности и комфорта для пользователей дорог.

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ» (Соглашение №15/2025-ПД-КАИ от 22.12.2025).

Acknowledgments

The work was carried out at the expense of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to educational organizations of higher education, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral dissertations and perform research" (Agreement No. 15/2025-PD-KAI dated 12/22/2025).

Список литературы/ References

1. Бизяев И.С. Анализ дефектов дорожного покрытия и причины их // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 1(70). С. 232-237. EDN QTKTEM.
Bizyaev I.S. Analysis of pavement defects and their causes // Bulletin of Science. 2024. Vol. 1, No. 1(70). P. 232-237. EDN QTKTEM.
2. Гатиятуллин М.Х., Кутдусов Р.Ф. Влияние транспортно-эксплуатационного состояния дорожной сети на состояние аварийности // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2023. № 4(4). С. 79-86. EDN EEIVEI.
Gatiyatullin M.Kh., Kutdusov R.F. The influence of the transport and operational condition of the road network on the accident rate // Roads and transport infrastructure. 2023. No. 4(4). P. 79-86. EDN EEIVEI.
3. Cao M., Tran Q., Nguyen N., Chang K. Survey on performance of deep learning models for detecting road damages using multiple dashcam image resources // Advanced Engineering Informatics. 2020. No. 46. P. 101182. DOI 10.1016/j.aei.2020.101182.
4. Wu C., Wang Z., Hu S., Lepine J., Na X., Ainalis D., Stettler M. (). An Automated Machine-Learning approach for road pothole detection using smartphone sensor data // Sensors. 2020. No. 20 (19). P. 5564. DOI 10.3390/s20195564.
5. Цинь Х., Янь Я., Цзинь Ц., Чье Е.У., Воронин В.В. Алгоритм обнаружения дефектов дорожного полотна на основе модели YOLOv8s // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2024. No. 2(73). P. 51-62. DOI 10.38161/1996-3440-2024-2-51-62. EDN QAMOFM.
Qin H., Yan Ya., Jin C., Chye E.U., Voronin V.V. Algorithm for detecting defects in the roadway based on the YOLOv8s model // Bulletin of the Pacific State University. 2024. No. 2(73). P. 51-62. DOI 10.38161/1996-3440-2024-2-51-62. EDN QAMOFM.
6. Misra M., Gupta S., Tiwari Sh. Deep CNN and twin support vector machine-based model for detecting potholes in road network // International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. 2025. No. 18. DOI 10.2478/ijssis-2025-0099.

