

УДК 621.791.3

Львов Дмитрий Николаевич, магистрант,  
Институт радиотехники и инфокоммуникационных технологий ГУАП

## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ (АРХИТЕКТУРА YOLOV8)

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки и обучения модели нейронной сети для автоматизированного визуального контроля качества паяных соединений SMD-компонентов на печатных платах. Использована архитектура YOLOv8, реализованная на платформе Roboflow. Датасет включает 428 изображений с трёх ракурсов, содержащих два типа дефектов (недостаток и избыток припоя) и класс без дефектов. Достигнуты метрики: mAP@50 = 0.83, Precision = 0.771, Recall = 0.802, что подтверждает пригодность модели для использования в условиях, приближенных к производственным.

**Ключевые слова:** Нейронная сеть, YOLOv8, контроль паяных соединений, Roboflow, компьютерное зрение, дефекты пайки, печатные платы.

### Актуальность

Техническая диагностика и контроль радиоэлектронных устройств (РЭУ) являются обязательными этапами их жизненного цикла. Современное производство печатных плат (ПП) сталкивается с ростом сложности проектируемых устройств, увеличением плотности монтажа и ужесточением требований к надёжности. Традиционный визуальный контроль человеком обладает рядом недостатков: ограниченная скорость реакции, влияние усталости, субъективность, что приводит к пропуску дефектов и снижению экономической эффективности.

Применение нейронных сетей для автоматизированного оптического контроля (АОК) позволяет исключить человеческий фактор, повысить скорость и точность обнаружения дефектов, а также обрабатывать большие объёмы данных. Особый интерес представляют архитектуры семейства YOLO (You Only Look Once), обеспечивающие высокую скорость детекции объектов при сохранении хорошей точности.

### Целевая установка

Создание, обучение и оценка модели нейронной сети на основе YOLOv8 для автоматизированного визуального контроля паяных соединений, способной классифицировать дефекты типа «недостаток припоя» и «избыток припоя».

### Объект и предмет исследований

Объект исследований – процесс автоматизированного визуального контроля паяных соединений элементов поверхностного монтажа (SMD) на печатных платах с использованием модели глубокого обучения.

Предмет исследований – дефекты паяных соединений (недостаток припоя, избыток припоя), их обнаружение и классификация нейросетевой моделью.

### Материалы и методы

#### 1. Набор изображений (датасет)

Для обучения модели использован размеченный датасет, содержащий 428 изображений SMD-компонентов, расположенных на печатных платах. Каждый компонент снят с трёх различных ракурсов для обеспечения полноты представления о паяных соединениях.

#### 2. Программное обеспечение и методы

Для обучения модели использована платформа «Roboflow» – комплексный набор инструментов для задач компьютерного зрения, обеспечивающий управление датасетами, аугментацию, обучение и деплой моделей.



### Практическая реализация

#### 1. Подготовка данных

Изображения были загружены в проект Roboflow, размечены прямоугольными ограничивающими рамками (bounding boxes) для каждого из трёх классов. После разметки применены следующие этапы предобработки:

- приведение всех изображений к единому размеру (640×640 пикселей);
- нормализация пиксельных значений (0...255 → 0...1);
- автоматическое разделение на выборки: 70% – тренировочная, 20% – валидационная, 10% – тестовая.

#### 2. Обучение модели

Обучение выполнено на архитектуре YOLOv8 (версия nano) с использованием встроенных средств Roboflow. Параметры обучения:

- количество эпох – 100;
- размер батча (batch size) – 16;
- оптимизатор – Adam;
- функция потерь – комбинированная (CIoU + бинарная кросс-энтропия для классификации).

Процесс обучения контролировался по динамике потерь на валидационной выборке. Для предотвращения переобучения использовался механизм ранней остановки (early stopping) с терпением 10 эпох.

#### 3. Результаты обучения. Основные метрики модели

По результатам обучения получены следующие значения метрик:

Таблица 1

Основные метрики модели

Метрика	Значение
mAP@50	0,83
Precision	0,771
Recall	0,802

#### Интерпретация:

- mAP@50 = 0,83 указывает на хорошую точность обнаружения объектов при пороге пересечения IoU = 0,5.
- Precision = 0,771 означает, что из всех обнаруженных моделью дефектов 77,1% действительно являются дефектами (уровень ложных тревог – 22,9%).
- Recall = 0,802 показывает, что модель обнаруживает 80,2% всех реально существующих дефектов, пропуская менее 20% брака.

#### 4. Пример работы модели

На рисунке 1 показан пример обнаружения дефектов на тестовом изображении. Модель успешно выделила область с избытком припоя (spike) и корректно определила соединение без дефектов (good). Недостаток припоя также был идентифицирован с высокой достоверностью.



