

Д.В. Ольховатов, Р.В. Лапшичев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИКИ ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Аннотация. В статье представлен подход для автоматизированная система диагностики токоприёмников электровазов на основе машинного зрения, позволяющая заменить трудоёмкие и субъективные ручные осмотры бесконтактными высокоточными измерениями. Программа на Python с использованием библиотек OpenCV, NumPy и SciPy анализирует фото и видеопоток: по фотографии измеряет минимальную толщину и ширину угольной вставки, а в режиме реального времени отслеживает геометрические параметры токоприёмника по видео с светоотражающими метками, вычисляя расстояния и углы между контрольными точками. Внедрение системы позволит снизить влияние человеческого фактора, а также выявлять дефекты на ранней стадии, прогнозировать остаточный ресурс оборудования, сокращать эксплуатационные расходы и минимизировать риск аварийных ситуаций, повышая надёжность электроснабжения электроподвижного состава.

Ключевые слова: автоматизация диагностики, токоприёмники электровазов, машинное зрение, компьютерное зрение.

Для цитирования: Ольховатов, Д. В. Автоматизация процесса диагностики токоприёмников электровазов / Д. В. Ольховатов, Р. В. Лапшичев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 2. – С. 108–114. – DOI 10.46973/1818-5509_2026_2_108.

В процессе современного развития транспортной инфраструктуры наблюдается тенденция к увеличению интенсивности движения [1], сопровождающаяся ростом скоростей и весовых характеристик железнодорожных составов. В этих условиях отказ такого элемента, как токоприёмник, приводит не просто к остановке состава, но и к серьезным экономическим потерям и сбоям в графике движения.

Проблема усугубляется тем, что существующая система диагностики во многом опирается на ручной труд: визуальные осмотры и периодические замеры. Это трудоёмко, субъективно и часто не позволяет выявить зарождающийся дефект на ранней стадии. Человеческий фактор и отсутствие непрерывного мониторинга – главные «узкие места» текущего подхода диагностики токоприёмников.

Для исключения влияния человеческого фактора разумно воспользоваться текущими достижениями науки в области машинного зрения и искусственного интеллекта [2 - 5].

Основой для такой автоматизации может послужить программа, предназначенная для автоматизированного измерения геометрических параметров угольной вставки токоприёмника электроподвижного состава по фотографии. Основным измеряемый параметр – минимальная рабочая толщина вставки, критичная для обеспечения надежного токосъема.

Данная программа, использующая методы компьютерного зрения на базе библиотеки OpenCV, анализирует изображение путём идентификации объектов по цветовому признаку: зелёные объекты выступают в роли калибровочных элементов с известной реальной шириной 268 мм, а тёмно-серые – это угольная вставка токоприёмника; на основе известного размера зелёного калибровочного элемента выполняется калибровка масштаба, далее производится измерение геометрических параметров угольной вставки, а результаты визуализируются путём нанесения измерительных линий и текстовой информации на исходное изображение.

Основной измеряемый параметр – минимальная рабочая толщина вставки, критичная для обеспечения надежного токосъема.

На первом шаге работы алгоритма осуществляется поиск зелёных объектов: изображение конвертируется из цветового пространства BGR в HSV для более устойчивой цветоселекции, затем формируется бинарная маска, выделяющая пиксели в заданном диапазоне зелёного цвета после чего к маске применяются морфологические операции для подавления шумов и устранения разрывов в контурах; далее выделяются внешние контуры объектов, из которых отфильтровываются те, чья площадь составляет менее 500 пикселей, для оставшихся контуров вычисляется максимальная горизонтальная ширина в пикселях посредством сканирования строк внутри ограничивающего прямоугольника, а на основе полученных данных определяется коэффициент перевода из пикселей в миллиметры для последующей калибровки.

На втором шаге алгоритма выполняется поиск тёмно-серого объекта и определение его минимальной толщины. Для надёжного выделения тёмно-серых тонов применяется комбинированная цветовая сегментация – маскирование одновременно в пространствах HSV и BGR, далее проводится морфологическая обработка с использованием ядра размером 5×10 , что позволяет усилить вертикальные структуры. Среди выделенных объектов выбирается контур с наибольшей площадью, после чего задаётся область поиска с отступом от краёв объекта для исключения краевых эффектов. В пределах этой области для каждого столбца вычисляется длина вертикальной линии внутри контура, и столбец с минимальной длиной принимается за значение минимальной толщины вставки, дополнительно определяется максимальная горизонтальная ширина вставки – она нужна для последующего сравнения.

