



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.93

ОБЗОР ДАТАСЕТОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Земсков Г.С.

*ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ", Москва, Россия,
(111024, город Москва, Авиамоторная ул., д.8а), e-mail: james885422@gmail.com*

В статье рассматриваются публичные датасеты, предназначенные для обучения моделей в задачах распознавания дефектов дорожной инфраструктуры. Выполняется описание и оценка датасетов на соответствие определенным критериям. Проводится анализ применения указанных датасетов в других исследованиях.

Ключевые слова: Дорожная инфраструктура, компьютерное зрение, датасет, детекция объектов.

OVERVIEW OF DATASETS FOR ROAD INFRASTRUCTURE DEFECT RECOGNITION

Zemskov G.S.

*OF THE ORDER OF THE RED BANNER OF LABOR OF THE MOSCOW TECHNICAL
UNIVERSITY OF COMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Moscow, Russia, (111024, Moscow,
Aviamotornaya str., 8a), e-mail: james885422@gmail.com*

The article discusses public datasets designed to train models in problems of recognizing defects in road infrastructure. Datasets are described and evaluated for compliance with certain criteria. An analysis of the use of these datasets in other studies is being conducted.

Keywords: Road infrastructure, computer vision, dataset, object detection.

Введение

Мониторинг состояния дорожной инфраструктуры — одна из ключевых задач обеспечения безопасности дорожного движения и поддержания мобильности населения. Повреждения покрытия, дефекты дорожных знаков, сбои в работе светофоров и нарушения целостности ограждений не только ухудшают комфорт передвижения, но и напрямую повышают риск ДТП, увеличивают эксплуатационные расходы и замедляют логистику. В современных условиях масштабной реконструкции и строительства транспорта-социальной среды, инициированной национальными программами, способность быстро и автоматически выявлять такие дефекты становится особенно актуальной. У нас в стране эта задача получила дополнительный импульс в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни», который ориентирован на модернизацию транспортной, коммунальной и социальной инфраструктуры с акцентом на повышении качества и безопасности среды обитания [1].

Технологии компьютерного зрения и глубокого обучения показали заметный прогресс в задачах детекции и классификации объектов в уличных сценах: современные сверточные и трансформерные архитектуры способны распознавать дорожные объекты в реальном времени

и адаптироваться к разнообразию условий съёмки [2-5]. Однако практическое внедрение таких систем в масштабах региональной или национальной сети сталкивается с фундаментальной проблемой — доступностью и пригодностью исходных данных для обучения и валидации.

Цель данной статьи — проанализировать существующие публичные датасеты, которые подходят для задачи распознавания дефектов транспортной инфраструктуры, и оценить возможность их применения.

Критерии оценки

Для объективного анализа существующих наборов данных и определения их применимости в задачах распознавания дефектов транспортной инфраструктуры необходимо сформировать систему критериев, позволяющих сравнивать датасеты по единым основаниям. Эти критерии отражают не только технические характеристики данных, но и их соответствие реальным условиям эксплуатации систем компьютерного зрения.

1. Типы и разнообразие дефектов

Одним из главных параметров является перечень дефектов, представленных в датасете. Для задач мониторинга транспортной инфраструктуры могут быть актуальны следующие категории:

- повреждение дорожного покрытия (выбоины, трещины и другие)
- повреждённые дорожные знаки (деформация, загрязнение, потеря светоотражающего покрытия);
- разрушенные элементы ограждений;
- отсутствие разметки или её значительное выцветание.

Качественный датасет должен не только включать разнообразные дефекты, но и обеспечивать достаточную статистическую представленность каждой категории. Отсутствие баланса между классами может существенно ухудшить обобщающую способность моделей.

2. Объем данных

Объём данных напрямую влияет на качество обучения моделей. При анализе учитываются:

- количество изображений или видеозаписей;
- число аннотированных объектов;
- количество сцен с дефектами.

Для задач, связанных с распознаванием мелких или редких дефектов, важным является наличие большого числа примеров, поскольку такие объекты требуют дополнительных данных для устойчивого обучения.

3. Уровень и формат разметки

Разметка является критически важной частью датасета. Возможны следующие уровни аннотаций:

- классификационные метки (наличие/отсутствие дефекта);
- ограничивающие прямоугольники;
- сегментация отдельных объектов;
- покадровая или постраничная сегментация классов;

Чем точнее и детальнее разметка, тем больше возможностей предоставляет датасет для обучения продвинутых моделей. Отдельно учитывается однородность и корректность разметки — наличие ошибок или неполных аннотаций затрудняет использование данных.

