



## СИСТЕМА ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

К. И. Шугай, студент 3-го курса,  
e-mail: shugaykirill@gmail.com  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Проект посвящен разработке устройства защиты электрооборудования, действие которого основано на сборе и анализе температурных данных. Цель такого устройства заключается в своевременном обнаружении и предотвращении перегрева и выхода из строя электрооборудования. Разработанное устройство на базе микроконтроллера ESP-32 с тепловизионной камерой MLX90640 позволяет собирать температурные данные и отправлять их на устройство оператора для автоматической или автоматизированной реакции. Данное решение повышает уровень защиты, а также облегчает и ускоряет диагностику электрооборудования.

**Ключевые слова:** диагностика, микроконтроллер, тепловизор, электрооборудование

### ВВЕДЕНИЕ

Внедрение методов тепловизионного контроля в электроэнергетику является одним из направлений развития современной технической диагностики. Своевременное проведение такого контроля позволяет на ранних стадиях выявить развивающиеся дефекты электрооборудования.

Причинами повышенной температуры электрооборудования могут быть:

- нарушения контактных соединений [1, 2];
- перегрузки [3, 4];
- снижение сопротивления изоляции, ее пробой [5];
- нарушение систем охлаждения [6];
- феррорезонансные процессы [7, 8].

Ряд причин опасного повышения температуры электрооборудования не может быть своевременно выявлен традиционными методами, в основе которых лежит регистрация токов и напряжений в электроустановках. Кроме того, телевизионный контроль не требует проведения операций по переключению питания на резервные цепи, снятия напряжений и непосредственного взаимодействия персонала с диагностируемыми цепями [9].

На рынке современного диагностического оборудования присутствует достаточное количество тепловизоров, применение которых основано на периодическом снятии термограмм [10]. Их применение требует участия персонала, тем самым это создает дополнительную нагрузку на работников, обслуживающих эти объекты; в некоторых случаях может потребоваться наличие у них соответствующих квалификаций и групп допуска. Кроме того, контролируемое оборудование может размещаться в труднодоступных местах, где проведение подобного контроля связано со значительными техническими и организационными трудностями [11].

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

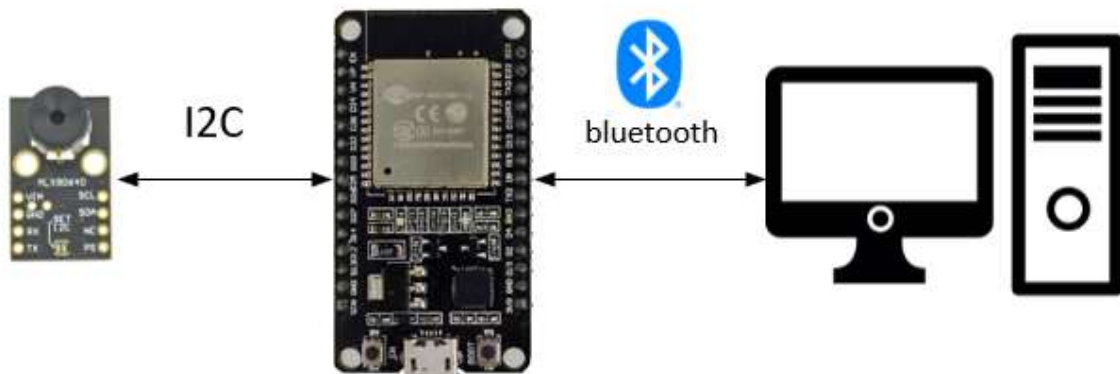
Объектом исследования является система непрерывного диагностирования электрооборудования на основе телевизионного контроля.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка средства автоматизированной диагностики и мониторинга температуры электрооборудования с помощью тепловизионной камеры.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

