

Научная статья
УДК 621.315.1:004.8

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ОСМОТРЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Михаил Михайлович Иванюга, Николай Иванович Яковенко

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Повышение надежности снабжения электрической энергией за счет снижения аварийных ситуаций в электросетях, вызванных различными причинами, есть важнейшая комплексная задача. Решением данной задачи является снижение технико-экономических затрат от потерь электроэнергии при аварийных ситуациях в электрических сетях. Для этого необходимо своевременно обнаружить, устранить неисправность и выполнить контроль работоспособности линии электропередач. Обычный осмотр воздушных линий электропередач выполняется визуальным осмотром. Обнаруженные дефекты фиксируют в журнале. В настоящее время мероприятия направленные на повышение качества обслуживания распределительных сетей позволяет применять планшеты и ноутбуки. При эксплуатации линий электропередач на них могут возникать различные дефекты. Для бесперебойного электроснабжения, все проблемные места повреждений и неисправностей должны быть обнаружены до того, как они начнут влиять на ЛЭП. Наилучшее качество определения дефектов заключается в результате просмотра видеозаписи, сделанной беспилотным летательным аппаратом БПЛА. При проведении проверки с помощью дронов собираются более подробные данные, которые затем анализируются при помощи искусственного интеллекта, результаты отображаются на карте на основании собранных ранее GPS. При обработке данных составляется отчет с подробным описанием ситуаций, требующих определенного внимания. Это дает возможность просматривать тысячи изображений за несколько минут и позволяет операторам энергосистем принимать меры быстрого реагирования на основе подробной проверенной информации. Искусственный интеллект снижает затраты на отыскание и устранения неисправностей. Автоматизация открывает новые возможности и способы определения дефектов и позволяет предотвращать сбои в работе сетей.

Ключевые слова. искусственный интеллект, осмотр, воздушная линия электропередач, дефекты, надежность.

Для цитирования: Иванюга М.М., Яковенко Н.И. Обнаружение повреждений при осмотре воздушных линий электропередач с использованием искусственного интеллекта // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 5 (111). С. 62-66.

Original article

DETECTION OF DAMAGES DURING INSPECTION OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mikhail M. Ivanyuga, Nikolay I. Yakovenko

Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. Improving the reliability of electric power supply by reducing emergencies in power grids caused by various causes is an important complex task. The solution to this problem is to reduce the technical and economic costs of electricity losses in emergency situations in electrical networks. To do this, it is necessary to timely detect, eliminate the malfunction and monitor the operability of the power transmission line. A routine inspection of overhead power lines is performed by visual inspection. The detected defects are recorded in the log. Currently, measures aimed at improving the quality of service for distribution networks allow the use of tablets and laptops. Various defects may occur during the operation of power transmission lines. For uninterrupted power supply, all problem areas of damage and malfunctions must be detected before they begin to affect the transmission line. The best quality of defect detection is as a result of watching a video taken by an unmanned aerial vehicle (UAV). During drone verification, more detailed data is collected, which is then analyzed using artificial intelligence, and the results are displayed on a map based on previously collected GPS. When processing the data, a report is compiled with a detailed description of situations that require special attention. This makes it possible to view thousands of images in a few minutes and allows power system operators to take rapid response measures based on detailed verified information. Artificial intelligence reduces the cost of troubleshooting and troubleshooting. Automation opens up new opportunities and ways to identify defects and prevent network failures.

Keywords. Artificial intelligence, inspection, overhead power transmission line, defects, reliability.

For citation: Ivanyuga M.M., Yakovenko N.I. Detection of damages during inspection of overhead power transmission lines using artificial intelligence // Vestnik of Bryansk State Agricultural Academy. 2025. No. 5 (111). Pp. 62-66.

Введение. Повышение надежности снабжения электрической энергией за счет снижения аварийных ситуаций в электросетях, вызванных различными причинами, есть важнейшая комплексная задача. Решение этой задачи состоит из нескольких этапов:

- своевременного обнаружения неисправности;
- удаление неисправности;
- контроль эффективности удаления неисправности.

Для предотвращения и устранения перебоев с электроснабжением, то есть обеспечения надежности электроснабжения, энергетические компании, занимающиеся снабжением электрической энергией, должны проводить ревизию воздушных линий электропередач (ВЭЛ).

Для повышения эффективности этих процессов путем снижения расходов при осмотре воздушных линий электропередач компании начинают использовать технологии искусственного интеллекта (ИИ) [1]. При эксплуатации линий электропередач на них могут возникать различные дефекты [2].