7. Рада А.О., Коньков Н.Ю. Разработка алгоритма анализа состояния дорожного полотна с применением искусственного интеллекта // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 40-46. DOI 10.30932/1992-3252-2024-22-2-5. EDN NWWUQQ.
Rada A.O., Konkov N.Yu. Development of an algorithm for analyzing the condition of the roadway using artificial intelligence // The world of transport. 2024. Vol. 22. No. 2 (111). P. 40-46. DOI 10.30932/1992-3252-2024-22-2-5. EDN NWWUQQ.
8. Ахмадиев Ф.Г., Галимов Р.А., Роот М.В. Перспективы внедрения нейронной сети YOLOv8 на строительный объект // Математические методы в технологиях и технике. 2025. № 12-1. С. 102-107. EDN AFGDLZ.
Akhmadiev F.G., Galimov R.A., Root M.V. Prospects for the implementation of the YOLOv8 neural network on a construction site // Mathematical methods in technology and engineering. 2025. No. 12-1. P. 102-107. EDN AFGDLZ.
9. Муртазин Р.Ш., Хузиахметова К.Р. Автоматизация обработки данных при оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги // сб. ст. Международного форума Kazan digital week - 2024 / Научный центр безопасности жизнедеятельности. Казань, 2024. С. 41-45. EDN TEBLMW.
Murtazin R.Sh., Khuziakmetova K.R. Automation of data processing in assessing the transport and operational condition of a highway // dig. of art. International Forum Kazan digital week - 2024 / Scientific Center for Life Safety, Kazan. 2024. P. 41-45. EDN TEBLMW.
10. Земсков Г.С. Обзор датасетов для распознавания дефектов дорожной инфраструктуры // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2025. Т. 10, № 12(62). С. 63-77. EDN GLDYCE.
Zemskov G.S. Review of datasets for detecting defects in road infrastructure // International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. 2025. Vol. 10, No. 12(62). P. 63-77. EDN GLDYCE.
11. Tamagusko T., Ferreira A. Optimizing Pothole Detection in Pavements: A Comparative Analysis of Deep Learning Models. Optimizing Pothole Detection in Pavements // A Comparative Analysis of Deep Learning Models. 2023. No. 57. P. 11. DOI: 10.3390/engproc202303601.
12. Скоробогатченко Д.А., Фурман Я.М. Автоматическое интеллектуальное распознавание дефектов дорожного покрытия с использованием сверточных нейронных сетей // Перспективы науки. 2023. № 5(164). С. 49-54. EDN JNUNKR.
Skorobogatchenko D.A., Furman Ya.M. Automatic intelligent detection of pavement defects using convolutional neural networks // Perspectives of science. 2023. No. 5(164). P. 49-54. EDN JNUNKR.
13. Васильев П.В., Сеничев А.В. Применение нейросетевых технологий в задаче контроля поверхностных дефектов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2020. № 1(205). С. 33-40. DOI 10.17213/1560-3644-2020-1-33-40. EDN IJKKSH.
Vasiliev P.V., Senichev A.V. Application of neural network technologies in the problem of control of surface defects // News of universities. The North Caucasus region. Technical sciences. 2020. No. 1(205). P. 33-40. DOI 10.17213/1560-3644-2020-1-33-40. EDN IJKKSH.
14. ИИ найдет ямы и дефекты на дорогах в десятки раз быстрее. URL: <https://sicmt.ru/press-center/ii-najdet-yamy-i-defekty-na-dorogah-v-desyatki-raz-bystree> (дата обращения: 02.02.2026).
AI will find holes and defects on roads ten times faster. URL: <https://sicmt.ru/press-center/ii-najdet-yamy-i-defekty-na-dorogah-v-desyatki-raz-bystree> (reference date: 02.02.2026).
15. Мокрушин Н.Ю., Сперанский Д.В., Чудинов С.А. Автоматизированное обнаружение дефектов на дорожном полотне с применением сверточных нейронных сетей : сб. ст. XV Международной научно-технической конференции – Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий / Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2024. С. 489-494. EDN WYQBQW.

- Mokrushin N.Y., Speransky D.V., Chudinov S.A. Automated detection of defects on the roadway using convolutional neural networks: dig. of art. XV of the International Scientific and Technical Conference – An effective response to modern challenges, taking into account the interaction of man and nature, man and technology / Ural State Forestry University. Yekaterinburg, 2024. P. 489-494. EDN WYQBQW.
16. Szilágyi D., Szirczák D., Rohács D., Ármin F. Feasibility of a Drone-Based Road Network Inspection System // Engineering Proceedings. 2024. No 79, no. 1. P. 76. <https://doi.org/10.3390/engproc2024079076>.
17. Tkáč M., Mészáros P. Utilizing drone technology in the civil engineering // Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 14. No. 1. P. 27-37.
18. Artificial intelligence startup RoadBotics raises \$3.9 million to revolutionize and transform management of roadways and other infrastructure. URL: <https://techstartups.com/2018/11/14/artificial-intelligence-startup-roadbotics-raises-3-9-million-revolutionize-transform-management-roadways-infrastructure/> (reference date: 02.02.2026).
19. Chu H., Saeed M.R., Rashid J., Mehmood M.T., Ahmad I., Iqbal R.S. Deep Learning Method to Detect the Road Cracks and Potholes for Smart Cities // Comput Mater Contin. 2023. No. 75(1). P. 1863-1881. DOI <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.035287>
20. From Research To Industry – The StreetScan Story. URL: <https://geoawesome.com/research-industry-streetscan-story/> (reference date: 02.02.2026).

Информация об авторах

Николаева Регина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация;

E-mail: nikolaeva1@bk.ru, ORCID: 0000-0002-5324-432x.

Мавлиева Нелли Булатовна, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация;

E-mail: nelly.gerlinger@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-9546-5056.

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 кафедры «Автоматизированных систем обработки информации и управления», 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

Regina V. Nikolaeva, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation;

E-mail: nikolaeva1@bk.ru, ORCID: 0000-0002-5324-432x.

Nelli B. Mavlieva, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation;

E-mail: nelly.gerlinger@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-9546-5056.

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, Department of Automated Information Processing and Control Systems, 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: 16.02.2026

Дата принятия: 28.04.2026