На третьем шаге алгоритма выполняется визуализация результатов. На итоговое изображение наносятся красные линии, обозначающие максимальные горизонтальные ширины зелёных объектов, зелёные линии – для отображения минимальных вертикальных толщин тёмно-серой вставки, синие линии – показывающие максимальные горизонтальные ширины самой вставки; дополнительно добавляются жёлтые прямоугольники в качестве ограничивающих рамок объектов и серые прямоугольники, выделяющие область поиска с отступами, а также размещаются текстовые подписи с числовыми значениями проведённых измерений.

Результат работы программы по определению износа графитовых вставок токоприемника на основе методов машинного зрения представлен на рисунке 1. Также анализ изображения позволяет определять трещины в графитовых вставках токоприемника (рис.2).

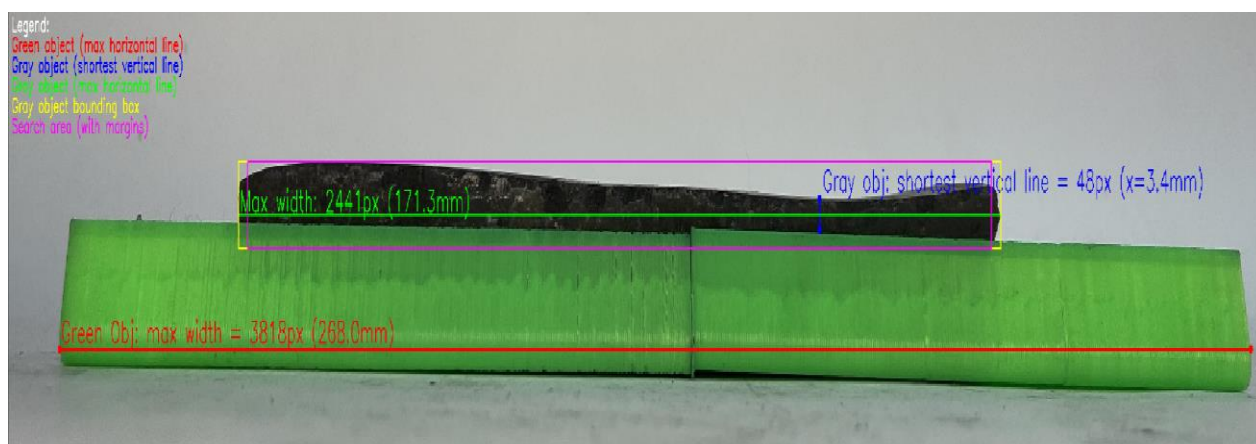


Рис. 1. Работа алгоритма определения износа графитовых вставок токоприемника

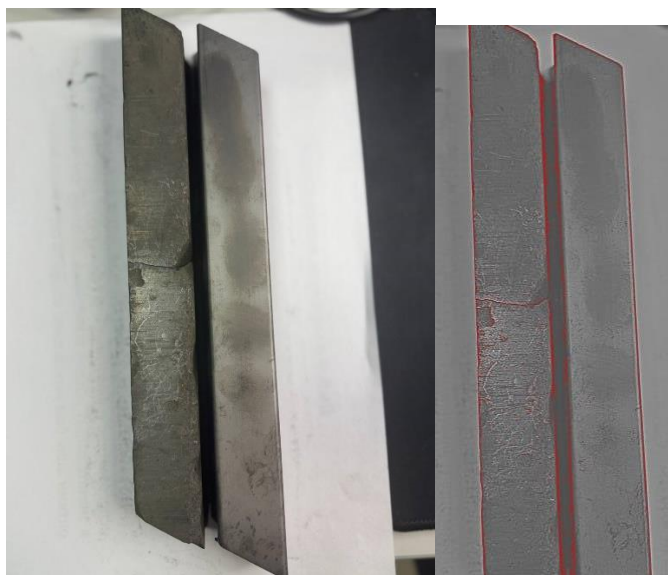


Рис. 2. Работа алгоритма нахождения трещин в графитовых вставках токоприемника

Следующим этапом стала разработка упрощенной 3D-модели токоприемника (рисунок 3) для изготовления физического макета методом