Для надежного электроснабжения воздушные линии электропередач необходимо содержать в хорошем состоянии, охранную зону вокруг линии нужно очищать от деревьев, кустарников и регулярно осматривать.

Воздействие природы, загрязнение, износ приводит к появлению дефектов, которые обнаруживаются на изоляторах, проводниках или на опорах. Горизонтальные поверхности изоляторов способны накапливать загрязнения окружающей среды (из-за птиц, пыли, особенно вблизи автомобильных и железных дорог) и электрических неисправностей, вызванных высоким напряжением.

При загрязнении изоляторов риск перекрытия резко возрастает, а перекрытия приводят к разрушению изоляторов, что создает серьезные проблемы. Коронный разряд так же влияет на дополнительные потери мощности.

В воздушных линиях электропередач провода подвержены действию ветров, старению, коротким замыканиям и воздействию атмосферных перенапряжений. Поврежденные жилы дают сигнал для выполнения ремонта или полной замены проводника.

Металлические опоры линии электропередач подвержены воздействию коррозии, а железобетонные воздействию окружающей среды. В некоторых районах дикие животные и птицы также наносят ущерб, например, опоры покрываются пометом, особенно на путях перелетных птиц.

Обычный осмотр воздушных линий электропередач проводится ручной фиксацией дефектов в полевых условиях. Раньше фиксацию дефектов делали в журналах, в настоящее время применяют ноутбуки и планшеты.

На практике для контроля состояния изоляторов используют автовышки.

При осмотре линий электропередач высокого напряжения используют бинокли и другое оборудование, для лучшей оценки ситуации (рис. 1).

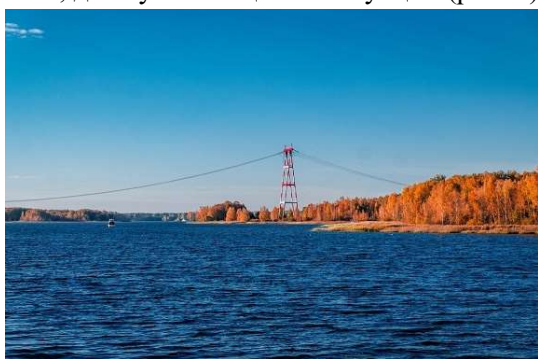


Рисунок 1 - Линия электропередач через реку



Рисунок 2 - Оператор дрона (БПЛА) за работой

Современный способ осмотра, но дорогой - использование вертолета. Оператор, выполняющий осмотр линии электропередач на вертолете, должен иметь при себе бинокль или фотоаппарат с достаточным увеличением, чтобы найти и сфотографировать дефекты.

Наилучшее качество определения дефектов заключается в результате просмотра видеозаписи, сделанной дроном (рис. 2). Все элементы воздушных линий электропередачи (ЛЭП) фиксируются на видео и после этого тщательно изучаются. Отснятый материал анализируется на наличие повреждений на линии, при необходимости принимаются меры.

Для бесперебойного электроснабжения, все проблемные места повреждений и неисправностей должны быть обнаружены до того, как они начнут влиять на ЛЭП.

Обнаружение неисправностей при помощи аэрофотосъемки это интересная, но сложная задача.

Искусственный интеллект позволяет отыскивать визуально невидимые повреждения, проводить более оперативные проверки и получать подробную информацию о состоянии воздушной ЛЭП.

При проведении проверки с помощью дронов собираются более подробные данные, которые затем анализируются при помощи искусственного интеллекта, результаты отображаются на карте на основании собранных ранее GPS.

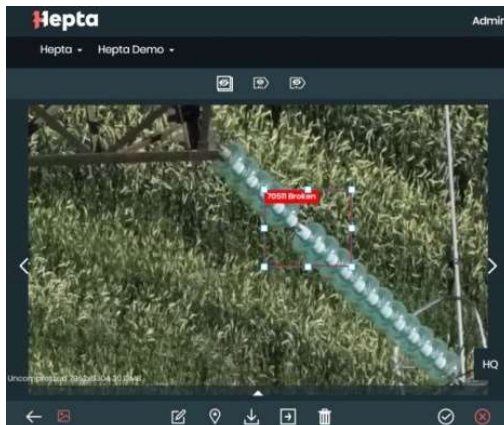


Рисунок 3 - Программный комплекс, находящий повреждения изоляторов в автоматическом режиме ЛЭП

Обычные методы могут обнаруживать дефекты при доступных, собранных заранее данных, при малом уровне фоновых помех, при определенных размерах объекта или при достаточном освещении.

Искусственный интеллект точно определяет дефекты линии электропередач, которые появляются на входных изображениях, полученных в реальных условиях с аэрофотосъемки.