4. Условия съемки и вариативность среды

Качество и устойчивость алгоритмов во многом определяются тем, насколько разнообразными являются условия съемки. Важными параметрами являются:

- время суток;
- погодные условия;
- сезонность;
- разрешение и качество изображения;

Для задач автономного мониторинга инфраструктуры принципиально важно, чтобы датасет охватывал различные реальные эксплуатационные условия, что повышает способность модели к обобщению.

5. Доступность, лицензия и возможности расширения

Важно понимать возможность использования датасета как в учебных целях, так и в реальных проектах.

Обзор датасетов

Road Damage Detection (RDD2022)

Датасет Road Damage Detection представляет собой набор данных для обнаружения дефектов дорожного покрытия. Материалы включают изображения, собранные в разных странах и отражающие широкий спектр дорожных условий, а также стандартизированную разметку распространенных типов разрушений. Благодаря этому RDD, можно сказать, является очевидным выбором для задач автоматического выявления дефектов асфальтового покрытия.

При всех достоинствах его область применения остаётся ограниченной преимущественно дорожным полотном. Дефекты других элементов инфраструктуры представлены мало или отсутствуют вовсе. Тем не менее, в контексте задач анализа поверхности дороги этот набор данных остаётся одним из наиболее репрезентативных и методически выдержанных [23]. Подробное описание приведено в исследовании [6], которое посвящено этому датасету.

Соответствие критериям оценки:

1. Типы дефектов

Только дорожное полотно. Знаки, барьеры и другие элементы инфраструктуры практически отсутствуют. Дефекты дорожного полотна: трещины, выбоины, поперечные и продольные разрушения, поверхностные повреждения покрытия.

2. Объем данных

47 тысяч изображений в RDD2022.

3. Уровень и формат разметки

Ограничивающие прямоугольники, несколько классов дефектов, единый формат аннотаций, стабильность между версиями датасетов. Разрешение и качество среднее, высокое.

4. Условия съёмки

Разные страны и климатические условия; преимущественно дневная съёмка; небольшое количество ночных и сложных погодных условий.

5. Доступность и лицензия

CC BY-SA 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства и выпуска под аналогичной лицензией.

Road Potholes Images

Датасет Road Pothole Images представляет собой набор изображений выбоин на дорожном покрытии. Он включает примерно 11,5 тысяч фотографий, полученных в разнообразных дорожных условиях, различающихся по качеству поверхности, времени суток и сложности сцены. В отличие от универсальных наборов городских изображений, этот датасет полностью сфокусирован на одном типе дефекта — выбоинах, что делает его особенно полезным для обучения и тестирования алгоритмов детекции повреждений дорожного полотна. Однако, датасет отражает только один аспект состояния дороги и не включает инфраструктурные объекты — дорожные знаки, ограждения, светофоры или бордюры. Это ограничивает возможности его применения в комплексных задачах мониторинга транспортной инфраструктуры [24].

Аналогичный датасет упоминается в исследованиях, посвященных распознаванию повреждений дорожного полотна [7,8]. При этом в работе [8] указано про применение датасета для создания алгоритма обнаружения выбоин в реальном времени на основе YOLOv8.

1. Типы дефектов

Датасет включает только один вид дефекта — выбоины. Другие категории повреждений дорожного покрытия и инфраструктурных объектов отсутствуют.

2. Объем данных

11,5 тысяч изображений.

3. Уровень и формат разметки

Датасет содержит разметку для выбоин в виде ограничивающих прямоугольников. Класс всего один, что упрощает обучение, но ограничивает возможность многоклассовой детекции.

4. Условия съёмки

Сцены характеризуются разнообразием условий: различное освещение, разный угол съёмки, наличие теней, влажного покрытия и других факторов.

5. Доступность и лицензия

CC0: Public Domain. Открытое использование в любых целях.

CRACK500

Датасет CRACK500 является примером узкоспециализированного подхода. Он представляет собой набор изображений трещин дорожного покрытия.

CRACK500 характеризуется высокой точностью аннотаций и единообразием изображений, что позволяет использовать его в роли эталонного материала для разработки и тестирования методов сегментации микродефектов. Благодаря попиксельным аннотациям данный датасет является крупнейшим набором данных о трещинах на асфальте.

Однако ориентированность на единственный тип повреждений неизбежно сужает возможности применения датасета. Он не отражает многообразия реальных ситуаций, с которыми может столкнуться система мониторинга дорожной инфраструктуры [25].