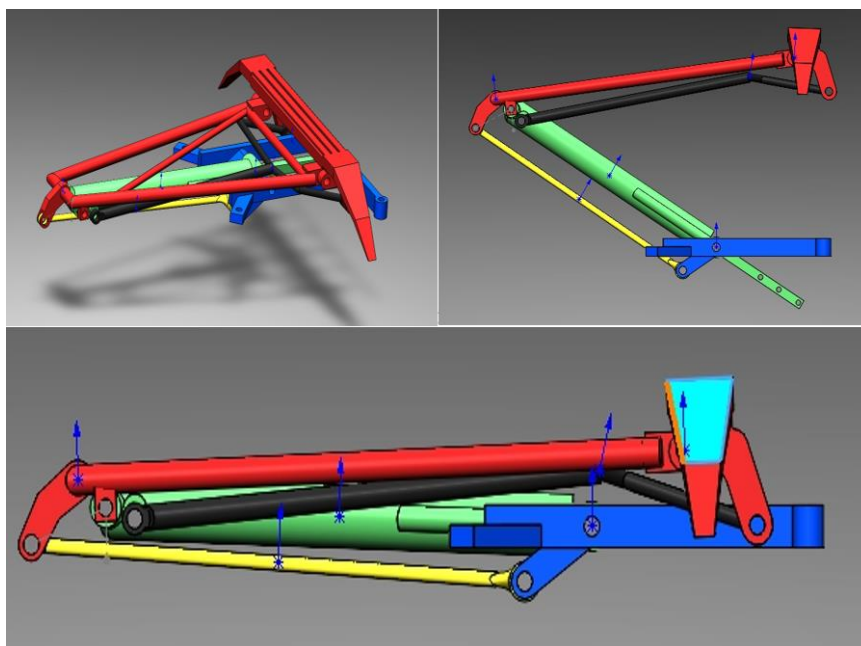


Рис. 3. Упрощенной 3D-модели токоприемника

Также был разработано программного обеспечения для контроля геометрических параметров токоприемника в реальном времени. Программа реализована на языке Python, который выбран за его гибкость, обширную библиотеку математических и графических инструментов, а также простоту интеграции с системами компьютерного зрения.

3D-печати. При подготовке модели было минимизировано количество поддерживающих конструкций, увеличена толщина стенок до 2-3 диаметров сопла принтера, сглажены острые углы и кромки, оптимизирована ориентация модели на печатной платформе. Для печати макета был выбран ABS-пластик, обладающий высокой прочностью и жесткостью,

устойчивостью к механическим нагрузкам и возможностью постобработки. Печать макета выполнена на 3D-принтере с точностью позиционирования 0,1 мм.

После печати были проведены операции по удалению поддерживающих конструкций, шлифовке поверхности для устранения слоистости и сборке отдельных напечатанных частей с помощью клеевого соединения. На контрольные точки конструкции были прикреплены светоотражающие метки для последующей обработки видеопотока. Этот этап был критически важен для реализации системы мониторинга геометрических параметров, так как метки позволяют точно фиксировать положение ключевых точек конструкции в процессе съемки. Готовая модель сборки токоприемника со светоотражающими метками представлена на рисунке 4.

Алгоритм программы работает следующим образом: с помощью камеры фиксируется видеопоток с изображением токоприемника с прикрепленными светоотражающими метками; система компьютерного зрения распознает метки и определяет их координаты в пространстве; на основе координат меток алгоритм вычисляет расстояния и углы между контрольными точками конструкции; результаты вычислений сравниваются с нормативными геометрическими параметрами, и при обнаружении отклонений программа фиксирует их и выводит соответствующую информацию для оператора.



Рис. 4. Модель токоприемника, напечатанная на 3D принтере.

Алгоритм расчета расстояний и углов (рис.5) реализован с использованием векторных операций и тригонометрических функций. Для повышения точности и скорости вычислений применяются оптимизированные математические библиотеки Python, такие как NumPy и SciPy. Обработка видеопотока осуществляется с помощью библиотеки OpenCV, которая предоставляет инструменты для захвата видео, распознавания объектов, отслеживания движения и анализа изображений. Программа способна работать в режиме реального времени, что позволяет оперативно выявлять отклонения от нормативных параметров и принимать меры по их устранению.