При нехватке изображений дефектов при контроле используют метод повышения качества данных, включающий в себя следующие операции:

- аффинное преобразование;
- сегментация изолятора и фоновое слияние;
- размытие по Гауссу;
- преобразование яркости [3].

Достоверность обнаружения неисправности и полнота данного метода составляют 0,91 и 0,96 при применении стандартного набора данных по изоляторам. Неисправности изоляторов могут быть успешно обнаружены при различных условиях.

Большое число фотоснимков, помеченных по сходным принципам, дает возможность обучать алгоритмы машинного оборудования и достигать того момента, когда человек может переложить часть работы на искусственный интеллект [4,5].

Многие компании проводят осмотры воздушных линий электропередач, используя летательные аппараты, для сбора данных с применением лазерных датчиков, термографии и визуализации.

При обработке данных составляется отчет с подробным описанием ситуаций, требующих определенного внимания.

Для эффективного и результативного контроля состояния воздушной линии электропередач используют алгоритмы на основе искусственного интеллекта [6-9]. Сначала была разработана аналитическая модель с применением технологий машинного обучения для полной автоматизации классификации данных осмотров с применением летательных аппаратов.

Осмотры, выполняемые с помощью летательных аппаратов, собирают числовые данные с высоким разрешением. Такие данные требуют обработки, чтобы отличать элементы, такие как почва, деревья, опоры, изоляторы, провода от не существенных - летящие птицы, переносимый по воздуху мусор, частицы пыли [10].

Такие задачи в недалеком прошлом выполняли вручную. При внедрении алгоритма автоматической классификации появились свободные ресурсы.

Затем разрабатывались модели когнитивной обработки изображений для автоматического обнаружения аномалий в воздушных ЛЭП.

Алгоритм обрабатывает оцифрованные фотоснимки, снятые с летательных аппаратов, автоматически идентифицируя опоры линий электропередач, их компоненты и характерные дефекты (ржавчина, сломанные ограждения и т. д.).

Hepta uBird - онлайн-платформа для проверки электрических сетей на базе искусственного интеллекта. Это инструмент для автоматизации анализа линий электропередач и другой инфраструктуры.

Данная онлайн-платформа может анализировать воздушные линии электропередач, а также другую инфраструктуру. Она дает возможность автоматизировать процессы с помощью искусственного интеллекта. С самого начала онлайн-платформа создавалась для просмотра фотоснимков с сохранением пространственного восприятия и маркировки дефектов на изображениях. Сейчас она может создавать модели для пользователей искусственного интеллекта на основе набора данных, которые могут искать дефекты, интересующие клиентов.

Если будут замечены какие то повторяющиеся неполадки, компания может создать модели, которые ищут их на всех проверяемых изображениях. Это дает возможность клиенту просматривать тысячи изображений за несколько минут. Долгий и растянутый процесс осмотра воздушных линий электропередач занимает считанные минуты, а не дни и недели, позволяет операторам энергосистем принимать меры быстро реагирования на основе подробной проверенной информации.

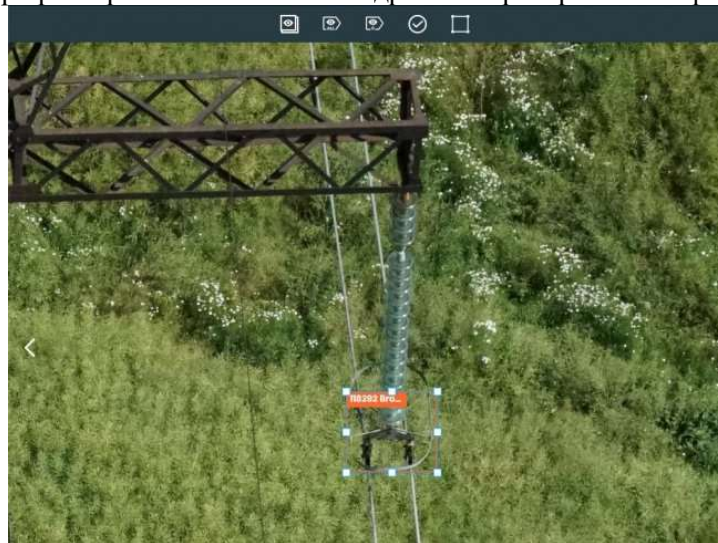


Рисунок 4 - Поврежденный изолятор обнаружен на платформе при проверке воздушных ЛЭП

Онлайн-платформа дает возможность операторам энергосистем использовать данные различных датчиков при осмотре воздушных линий электропередач. Можно без труда обнаружить эффект короны в изоляторах с помощью визуализации или перегрев элементов с помощью тепловизора.

