

вом. Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность всех компонентов системы, эффективность примененных решений по экранированию и помехозащитности, а также продемонстрировали возможность применения разработки для бесконтактного управления.

В результате выполнения проекта разработан прототип сенсорной панели с тремя емкостными зонами, в которой реализована индивидуальная калибровка каждого канала, оснащенная системой автономного питания, системой помехоустойчивости и встроенным программным обеспечением. Результаты проведенных в работе экспериментальных испытаний разработанного устройства свидетельствуют о его достаточной надежности и готовности для конечного применения как в реальных технических устройствах, так и для внедрения инновационных методов и технологий в образовательный процесс для демонстрации принципов емкостного взаимодействия и проектирования человеко-машинных интерфейсов.

Л и т е р а т у р а

1. Емкостные датчики: принцип работы, виды, применение. – URL: <https://leuze.ru/emkostnye-datchiki> (дата обращения: 16.09.2025).
2. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 560 с.
3. Подключение к Arduino радиочастотного модуля nRF24L01: схема и программа. – URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/kak-rabotaet-modul-nrf24l01-i-kak-ego-podklyuchit-k-arduino/> (дата обращения: 16.09.2025).

РАЗРАБОТКА УДАЛЕННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. Е. Монархович, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Предложено использовать применяемую на Белорусской железной дороге систему централизованного мониторинга Zabbix для контроля состояния электрооборудования с использованием сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: система электроснабжения, мониторинг, сверточные нейронные сети.

DEVELOPMENT OF A REMOTE MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM FOR RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM ELECTRICAL INSTALLATIONS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

I. E. Monarkhovich, V. N. Galushko, I. L. Gromiko

Belarusian State University of Transport, Gomel

It is proposed to use the Zabbix centralized monitoring system, currently used by Belarusian Railways, to monitor the condition of electrical equipment using convolutional neural networks.

Keywords: power supply system, monitoring, convolutional neural networks.

Современные системы электроснабжения и высокотехнологичные электроустановки часто требуют непрерывного контроля работоспособного состояния, особенно в критически важных инфраструктурах, таких как железнодорожный транспорт. На

Белорусской железной дороге уже применяется система централизованного мониторинга Zabbix, которая обеспечивает сбор, хранение и визуализацию данных о работе оборудования. Однако, как показал анализ [1, 2], классические методы мониторинга не всегда позволяют выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях. В мировой практике все чаще применяются сверточные нейронные сети (СНС) для анализа сигналов, изображений и временных рядов, что дает возможность автоматизировать диагностику и повысить точность прогнозирования отказов.

Концепция предлагаемого решения. Предлагается интегрировать уже обученную модель СНС в инфраструктуру Zabbix [3] с использованием мини-ПК в качестве локального узла диагностики. Реализация предложенного метода диагностики неисправностей обмоток трансформаторов и асинхронных двигателей включает следующие элементы:

- мини-ПК (Raspberry Pi 4 или Intel NUC) с установленным Zabbix Agent;
- развернутую на мини-ПК обученную модель СНС, способную анализировать входные данные (сигналы, спектры, изображения);
- локальное логирование результатов анализа: при обнаружении аномалии модель формирует запись в лог-файле;
- автоматическую передачу этих записей на центральный Zabbix Server через Zabbix Agent, где они становятся частью общего мониторинга.

Такой подход позволяет: снизить нагрузку на центральный сервер за счет локальной предобработки; работать в условиях ограниченной пропускной способности каналов связи; гибко адаптировать модель под конкретные типы электроустановок.

Алгоритм работы системы можно описать следующей последовательностью этапов:

- сбор данных* – мини-ПК получает данные с датчиков электроустановки;
- предобработка* – фильтрация шумов, нормализация сигналов;
- анализ СНС* – классификация состояния (норма / аномалия / тип неисправности);
- логирование* – запись результата в локальный лог;
- передача данных* – Zabbix Agent отправляет запись на сервер;
- визуализация и оповещение* – администратор получает уведомление и видит событие в интерфейсе Zabbix.

Интеграция сверточных нейронных сетей в систему Zabbix позволяет объединить интеллектуальный анализ данных и централизованный мониторинг. Это решение повышает надежность электроустановок, сокращает время реакции на обнаружение неисправностей (менее 1 С) и открывает возможности для предотказного обслуживания. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию архитектуры СНС, расширение набора анализируемых параметров и внедрение адаптивных моделей, способных обучаться на новых данных в реальном времени.

Литература

1. Совершенствование конструкции асинхронного двигателя с помощью 3D-моделирования электромагнитных и тепловых процессов / В. Н. Галушко, Д. В. Мирош, И. Л. Громыко, И. Е. Монархович // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 2 (47). – С. 49–54.
2. Монархович, И. Е. Характеристики модели сверточной нейронной сети для нахождения и анализа признаков различного масштаба / И. Е. Монархович // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления»: сб. тр. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – С. 136.
3. Zabbix Documentation. – URL: <https://www.zabbix.com/documentation>: (дата обращения: 03.03.2025).