



## УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

А. П. Ляшенко, студент 3-го курса,  
e-mail: lyashenko.andrey.02@mail.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Предлагаемая система диагностики, основанная на компьютерном зрении, способна выявлять изоляторы в электросетях. Использование технологии компьютерного зрения позволит снизить количество ошибок, возникающих в процессе диагностики, и сократить время, необходимое для проведения полевых осмотров. Кроме того, система может повысить безопасность персонала, работающего с электросетевым оборудованием, т. к. обнаружение поврежденных изоляторов может предотвратить возможные аварии.

*Ключевые слова:* электрические сети, воздушные линии, диагностика, машинное зрение, высоковольтные изоляторы

### ВВЕДЕНИЕ

Линии электропередачи в процессе эксплуатации подвергаются воздействию неблагоприятных факторов – атмосферных, электрических и механических. В результате этого снижается их механическая и электрическая прочность. Для предупреждения повреждений требуется комплексный инженерный контроль, который включает визуальный осмотр с использованием фото- и видеофиксации. Такой контроль является нерегулярным мероприятием, поэтому он малоэффективен для выявления неисправностей на разных стадиях их формирования [1].

В электросетях на сегодняшний день отсутствуют эффективные автоматизированные средства визуального контроля за состоянием электрического оборудования, что не позволяет обеспечить высокое качество мониторинга электрических сетей. Однако проблема могла бы быть решена с использованием технологий парадигмы Индустрии 4.0. К таким технологиям относятся методы диагностирования электрооборудования, основанные на компьютерном зрении и системах поддержки принятия решений. Машинное зрение является применением компьютерного зрения при промышленных действиях и в производстве, включая в себя цифровые устройства ввода и вывода, а также компьютерные сети для контроля производственной аппаратуры [2, 3].

Использование этих технологий для диагностики электросетевого хозяйства позволит повысить безопасность электросетей, снизить затраты на их обслуживание и обеспечить надежность электроснабжения конечных потребителей [4].

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования в данной научной работе является использование алгоритма компьютерного зрения для диагностики изоляторов ЛЭП. Целью работы являлось обучение алгоритма YOLOv4 для эффективного поиска и диагностики изоляторов с целью улучшения качества и надежности работы электросетей.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования заключалась в разработке программного комплекса для диагностики состояния изоляторов по внешним признакам на основе использования сверточной нейронной сети. Для достижения этой цели решены следующие задачи:

1. Сбор данных для обучения алгоритма.
2. Обучение нейросети.

Согласно статистике, разрушение изолятора является одной из главных причин выхода из строя ЛЭП (рисунок 1). При этом повреждение изоляции даже на одной из фаз способно привести к таким последствиям, как повышенные тепловыделения в месте повреждения, перенапряжение электросети [5, 6]. В результате повреждения только одного элемента изоляции электросетевого оборудования развиваются более опасные аварийные ситуации, сопровождающиеся нарушением электроснабжения потребителей, пожарами, выходом из строя большого количества электрооборудования [7, 8].

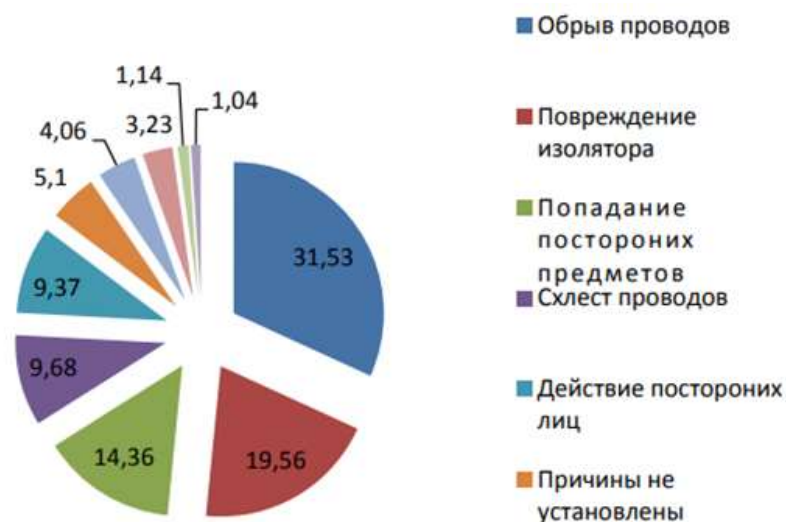


Рисунок 1 – Диаграмма распределения причин технологических нарушений

Актуальность поставленной цели обусловлена отсутствием на сегодняшний день эффективных и автоматизированных способов визуального контроля за состоянием изоляторов и других элементов ЛЭП. В связи с этим необходимо разрабатывать новые методы и технологии для контроля и диагностики состояния оборудования, а также совершенствовать существующие подходы для обеспечения надежной и безопасной работы электросетей.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