При помощи датчиков даже можно выполнять прогнозный анализ растительности.

Практически все, что человек может обнаружить на изображении, может обнаружить и машина. Хотя существует одна проблема, искусственный интеллект плохо распознает глубину резкости в 2D-изображениях.

Сложно определяется место нахождения воздушной линия электропередач по отношению к окружающей растительности. Поэтому, в настоящее время метод применения датчиков 3D более надежен при анализе растительности рядом с ЛЭП [5].

Применение AI-моделей с разными видами датчиков дает возможность операторам сетей не только обнаруживать больше дефектов, но и позволяет им предотвращать сбои в работе сети.

При осмотре ЛЭП БПЛА за день пролетает около 30 километров и делает около 3000 снимков, на анализ которых уходит примерно один день.

С каждой очередной проверкой одних и тех же ЛЭП темпы увеличиваются - с каждой помеченной неисправностью модель пропускает все меньше и меньше дефектов, пока не достигается 100% точности, что позволяет уменьшить число изображений для проверки.

Анализ может быть выполнен в любом месте, где есть выход в Интернет.

Вывод. Использование технологий искусственного интеллекта повышает эффективность определения дефектов на ЛЭП, не знает усталости, ничего не забывает, объективно. Определение неисправностей визуально, особенно в труднодоступной местности, требует больших затрат сил и времени, а автоматизация на основе БПЛА и искусственного интеллекта открывает новые возможности и способы определения дефектов, что позволяет предотвращать сбои в работе сетей и повысить их надежность.

Список источников

1. Аль-Абси, Абдулла Тавфик. Технологии искусственного интеллекта в диагностической аппаратуре [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2020. № 1 (291). С. 16-18. – Режим доступа: URL: <https://moluch.ru/archive/291/65977/>. - 13.10.2023 г.
2. Авдеюк Д.Н. Сокращение сроков восстановления электроснабжения энергопринимающих устройств при повреждениях на воздушных линиях электропередач [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2021. № 48 (390). С. 10-12. – Режим доступа: URL: <https://moluch.ru/archive/390/85954/>. - 13.10.2023 г.
3. Филин Ю.И. Использование машинного обучения для мониторинга и диагностики состояния электрических машин сельскохозяйственного производства // Наука в центральной России. 2025. № 2(74). С. 60-69.
4. Сапрыкин Д.А., Кравцова Е.Ю. Алгоритмы машинного обучения в классификации и ее задачи в обучении моделей // Моя профессиональная карьера. 2022. Т. 2, № 43. С. 232-237.
5. Блёскин Д.И., Дзевицкая А.В., Фомичев А.С. Автоматизированное проектирование средств и систем управления [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2023. № 22 (469). С. 3-6. – Режим доступа: URL: <https://moluch.ru/archive/469/103430/>. - 13.10.2023 г.
6. Филин Ю.И. Возможности и перспективы перевода существующих сетей электроснабжения переменного тока на постоянный // Наука в центральной России. 2024. № 6 (72). С. 75-83.
7. Наумов И.В., Карамов Д.Н. К вопросу о повреждаемости воздушных линий электропередачи в системах электроснабжения // Надежность и безопасность энергетики. 2021. № 14 (2). С. 92-99.
8. Боровская Е.В., Давыдова Н.А. Основы искусственного интеллекта: учеб. пособие. 4-е изд., электрон. М., 2020. 130 с.
9. Пилецка А.В. Искусственный интеллект и большие данные [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2019. № 50 (288). С. 20-22. – Режим доступа: URL: <https://moluch.ru/archive/288/65241/>. - 13.10.2023 г.
10. Шуравин А.П. Сравнение методов нахождения ключевых точек на контуре изображений аэрофотосъемки [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2017. № 4 (138). С. 89-93. – Режим доступа: URL: <https://moluch.ru/archive/138/38705/>. - 13.10.2023 г.

Информация об авторах:

М.М. Иванюга – старший преподаватель кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Н.И. Яковенко – кандидат технических наук, доцент, кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors:

M.M. Ivanyuga – Senior Lecturer, Department of Electric Power Engineering and Electrical Technologies, Bryansk State Agrarian University.

N.I. Yakovenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electric Power Engineering and Electrical Technologies, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23.05.2025, одобрена после рецензирования 28.05.2025, принята к публикации 30.09.2025.

The article was submitted 23.05.2025, approved after reviewing 28.05.2025, accepted for publication 30.09.2025.

© Иванюга М.М., Яковенко Н.И.