Применение этого датасета также упоминается в нескольких работах по распознаванию дефектов [6-9].

Соответствие критериям оценки:

1. Типы дефектов

Только трещины (разной толщины, протяжённости, формы). Исключительно дорожное покрытие.

2. Объем данных

500 изображений.

3. Уровень и формат разметки

Пиксельные маски (semantic segmentation), высокоточная.

4. Условия съёмки

Однообразные условия освещения; отсутствие сложных погодных сценариев.

Высокое качество изображений.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

RoadDamageVision

Датасет представляет собой набор изображений дорожных покрытий с видимыми дефектами, полученных с помощью дронов в Китае и Испании. Отличительной особенностью датасета является метод съёмки - такой подход обеспечивает более широкий охват дорожных участков и подходит для более глобальной проверки дорог аналогичным способом. Но, как и в предыдущих примерах, этот датасет направлен исключительно на повреждения дорожного полотна и не охватывает другие элементы инфраструктуры [26].

Данный датасет был собран в рамках исследования по распознаванию дефектов дорожного покрытия с помощью дронов [13]. О применении датасета упоминается в исследовании о распознавании повреждений с помощью дронов и методов глубокого обучения, проведенном теми же авторами [14].

1. Типы дефектов

Трещины продольные, поперечные, блочные, сеточные. Выбоины и разрушенные участки покрытия. Заплатки и признаки предыдущего ремонта.

Датасет фокусируется исключительно на дефектах дорожного полотна.

2. Объем данных

7 647 изображений.

3. Уровень и формат разметки

Bounding-box разметка дефектов.

4. Условия съёмки

Аэрофотосъёмка с дронов в городах, пригородах и сельской местности. Дорожные участки сняты с высоты птичьего полета.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

BDD100K (Berkeley Deep Drive Dataset)

Этот датасет представляет собой набор данных видеозаписей вождения. Набор данных отличается географическим, экологическим и погодным разнообразием, что повышает

надёжность обученных моделей. Он подходит для задач сегментации, семантической сегментации, обнаружения и идентификации объектов [27]. О его применении упоминается в нескольких работах, связанных с автономным вождением и распознаванием элементов уличных сцен [15-17].

1. Типы дефектов

Дефектов нет, но присутствуют объекты инфраструктуры: дорожные знаки, светофоры, ограждения, разметка.

2. Объем данных

100 000 изображений и большое количество видео. Один из крупнейших датасетов.

3. Уровень и формат разметки

Сегментация высокого уровня, детекция объектов. Представлено 12 различных классов.

4. Условия съёмки

Большое разнообразие: день/ночь, дождь, снег, туман, город/трасса. Подходит для моделирования условий автономного вождения.

5. Доступность

Возможно использовать в образовательных, исследовательских и некоммерческих целях

Mapillary Vistas

Датасет Mapillary Vistas – это набор данных уличных сцен. Он охватывает широкий спектр уличных сцен по всему миру, включая города, сельские районы и бездорожье. Аннотации выполнены в плотном, детализированном стиле с использованием полигонов для обозначения отдельных объектов.

Однако дефекты в нем представлены нерегулярно и в большинстве случаев не имеют отдельной аннотационной категории. Набор данных выступает скорее в роли универсальной основы для «понимания» сцены [28]. Из-за популярности датасета он довольно часто используется в различных исследованиях. Отдельно стоит отметить работу [18], в которой проводится исследование этого датасета в задаче распознавания дорожных знаков с высокой детализацией. В результате авторы представляют новый набор данных с дорожными знаками, разделенными на более детализированные и семантически значимые категории.

1. Типы дефектов

Дефекты как отдельные классы отсутствуют; возможны косвенные признаки повреждений.

2. Объем данных

25 тысяч изображений.

3. Разметка

Сегментация высокого уровня детализации, множество классов. Знаки, дороги, ограждения, дома, разметка и другие — всего 124 категории.

4. Условия съемки

Различные погодные и сезонные условия, разное время суток. Высокое качество изображений, разнообразная съемка – от смартфонов до профессиональных камер.

5. Доступность и лицензия

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 IGO). Открытое использование при условии указания авторства, нельзя использовать в коммерческих целях.