YOLOv4 (You Only Look Once version 4) – это алгоритм обнаружения объектов, основанный на глубоком обучении нейронных сетей. Этот алгоритм использует сверточные нейронные сети (CNN) для извлечения признаков из изображений и генерации предсказаний о наличии объектов и их координатах [9].

Для обучения YOLOv4 необходимо создать набор данных (датасет) с разметкой объектов, которые алгоритм будет распознавать и обнаруживать. Для этого можно использовать различные инструменты для разметки, одним из которых является Label Studio. Этот инструмент позволяет создавать аннотации для изображений, текстов и других типов данных. При разметке изображений необходимо указать координаты и классы объектов на изображении. Координаты обычно задаются в формате прямоугольника, охватывающего объект. Классы объектов также должны быть заданы для каждого объекта, чтобы алгоритм мог отличать их друг от друга. После разметки изображений в Label Studio можно экспортировать данные в формате, который может быть использован для обучения YOLOv4,

например формат COCO или YOLO. Эти данные затем возможно применять для обучения алгоритма, чтобы он мог распознавать и обнаруживать объекты на новых изображениях [10].

Для обучения YOLOv4 использовалась облачная среда Google Colaboratory. Она предоставляет доступ к графическим процессорам GPU и TPU, которые необходимы для обучения алгоритма.

Обучение YOLOv4 проходит поэтапно, итеративно. На каждой итерации модель обрабатывает некоторое количество изображений и пытается определить объекты на них. Затем модель оценивает свою точность и корректирует свои веса, чтобы улучшить свою производительность на следующей итерации. Этот процесс повторяется множество раз до тех пор, пока модель не достигнет нужной точности.

Количество итераций, необходимых для обучения модели, зависит от многих факторов, таких как размер обучающего набора данных, сложность задачи обнаружения объектов, мощность вычислительных ресурсов. Обычно для обучения модели YOLOv4 требуется несколько тысяч итераций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Был собран и подготовлен набор данных, состоящий из десяти тысяч фотографий изоляторов, с целью обучения алгоритма YOLOv4. Набор данных был собран в соответствии с принципами случайного выбора и разнообразия, чтобы гарантировать репрезентативность и обобщаемость полученных моделей. Каждое изображение было аннотировано для выделения области с изолятором и определения его границ.

После подготовки набора данных, содержащего только один класс объектов (изоляторы), был начат процесс обучения нейросети. Обучение проводилось в течение 6 тысяч итераций, на каждой из которых выполнялись операции прямого и обратного распространения ошибки на основе предоставленного набора данных. В результате нейросеть способна обнаруживать изоляторы на фотографиях и видео с высокой точностью (рисунок 2).

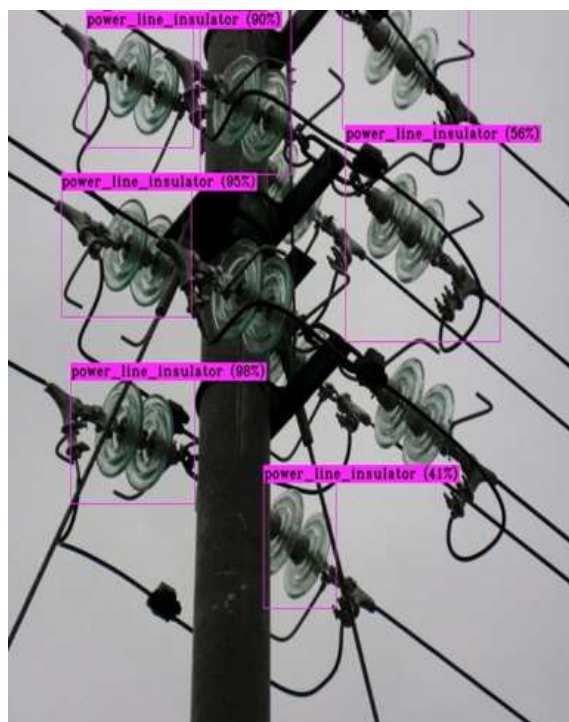


Рисунок 2 – Результаты работы алгоритма

В настоящее время мы работаем над обучением YOLOv4 распознавать различные виды изоляторов на видеопотоке. Для этого мы собрали большой набор данных, включающий в себя

различные типы и модели изоляторов. Несмотря на то, что обучение еще не завершено, мы уже получили первые результаты (рисунок 3).