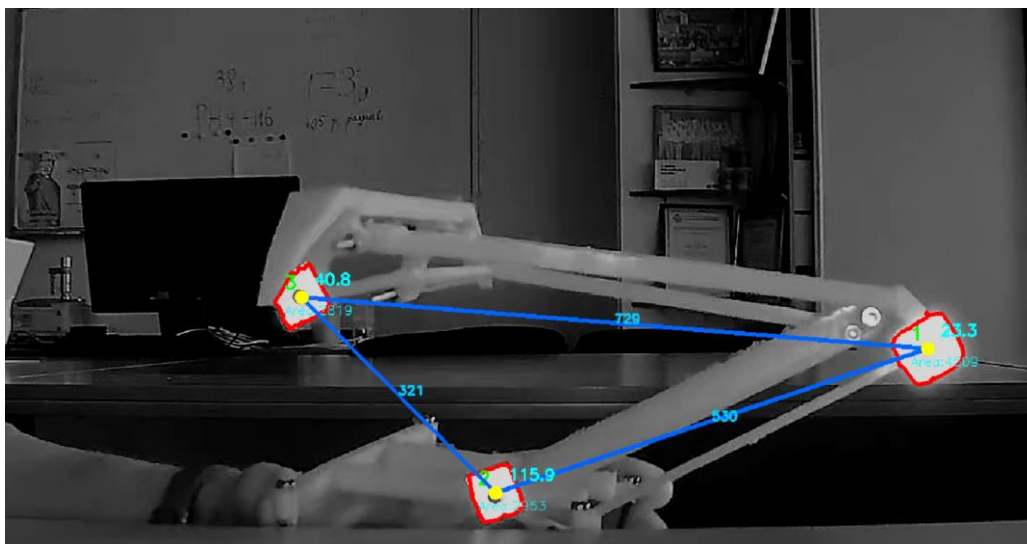


Рис. 5. Алгоритм расчета расстояний и углов между контрольными точками токоприемника

Система контроля геометрических параметров может быть интегрирована в автоматизированную линию проверки токоприемников на производстве или использоваться для периодического мониторинга состояния эксплуатируемых устройств [6]. Преимущества разработанной системы включают бесконтактный способ измерения, высокую точность и скорость диагностики, возможность автоматизации процесса контроля и снижения трудоемкости проверок. Внедрение такой системы позволит сократить количество дефектов токоприемников, повысить надежность электроснабжения электроподвижного состава и снизить эксплуатационные расходы.

Экономическая выгода применения метода обусловлена переходом от периодических осмотров к непрерывному мониторингу ключевых параметров работы токоприёмника и угольных вставок, а постоянный сбор и анализ данных позволяют выявлять дефекты на ранней стадии – до того, как они приведут к отказу, прогнозировать остаточный ресурс оборудования, минимизировать влияние человеческого фактора за счёт объективных измерений, оперативно реагировать на отклонения и тем самым снижать риск аварийных ситуаций, а также накапливать статистику, которая в дальнейшем служит основой для совершенствования процессов обслуживания.

Список литературы

1. **Дмитренко, А. В.** Оценка влияния среднего веса грузовых поездов на размеры их движения по магистральным железнодорожным линиям / А. В. Дмитренко, С. М. Наурузбаев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 4. – С. 81–89.
2. **Kolosov D. V., Zharkov Yu. I., Semenov Yu. G., Otypka J.** The principals of operation of the automated current collection diagnostic system for electrified railways // 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). — Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015. — P. 1–6.

References

1. **Dmitrenko, A. V.** Assessment of the Influence of the Average Weight of Freight Trains on the Size of Their Movement on Mainline Railway Lines / A. V. Dmitrenko, S. M. Nauruzbaev // Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering. – 2025. – No. 4. – Pp. 81–89.
2. **Kolosov D. V., Zharkov Yu. I., Semenov Yu. G., Otypka J.** The principals of operation of the automated current collection diagnostic system for electrified railways // 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). — Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015. — P. 1–6.