Road Issues Detection Dataset

Этот датасет представляет собой один из наиболее разнообразных и практически ориентированных наборов данных, предназначенных для исследования проблем и дефектов объектов транспортной инфраструктуры. Его отличительной особенностью является широта охватываемых категорий: в отличие от специализированных наборов, сосредоточенных только на трещинах или выбоинах, этот датасет включает в себя более широкий спектр дефектов — от повреждений дорожного покрытия до нарушений в состоянии инфраструктурных объектов, таких как дорожные знаки, ограждения или элементы обочины [29]. Упоминание в других исследованиях конкретно этого датасета найти не удалось. Однако, его актуальность и возможность применения очевидна, так как его содержание аналогично другим датасетам из этой же предметной области, упомянутых в том числе в этом исследовании.

1. Типы дефектов

Выбоины, трещины, повреждённые дорожные знаки, нарушенные барьеры или ограждения, неровности, разрушенные участки покрытия, мусор или обломки на дороге и другие проблемы.

2. Объём данных

9 600 изображений.

3. Уровень и формат разметки

Разметка выполнена в виде ограничивающих рамок.

4. Условия съёмки

Изображения получены в естественных городских и пригородных условиях, преимущественно при дневном освещении.

Присутствует вариативность по ракурсам, расстоянию до объектов, уровню качества, но без ночных сцен или сцен с другой погодой.

5. Доступность и лицензия

CC0-1.0. Открытое использование в любых целях.

Damaged Signs Multi-label

Датасет представляет собой набор изображений поврежденных дорожных знаков, размеченный на несколько типов дефектов. Отличительной особенностью этого набора данных является наличие примеров, которые содержат несколько меток [30].

1. Типы дефектов

Представлены различные типы повреждений: изгиб, вандализм, потертости.

2. Объём данных

1,8 тысяч изображений

3. Разметка

Датасет размечен на 5 классов: изгиб, поврежденные, не поврежденные, вандализм, потертости. Имеются примеры, которые содержат несколько меток.

4. Условия съемки

Представлены изображения дорожных знаков крупным планом в основном в светлое время суток.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

Damaged Signs Dataset

Этот датасет содержит набор изображений дорожных знаков, собранный в Португалии, как в нормальных условиях, так и в неблагоприятных. Важно отметить, что набор данных создан для решения задач по классификации и распознаванию дорожных знаков и не имеет разметки по типам дефектов. Тем не менее он включает в себя дорожные знаки с различными типами повреждений – ржавчина, царапины, выцветание, деформация и другие. В отличие от датасета Damaged Sign Multi-label, в котором изображены дорожные знаки крупным планом, в этом наборе изображены сцены улиц из карт (вероятно, Google Maps) [31].

1. Типы дефектов

Типы дефектов не выделены в отдельные классы.

2. Объем данных

3194 изображений

3. Уровень и формат разметки

Разметка выполнена в виде ограничивающих рамок. Содержит 8 классов-типов дорожных знаков.

4. Условия съемки

Изображения выполнены в виде уличных сцен из карт (Google Maps) преимущественно в дневное время.

5. Доступность и лицензия

CC0: Public Domain. Открытое использование в любых целях.

Задача распознавания поврежденных дорожных знаков рассматривается в нескольких исследованиях, что говорит об ее актуальности [19-21]. В этих исследованиях авторы используют собственные датасеты, собранные под конкретную задачу. Указанные в этом обзоре датасеты с поврежденными знаками можно рассматривать как основу для исследований и экспериментов.

Dataset for Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds

Этот датасет создан для обнаружения структурных повреждений на различных бетонных поверхностях. На каждом изображении запечатлены реальные бетонные конструкции с разнообразным фоном и особенностями окружающей среды. Данный датасет подходит для обнаружения и локализации повреждений в бетонных конструкциях в различных условиях [32]. Он был создан в рамках исследования по обнаружению структурных повреждений в бетонных конструкциях. Авторы указывают, что в прошлых исследованиях обучение проводилось на наборе данных, в которых повреждения были преимущественно на однородном фоне, что ограничивало точность обнаружения дефектов на реальных объектах. Этот набор данных был применен для обучения моделей YOLO различных версий и, по утверждению авторов, были получены многообещающие результаты [22].

1. Типы дефектов

Представлены повреждения бетонных поверхностей в различных условиях.

2. Объем данных

2750 изображений

3. Уровень и формат разметки

Разметка выполнена в виде ограничивающих рамок для различных типов повреждений: трещины, отслаивание, разрушение поверхности.

4. Условия съемки

Представлены изображения бетонных конструкций преимущественное в дневное время.

5. Доступность и лицензия

CC BY 4.0. Открытое использование в любых целях, при условии указания авторства.

