

## **ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛЭП В ГЕОИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА**

**Воюш Н.В., Кравченко В.В., Королева М.Н., Сухобоков А.А.**

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь.

В настоящее время актуальной задачей является автоматизация мониторинга линий электропередачи с целью своевременного выявления дефектов и снижения эксплуатационных рисков. Для решения данной задачи была разработана нейросетевая модель обнаружения неисправностей ЛЭП на основе архитектуры YOLO, предназначенная для обработки изображений, полученных с беспилотных летательных аппаратов [1]. Модель выполняет детекцию дефектов элементов линии и формирует ограничивающие рамки объектов на цифровых изображениях. Результатом обработки являются координаты в пиксельной системе координат и вероятностные оценки принадлежности к заданным классам дефектов. Для повышения практической значимости результатов детекции целесообразна их интеграция в геоинформационную систему пространственного анализа, обеспечивающую хранение, визуализацию и обработку пространственных данных [2].

Интеграция модели в геоинформационную среду предполагает реализацию механизма привязки результатов детекции. При аэрофотосъёмке БПЛА формируются навигационные данные, включающие географические координаты центра кадра, высоту съёмки, параметры ориентации камеры и фокусное расстояние. На основе этих параметров строится модель центральной проекции, позволяющая выполнить переход от пиксельных координат ограничивающей рамки к пространственным координатам на поверхности объекта. Преобразование осуществляется с использованием матрицы внутренней и внешней калибровки камеры и расчёта пересечения луча зрения с моделью рельефа или плоскостью размещения объекта. В результате формируются географические координаты центра дефекта, которые сохраняются в виде пространственных объектов с атрибутивными характеристиками в базе данных ГИС [3].

Для уточнения пространственного положения дефектов применяется сопоставление результатов детекции с облаками точек, полученными при трёхмерной съёмке трассы ЛЭП. Облако точек содержит координаты элементов инфраструктуры в трёхмерном пространстве. Пространственная корреляция осуществляется путём поиска ближайших точек в заданном радиусе относительно рассчитанных координат дефекта. На основе плотности и распределения точек определяется принадлежность дефекта конкретному конструктивному элементу: опоре, траверсе или проводу.

Дополнительно вычисляются высотные отметки, углы наклона и расстояния до соседних объектов, что позволяет проводить количественную оценку состояния элементов линии.

Использование данных лазерного сканирования (LiDAR) [4], установленного на БПЛА, обеспечивает формирование высокоточной трёхмерной модели трассы. Лазерное сканирование позволяет получать пространственную информацию независимо от освещённости и текстурных особенностей поверхности. Интеграция LiDAR-данных с результатами нейросетевой обработки реализуется посредством приведения всех данных к единой системе координат и пространственной регистрации наборов данных. Совмещение облака точек с геопривязанными результатами детекции повышает точность локализации дефектов и обеспечивает возможность анализа расстояний до растительности, пересечений с инженерными коммуникациями и оценки габаритных отклонений.

Передача данных между модулями осуществляется в структурированном формате, содержащем координаты, класс дефекта, вероятностную оценку и дополнительные пространственные параметры [5].

Таким образом, использование нейросетевой модели детекции дефектов ЛЭП в сочетании с геоинформационной системой пространственного анализа позволяет обеспечить переход от обработки изолированных изображений к формированию структурированных пространственных данных о состоянии инфраструктуры. Интеграция результатов детекции в ГИС повышает информативность мониторинга, обеспечивает точную локализацию выявленных дефектов и создаёт основу для комплексного анализа технического состояния линий электропередачи.

1. Воюш Н.В., Сухобоков А.А. Автоматизация обнаружения неисправностей на ЛЭП с помощью компьютерного зрения. Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении : материалы XI международной научно-практической конференции: совместно с МинскЭкспо в рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2024», Минск, 2024 / Белорусский национальный технический университет. – Минск: Бизнесофсет, 2024.. – С. 29–30.

2. Краснов В.П., Иванов С.А. Методы автоматизированного мониторинга линий электропередачи. – М.: Энергоатомиздат, 2018. – с 156.

3. Миллер Д., Робертсон А. Глубокое обучение для обнаружения дефектов инфраструктуры. – М.: Наука, 2021. – с 142.

4. Шмидт К., Петерсен Ф. LiDAR и облака точек для мониторинга энергетической инфраструктуры. – Геоинформационные системы и технологии, 2019. – С. 23–31.

5. Танака Н., Suzuki Y., Saito T. Автоматическое обнаружение повреждений объектов на основе беспилотных летательных аппаратов. : Научная библиотека, 2020. – с 68.