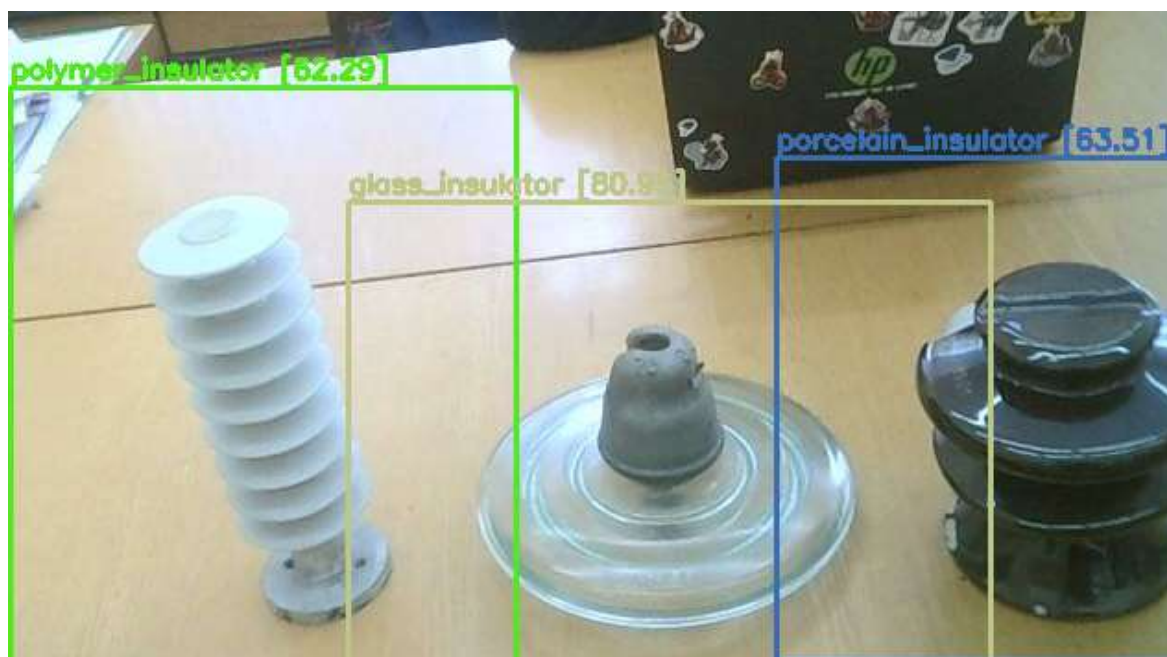


Рисунок 3 – Пример работы нейросети по выполнению задачи классификации изоляторов

YOLOv4 продемонстрировала высокую эффективность в обнаружении трех различных типов изоляторов.

Кроме того, была добавлена новая функция в код обнаружения объектов. Теперь, когда система обнаруживает изолятор на видеопотоке, она делает снимок экрана и сохраняет его в папке, название которой соответствует классу обнаруженного объекта. Это позволяет сохранять информацию о каждом обнаруженном изоляторе.

Данный подход к обнаружению изоляторов на видеопотоке и сохранению снимков позволит автоматизировать процесс контроля состояния электросетевого оборудования. Это может привести к более эффективному прогнозированию и предотвращению возможных аварийных ситуаций, а также повысить общую надежность работы электросетей. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего улучшения системы контроля состояния электросетевого оборудования [11, 12].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проекту была дана положительная оценка электросетевыми компаниями Калининградской области. Его дальнейшее развитие связано с диагностикой электрооборудования подстанций. Предполагается провести обучение нейросети для обнаружения визуальных повреждений на изоляторах. Для этого будет продолжен процесс обучения YOLOv4 с использованием данных в виде различных визуальных типов поломок в электросетевом оборудовании.