Датасеты Mapillary Vistas и BDD100K изначально не предполагают наличие разметки по дефектам, но они добавлены в обзор в связи с тем, что их можно использовать как основу для извлечения элементов дорожной инфраструктуры.

Для наглядности обзора ниже представлена сводная таблица, которая демонстрирует в каких датасетах и на сколько полно представлены дефекты.

Таблица 1 - Обзор датасетов

Датасет	Назначение датасета	Наличие разметки по дефектам	Какие классы (дефекты) представлены (при наличии)
RDD 2018 / 2020 / 2022	Датасет изображений повреждений дорожного покрытия	Да — специализированная разметка дефектов покрытия.	Трещины продольные, поперечные, сетчатые, выбоины.
Road Potholes Images	Коллекции изображений для обнаружения ям на дорогах.	Да — разметка для одной/нескольких классов (провалы/ямы).	Ямы и выбоины
CRACK500	Датасет для сегментации и детекции трещин на дорогах.	Да — высокоточная пиксельная разметка трещин.	Трещины
RoadDamage-Vision	Изображения поврежденных дорог с дронов для обнаружения дефектов покрытия.	Да — разметка дефектов покрытия, снятых сверху	Выбоины, продольные и поперечные трещины, растрескивание (alligator cracking), трещины в блоках, повреждения поверхности
BDD100K	Крупный универсальный датасет для задач автономного вождения: содержит видеозаписи сцен вождения.	Нет	Разметки по дефектам нет
Mapillary Vistas	Большой датасет изображений уличных сцен.	Нет	Разметки по дефектам нет

Road Issues Detection Dataset	Набор изображений для задач мониторинга городских проблем инфраструктуры.	Да — содержит разметку проблем/дефектов различной инфраструктуры	Ямы, повреждённая дорога, сломанные дорожные знаки, неправильная стоянка и другие (в зависимости от версии)
Damaged Signs Multi-label	Набор изображений для распознавания поврежденных дорожных знаков	Да - содержит разметку по 5 классам дефектов	Изгиб, поврежденные, не поврежденные, вандализм, потертости
Damaged Signs Dataset	Набор изображений для распознавания дорожных знаков в различных условиях (в том числе поврежденные знаки)	Нет	Разметки по дефектам нет
Damage Detection Dataset for Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds	Датасет для обнаружения структурных повреждений на бетонных поверхностях	Да - содержит разметку по 3 классам повреждений	Трещины, отслаивание, разрушение поверхности

Обсуждение и выводы

Проведенный обзор и анализ существующих наборов данных демонстрирует, что текущая база данных для решения задач по выявлению дефектов транспортной инфраструктуры отличается многообразием и представлена как узкоспециализированными, так и универсальными наборами данных. Специализированные датасеты, такие как RDD или CRACK500, предоставляют высококачественные изображения и точные аннотации для трещин и выбоин на дорожном покрытии. Эти наборы данных позволяют разрабатывать и тестировать алгоритмы, способные выявлять мелкие и сложные повреждения асфальтового полотна с высокой точностью. Аналогичное можно сказать о таких датасетах как «Damaged Signs Multi-label» и «Damage Detection Dataset for Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds», которые охватывают другую часть дорожной инфраструктуры – дорожные знаки и бетонные конструкции. С их помощью можно решить задачу классификации и распознавания повреждений дорожных знаков и бетонных (и аналогичных) элементов инфраструктуры.

Датасеты общего назначения, такие как Mapillary Vistas и BDD100K, отличаются масштабностью и разнообразием объектов и сцен, обеспечивая моделям возможность обучаться пониманию городской среды, ориентации в сложных условиях и взаимодействия с динамическими объектами. Однако они не имеют специализированной разметки по типам дефектов.

Отдельно можно отметить датасет Road Issue Detection. В этом датасете, в отличие от других, данные собраны комплексно – представлены сразу несколько типов поврежденных инфраструктурных объектов. Однако при этом датасет размечен более укрупненно и не содержит отдельных видов дефектов, а также содержит классы, которые выходят за рамки задачи распознавания дефектов (например, проблемы с парковкой или разбросанный мусор).

Также отдельно можно отметить ограничения представленных датасетов поврежденных дорожных знаков. Некоторые изображения содержат специфичные для страны съемки знаки, которые отсутствуют в России.

Вывод, вытекающий из проведенного анализа, состоит в том, что для создания эффективной системы мониторинга инфраструктуры необходим комбинированный подход. Он предполагает использование специализированных датасетов для детального изучения повреждений

и крупных, многоцелевых коллекций для обучения моделей контексту и общей ориентации в городской среде. Похожие решения демонстрируют авторы приведенных в обзоре исследований – только в рамках задачи выявления дефектов конкретных элементов инфраструктуры [19-21]. Дополнительно актуально создавать собственные аннотированные выборки, включающие недостающие классы дефектов.