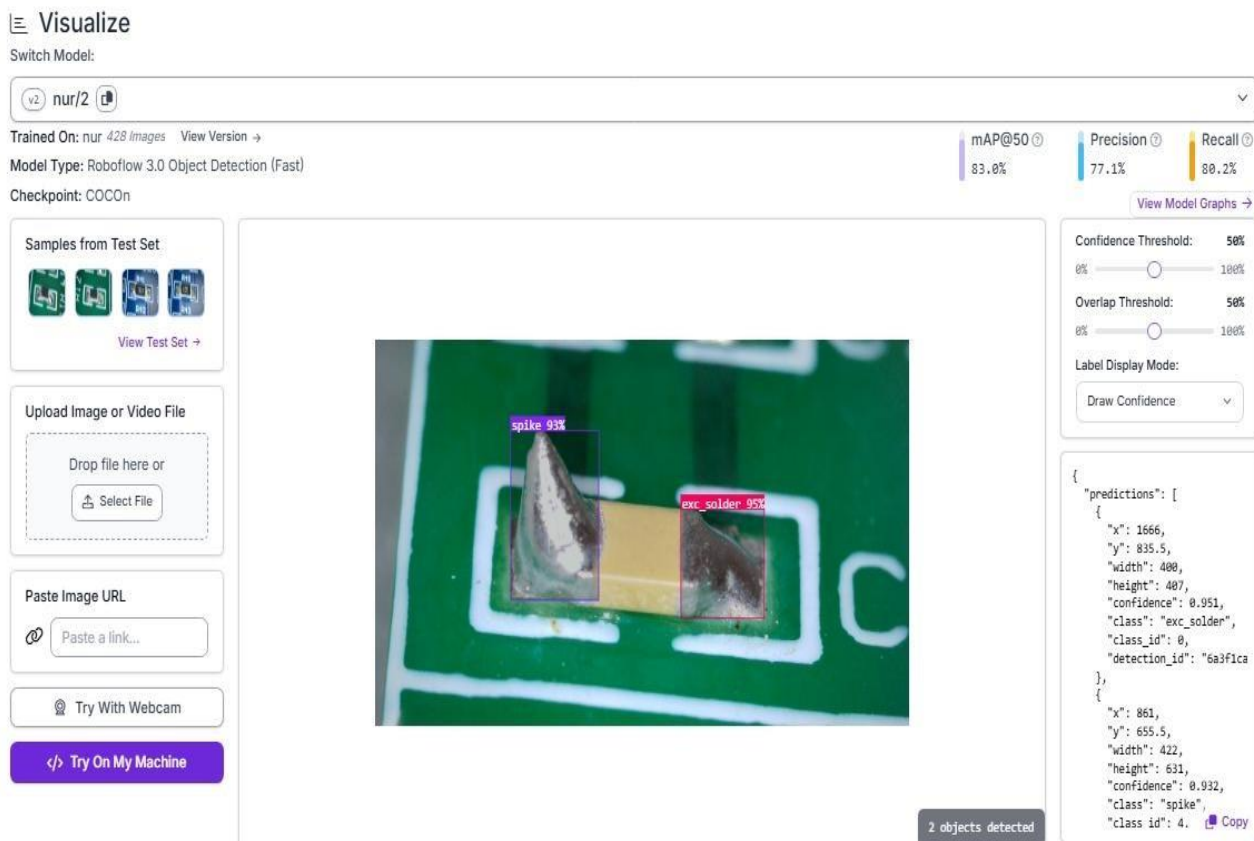


Рисунок 1. Пример обнаружения дефектов

### Анализ результатов

Полученные значения метрик позволяют сделать следующие выводы:

1. Высокая обнаруживающая способность –  $Recall > 0,8$  гарантирует, что основная масса дефектных соединений не попадёт в готовую продукцию.
2. Приемлемый уровень ложных срабатываний –  $Precision > 0,77$  означает, что примерно каждый четвёртый сигнал тревоги будет ложным, что может быть скорректировано дополнительной фильтрацией или повышением порога уверенности.
3. Устойчивость к вариациям – использование аугментированного набора изображений (три ракурса, изменения освещения) обеспечило стабильную работу модели при разных условиях съёмки.

### Заключение

В работе решена актуальная задача автоматизации контроля качества паяных соединений печатных плат с использованием современных методов компьютерного зрения. Обученная модель демонстрирует высокие показатели точности и полноты, что позволяет рекомендовать её для внедрения в системы технического контроля радиоэлектронных производств. Дальнейшее совершенствование модели будет направлено на увеличение её робастности и расширение спектра выявляемых дефектов.

### Список литературы:

1. Увайсов С.У., Черноверская В.В., Нгуен Вьет Данг, Нгуен Ван Туан. Применение искусственной нейронной сети в задаче тепловой диагностики печатного узла устройства контроля разбега самолета. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2022.2;10 (3). DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.012



2. Увайсов С.У., Черноверская В.В., Нгуен Конг Дык, Лыу Нгок Тиен. Применение искусственной нейронной сети в задаче ультразвуковой диагностики печатных плат радиоэлектронных устройств. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023.3;11 (2). DOI: 10.26102/2310-6018/2023.41.2.020

3. Инютин А.В., Лукашевич М.М. Детекция дефектов печатных плат на основе архитектуры YOLOv8. Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь.

4. Платформа RoboFlow: документация и руководство пользователя. – Режим доступа: <https://roboflow.com> (дата обращения: 05.04.2026).