Разрабатываемый алгоритм может быть эффективно применен для автоматического обнаружения изоляторов, что позволит существенно ускорить процесс диагностики состояния электросетей и предотвратить аварийные ситуации. Однако для полной оценки работоспособности алгоритма требуется провести ряд испытаний, которые проверят его работу во время неблагоприятных погодных условий, таких как дождь, снег или туман. Такие испытания позволят определить точность и надежность работы, что является важным шагом для дальнейшего применения его на практике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 56947007-29.240.55.111-2011. Методические указания по оценке технического состояния ВЛ и остаточного ресурса компонентов ВЛ.
2. Костылев, Д. А. Машинное зрение в робототехнических системах / Д. А. Костылев, О. В. Федотов // Наука, техника и образование. – 2016. – № 7 (25). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-v-robototekhnicheskikh-sistemah> (дата обращения: 20.03.2023).
3. Иванов, П. В. Области применения систем машинного зрения / П. В. Иванов, А. В. Бойков // Записки Горного института. – 2011. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblasti-primeneniya-sistem-mashinnogo-zreniya> (дата обращения: 08.04.2023).
4. Грабчак, Е. П. Цифровизация в электроэнергетике: К чему должна прийти отрасль? / Е. П. Грабчак // Энергетическая политика. – 2020. – С. 16–21.
5. Кажекин, И. Е. Описание процессов при дуговых однофазных замыканиях в низковольтных судовых электросетях с компенсированной нейтралью / И. Е. Кажекин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т. 4. – № 4 (46). – С. 83–87.
6. Благинин, В. А. Экспериментальная проверка применимости известных теорий дуговых перенапряжений к судовым низковольтным электросистемам / В. А. Благинин, И. Е. Кажекин // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013 : XI международная конференция: труды. – Калининград, 2013. – Часть 1. – С. 384–387.
7. Кабашов, В. Ю. Причины аварийных отключений сельских воздушных линий электропередачи напряжением 10 (6) кВ / В. Ю. Кабашов, Л. П. Андрианова, Д. С. Хайрисламов // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – С. 1–2.
8. Саликова, Н. С. Статистика аварий и отказов в электрических сетях Егиндыкольской районной электросети / Н. С. Саликова, О. В. Савин // Наука и реальность / Science & Reality. – 2020. – С. 49–50.
9. Зотов, С. С. Обнаружение объектов в реальном времени с помощью алгоритмов распознавания / С. С. Зотов, А. А. Яковлев, Д. А. Колчинцев // Международный научный журнал «Синергия наук». – 2018. – № 26. – С. 388–404.
10. Русских, В. Н. Рекомендации формирования датасета для обучения нейронной сети YOLOV4 / В. Н. Русских, И. А. Кайсина, В. С. Кузнецов // Сборник материалов XXXIII Республиканской выставки – сессии студенческих инновационных проектов. – Ижевск. – 2022. – С. 270–276.
11. Лимановская, О. В. Алгоритм определения наклона опор ЛЭП методами глубокого обучения по видеоданным / О. В. Лимановская, Е. А. Титов, Д. И. Волкова, А. В. Лемех // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-opredeleniya-naklona-opor-lep-metodami-glubokogo-obucheniya-po-videodannym> (дата обращения: 13.04.2023).
12. Величко, В. А. Применение машинного зрения для диагностики элементов линий электропередач / В. А. Величко, Н. С. Митрофанов // Инновационный дискурс развития современной науки и образования : Сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2021. – С. 11–15.

## A DEVICE FOR MONITORING THE STATE OF POWER GRID EQUIPMENT BASED ON COMPUTER VISION ALGORITHMS

A. P. Lyashenko, 3rd year student,  
e-mail: lyashenko.andrey.02@mail.ru  
Kaliningrad State Technical University

The proposed diagnostic system, based on computer vision, is able to detect insulators in electrical networks. The use of computer vision technology will reduce the number of errors that occur during the diagnostic process and reduce the time required for field inspections. In addition, the system can improve the safety of personnel working with electrical grid equipment, as detection of damaged insulators can prevent possible accidents.

**Keywords:** *electrical networks, overhead lines, diagnostics, machine vision, high-voltage insulators*