Такой комплексный подход позволит обеспечить модели не только высокой точностью детекции отдельных дефектов, но и устойчивостью к разнообразию реальных условий, что является критически важным для практического применения систем автоматического контроля состояния транспортной инфраструктуры. Кроме того, комбинированное использование датасетов создаёт основу для постепенного расширения возможностей алгоритмов: новые классы повреждений могут быть добавлены по мере накопления дополнительных данных и проведения их разметки, обеспечивая гибкость и долгосрочную актуальность разработанных решений.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 “О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года”.
2. Антонов Михаил Олегович, Темкин Игорь Олегович Распознавание и отслеживание дефектов дорожного полотна в реальном времени на основе комплексного использования стандартных вычислительных процедур и глубоких нейронных сетей // Программные продукты и системы. 2024. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-i-otslezhivanie-defektov-dorozhnogo-polotna-v-realnom-vremeni-na-osnove-kompleksnogo-ispolzovaniya-standartnyh> (дата обращения: 03.12.2025).
3. Комплексное распознавание дорожных знаков на основе нейронных сетей и МЭС / А. С. Шашурин, А. Р. Мелконьянц, С. А. Ковалев [и др.] // Мивар'22 : Сборник научных статей. – Москва : Издательский Дом "Инфра-М", 2022. – С. 302-308. – EDN PVWWKW.
4. Полянцева, К. А. Проблемы интерпретируемости нейросетевых моделей для детектирования объектов дорожной инфраструктуры / К. А. Полянцева, В. А. Киселева, П. Д. Шульпина // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2024. – Т. 11, № 2. – С. 72-78. – EDN JQTOCA.

5. Разработка интеллектуальной системы распознавания объектов для решения задач ситуационного управления в городе / М. В. Сулицкий, И. С. Зеленский, Н. П. Садовникова [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 7. – С. 104-109. – DOI 10.17513/snt.39702. – EDN UWCHRT.
6. Арья Д. и др. RDD2022: Многонациональный набор данных изображений для автоматического обнаружения повреждений на дорогах // Geoscience Data Journal. – 2024. – Т. 11. – № 4. – С. 846–862
7. Цзян И. и др. Многомасштабный оптимизированный алгоритм обнаружения выбоин на дорогах в реальном времени на основе YOLO // 44-я Китайская конференция по управлению (CCC) 2025 г. – IEEE, 2025. – С. 8958–8965.
8. Ассемлали Х., Бухсиссин С., Саэль Н. Обнаружение и классификация дорожных препятствий на основе компьютерного зрения: систематический обзор литературы // IEEE Access. – 2025.
9. Телло-Гил К. и др. Улучшение обнаружения трещин в бетонных конструкциях с использованием дополнений к реальным данным для глубокого обучения // Труды Канадского общества гражданского строительства, 2023 г., том 4: Construction Track. – Springer Nature, 2024. – Т. 498. – С. 237.
10. Алканнад А. А. и др. Crackvision: Эффективное обнаружение трещин в бетоне с помощью глубокого обучения и трансферного обучения // IEEE Access. – 2025.
11. Лей Цюй и др. Расширение набора данных для сегментации трещин с помощью моделирования роста трещин и разнообразия пространства признаков // Международная конференция IEEE по мультимедиа и выставкам 2024 г. (ICME). – IEEE, 2024. – С. 1–6.
12. Ма Н., Фань Р., Се Л. UP-CrackNet: Неконтролируемое попиксельное обнаружение дорожных трещин с помощью состязательного восстановления изображений // Труды IEEE по интеллектуальным транспортным системам. – 2024. – Т. 25. – № 10. – С. 13926–13936.
13. Сильва Л. А. и др. Архитектурная многоагентная система для системы мониторинга дорожного покрытия с распознаванием выбоин на снимках с БПЛА // Датчики. – 2020. – Т. 20. – № 21. – С. 6205.
14. Сильва Л. А. и др. Автоматизированное обнаружение повреждений дорожного покрытия с использованием снимков с БПЛА и методов глубокого обучения // IEEE access. – 2023. – Т. 11. – С. 62918–62931.
15. Арун С. и др. Повышение эффективности автономного вождения в сельской местности с помощью синтетических наборов данных, дополненных диффузией // UrbanAI: применение искусственного интеллекта для умных городов.
16. Ху Л. и др. Семантическая сегментация выделенных объектов на основе RGB-D камеры для семантического картирования роботов // Прикладные науки. – 2023. – Т. 13. – № 6. – С. 3576.
17. Гупта А., Илланко К., Фернандо Х. Обнаружение объектов для подключенных и автономных транспортных средств с использованием сверточных нейронных сетей с механизмом внимания // 95-я конференция IEEE по транспортным технологиям 2022 (VTC2022-Spring). – IEEE, 2022. – С. 1–6.