3. **Шепилова, Е. Г.** Проблемы и перспективы развития искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте России / Е. Г. Шепилова, В. Р. Хусаинов // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа - БелГУТа. В 2-х частях, Гомель, 16–17 ноября 2023 года. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2023. – С. 193-195. – EDN LUJHBG.

4. **Хусаинов, В. Р.** Применение искусственного интеллекта при разработке современных приложений / В. Р. Хусаинов, П. Д. Шрамкова // Цифровые инфокоммуникационные технологии : Сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры "Связь на железнодорожном транспорте". В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 23 октября 2025 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 212-217. – EDN HVFVJF.

5. **Бутакова, М. А.** Технологии искусственного интеллекта и его приложения : Учебно-методическое пособие / М. А. Бутакова, М. И. Мялова. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2021. – 48 с. – EDN KHOJPY.

6. **Мялова, М. И.** Разработка пользовательского интерфейса на основе Python для автоматического выбора алгоритма кластеризации данных / М. И. Мялова, М. А. Пазин // Цифровые инфокоммуникационные технологии : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 07 сентября 2021 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 77-81. – EDN JBFZAJ.

3. **Shepilova, E. G.** Problems and Prospects of Artificial Intelligence Development in the Russian Railway Transport / E. G. Shepilova, V. R. Khusainov // Innovative Development of the Transport and Construction Complexes: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 70th Anniversary of BelIIZhTa - BelGUTa. In 2 parts, Gomel, November 16–17, 2023. – Gomel: Belarusian State University of Transport, 2023. – Pp. 193-195. – EDN LUJHBG.

4. **Khusainov, V. R.** Application of Artificial Intelligence in the Development of Modern Applications / V. R. Khusainov, P. D. Shramkova // Digital Infocommunication Technologies: Collection of Scientific Papers of the V International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Department of Communications in Railway Transport. In 2 volumes, Rostov-on-Don, October 23, 2025. – Rostov-on-Don: Rostov State Transport University, 2025. – Pp. 212-217. – EDN HVFVJF.

5. **Butakova, M. A.** Artificial Intelligence Technologies and Applications: A Study Guide / M. A. Butakova, M. I. Myalova. – Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2021. – 48 p. – EDN KHOJPY.

6. **Myalova, M. I.** Development of a Python-based user interface for automatically selecting a data clustering algorithm / M. I. Myalova, M. A. Pazin // Digital Infocommunication Technologies : Collection of Scientific Papers, Rostov-on-Don, September 7, 2021. – Rostov-on-Don: Rostov State Transport University, 2021. – Pp. 77-81. – EDN JBFZAJ.

D.V. Olkhovатов, R.V. Lapshichev

AUTOMATION OF THE DIAGNOSTICS PROCESS OF ELECTRIC LOCOMOTIVE CURRENT RECEIVERS

Abstract. The paper presents an automated system for diagnosing electric locomotive current collectors based on machine vision, which allows for the

replacement of time-consuming and subjective manual inspections with non-contact, high-precision measurements. The Python program, using the OpenCV, NumPy, and SciPy libraries, analyzes photos and video streams. It measures the minimum thickness and width of the carbon insert using photos, and tracks the geometric parameters of the current collector in real-time using video with reflective markers, calculating the distances and angles between control points. A 3D model of the current collector has been created for testing purposes. The implementation of the system reduces the influence of the human factor, allows for the detection of defects at an early stage, the prediction of the residual resource of equipment, the reduction of operating costs, and the minimization of the risk of emergencies, thereby increasing the reliability of the power supply for electric rolling stock.

Keywords: automation of diagnostics, electric locomotive current collectors, machine vision, computer vision.

For citation: Olkhovaton, D. V. Automation of the Process of Diagnostics of Electric Locomotive Current Collectors / D. V. Olkhovaton, R. V. Lapshichev // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobseniya. – 2026. – № 2. – P. 108–114. – DOI 10.46973/1818-5509_2026_1_108.

Сведения об авторах

Ольховатов Дмитрий Викторович

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: dmolkh@yandex.ru

Лапшичёв Руслан Витальевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
студент,
e-mail: ruslan.lapshichyov@yandex.ru

Information about the authors

Olkhovaton Dmitry Viktorovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: dmolkh@yandex.ru

Lapshichev Ruslan Vitalievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Traction Rolling Stock»,
Student,
e-mail: ruslan.lapshichyov@yandex.ru