18. Нойхольд Г. и др. Набор данных картографических видов для семантического понимания уличных сцен // Труды международной конференции IEEE по компьютерному зрению. – 2017. – С. 4990–4999.
19. Трпкович А., Шельмич М., Евремович С. Модель для идентификации и классификации частично повреждённых и испорченных дорожных знаков // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2021. – Т. 25. – № 10. – С. 3953–3965.
20. Эрсю Ч. и др. Автоматическое визуальное обнаружение повреждений дорожных знаков и измерение их площади // 18-я Международная конференция по управлению, автоматизации, робототехнике и зрению (ICARCV), 2024. – IEEE, 2024. – С. 505–510.
21. Чен Т., Жэнь Дж. MFL-yolo: модель обнаружения объектов для повреждённых дорожных знаков // препринт arXiv arXiv:2309.06750. – 2023.
22. Раушан Р., Сингхал В., Джа Р. К. Обнаружение повреждений в бетонных конструкциях с многофункциональным фоном с использованием семейства сетей YOLO // Автоматизация в строительстве. – 2025. – Т. 170. – С. 105887.
23. Kaggle: Ваше сообщество машинного обучения и анализа данных – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/aliabdelmenam/rdd-2022> – Текст: электронный. Kaggle: Ваше сообщество машинного обучения и анализа данных – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/atulyakumar98/pothole-detection-dataset> – Текст: электронный.
24. Данные Mendeley – 2025 г. – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/wddt4gbttd/1> – Текст: электронный.
25. Данные Mendeley – 2025 г. – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/ypm4h4z25c/2> – Текст: электронный.
26. Kaggle: Ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/solesensei/solesensei> – Текст: электронный.
27. Kaggle: Ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/kaggleprollc/mapillary-vistas-image-data-collection> – Текст: электронный.
28. Kaggle: Ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/programmerrdai/road-issues-detection-dataset> – Текст: электронный.
29. Roboflow: Инструменты компьютерного зрения для разработчиков и предприятий – 2025 – URL: <https://universe.roboflow.com/jayke-boghean-2pxtg/damaged-signs-multi-label> – Текст: электронный.
30. Kaggle: ваше сообщество по машинному обучению и наукам о данных – 2025 г. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/danielvareta/damaged-signs-dataset/data> – Текст: электронный.
31. Данные Mendeley – 2025 г. – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/9t3y6hhddk/1> – Текст: электронный.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024, No. 309 "On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Future up to 2036."

2. Mikhail Olegovich Antonov, Igor Olegovich Temkin. "Real-Time Recognition and Tracking of Road Defects Based on the Integrated Use of Standard Computing Procedures and Deep Neural Networks." *Software Products and Systems*. 2024. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-i-otslezhivanie-defektov-dorozhnogo-polutna-v-realnom-vremeni-na-osnove-kompleksnogo-ispolzovaniya-standartnyh> (Accessed: 03.12.2025).
3. Integrated recognition of road signs based on neural networks and MES / A. S. Shashurin, A. R. Melkonyants, S. A. Kovalev [et al.] // *Mivar'22: Collection of scientific articles*. - Moscow: Publishing House "Infra-M", 2022. - Pp. 302-308. - EDN PVWWKW.
4. Polyantseva, K. A. Problems of interpretability of neural network models for detecting road infrastructure objects / K. A. Polyantseva, V. A. Kiseleva, P. D. Shulpina // *Telecommunications and information technology*. - 2024. - Vol. 11, No. 2. - Pp. 72-78. - EDN JQTOCA.
5. Development of an intelligent object recognition system for solving situational management problems in the city / M. V. Sulitsky, I. S. Zelensky, N. P. Sadovnikova [et al.] // *Modern science-intensive technologies*. - 2023. - No. 7. - P. 104-109. - DOI 10.17513/snt.39702. - EDN UWCHRT.
6. Arya D. et al. RDD2022: A Multinational Image Dataset for Automatic Road Damage Detection // *Geoscience Data Journal*. – 2024. – Vol. 11. – No. 4. – P. 846–862
7. Jiang Y. et al. A Multi-Scale Optimized Algorithm for Real-Time Road Pothole Detection Based on YOLO // 2025 44th China Control Conference (CCC) – IEEE, 2025. – P. 8958–8965.
8. Assemblali H., Bouhsissin S., Sael N. Computer Vision-Based Road Hazard Detection and Classification: A Systematic Literature Review // *IEEE Access*. – 2025.
9. Tello-Gil K. et al. Improving Crack Detection in Concrete Structures Using Real-World Data Augmentation for Deep Learning // *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering*, 2023, Vol. 4: Construction Track. – Springer Nature, 2024. – Vol. 498. – P. 237.
10. Alkannad, A. A., et al., "Crackvision: Efficient Concrete Crack Detection with Deep Learning and Transfer Learning," in *IEEE Access*, 2025.
11. Lei, Q., et al., "Expanding the Crack Segmentation Dataset with Crack Growth Modeling and Feature Space Diversity," in 2024 IEEE International Conference on Multimedia and Exhibitions (ICME), IEEE, 2024, pp. 1–6.
12. Ma, N., Fan, R., and Xie, L., "UP-CrackNet: Unsupervised Pixel-Based Road Crack Detection with Adversarial Image Restoration," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2024, vol. 25, no. 10, pp. 13926–13936.
13. Silva, L. A., et al., "An Architectural Multi-Agent Framework for Road Surface Monitoring with Pothole Recognition in UAV Imagery," in: *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 21, pp. 6205.
14. Silva, L. A., et al., "Automated Road Surface Damage Detection Using UAV Imagery and Deep Learning," in: *IEEE Access*, 2023, vol. 11, pp. 62918–62931.
15. Arun, S., et al., "Enhancing Rural Autonomous Driving Performance with Diffusion-Augmented Synthetic Datasets," in: *UrbanAI: Applying Artificial Intelligence to Smart Cities*.
16. Hu, L., et al., "Semantic Segmentation of Extracted Objects Based on RGB-D Camera for Semantic Mapping of Robots," in: *Applied Sciences*, 2020, vol. – 2023. – Vol. 13. – No. 6. – p. 3576.

17. Gupta A., Illanco K., Fernando H. Object Detection for Connected and Autonomous Vehicles Using Attention-Based Convolutional Neural Networks // 95th IEEE Transportation Technology Conference 2022 (VTC2022-Spring). – IEEE, 2022. – pp. 1–6.
 18. Neuhold G. et al. A Map View Dataset for Semantic Understanding of Street Scenes // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. – 2017. – pp. 4990–4999.
 19. Trpkovic A., Šelmić M., Jevremović S. Model for identification and classification of partially damaged and spoiled road signs // KSCE Journal of Civil Engineering. - 2021. - Vol. 25. - No. 10. - pp. 3953-3965.
 20. Ersu C. et al. Automatic visual detection of road sign damage and measurement of its area // 18th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2024. - IEEE, 2024. - pp. 505-510.
 21. Chen T., Ren J. MFL-yolo: An Object Detection Model for Damaged Road Signs // arXiv preprint arXiv:2309.06750. – 2023.
 22. Raushan R., Singhal V., Jha R. K. Damage Detection in Concrete Structures with Multi-Feature Backgrounds Using the YOLO Family of Networks // Automation in Construction. – 2025. – Vol. 170. – p. 105887.
 23. Kaggle: Your Machine Learning and Data Analytics Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/aliabdelmenam/rdd-2022> – Text: electronic. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/atulyakumar98/pothole-detection-dataset> – Text: online.
 24. Mendeley Data – 2025 – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/wddt4gbttd/1> – Text: online.
 25. Mendeley Data – 2025 – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/ypm4h4z25c/2> – Text: online.
 26. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/solesensei/solesensei> – Text: online.
 27. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/kaggleprollc/mapillary-vistas-image-data-collection> – Text: online.
 28. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/programmerdai/road-issues-detection-dataset> – Text: online.
 29. Roboflow: Computer Vision Tools for Developers and Enterprises – 2025 – URL: <https://universe.roboflow.com/jayke-boghean-2pxtg/damaged-signs-multi-label> – Text: online.
 30. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community – 2025 – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/danielvareta/damaged-signs-dataset/data> – Text: online.
 31. Mendeley Data – 2025 – URL: <https://data.mendeley.com/datasets/9t3y6hhddk/1> – Text: online.
-