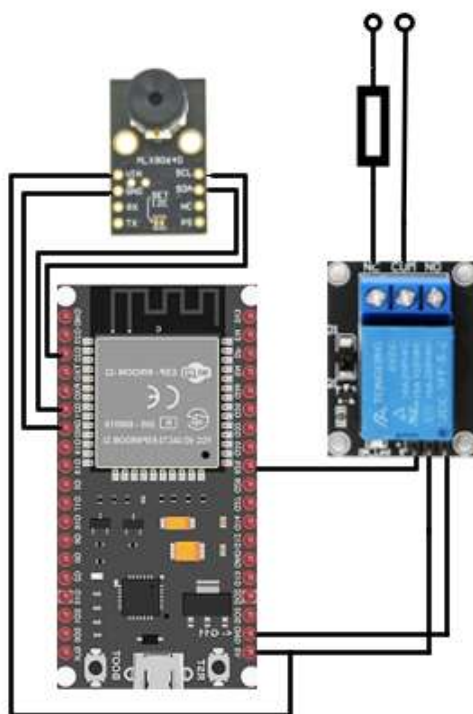
Первый этап – ознакомление с документацией для тепловизионной камеры MLX90640. Второй этап – сборка принципиальной схемы для системы тепловизионного контроля. Тепловизионная камера подключается к микроконтроллеру ESP-32 по шинам I2C. Данные поступают на микроконтроллер, передаются через Bluetooth и выводятся в браузере на ПК. Схема передачи данных представлена на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Схема передачи данных*

Пример реализации системы тепловизионного контроля представлен на рисунке 2. Для быстрого реагирования системы подключается реле к микроконтроллеру. К выходам реле подключается исследуемый объект для контроля температуры.

Третий этап – backend- и frontend-разработка. В соответствии с документацией для MLX90640 был разработан код на C++ в среде Arduino IDE для микроконтроллера. Обновление данных с тепловизора происходит с частотой 8 Гц. Все данные собираются в массив данных и отправляются на ПК через Bluetooth. Для ПК написан код на HTML для вывода в браузере и код на Javascript и CSS для логики и вывода данных в окне браузера.



*Рисунок 2 – Схема работы системы*

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все полученные данные выводятся в виде тепловой карты и показывают среднюю и максимальную температуру теплограммы (рисунок 3).



*Рисунок 3 – Выводимая теплограмма в браузере*

Для проверки работоспособности системы был подключен резистор к зажимам реле, а также был подключен осциллограф для проверки отключения реле. С сети подавалось напряжение для нагрева резистора. Когда температура на резисторе достигала заданного значения, происходил разрыв цепи и резистор отключался. На рисунке 4 представлена осциллограмма тока, полученная при помощи измерительного шунта, включенного последовательно с нагрузкой цепи.

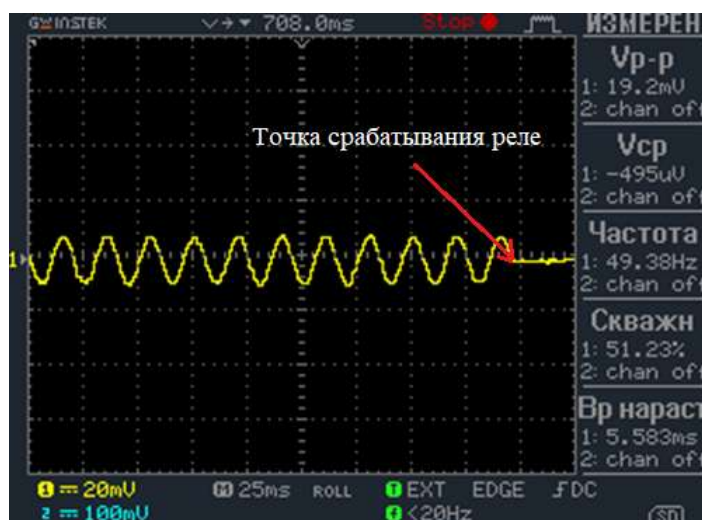


Рисунок 4 – Зарегистрированная осциллограмма напряжения на измерительном шунте

Изменение температуры защищаемого объекта показано на рисунке 5.

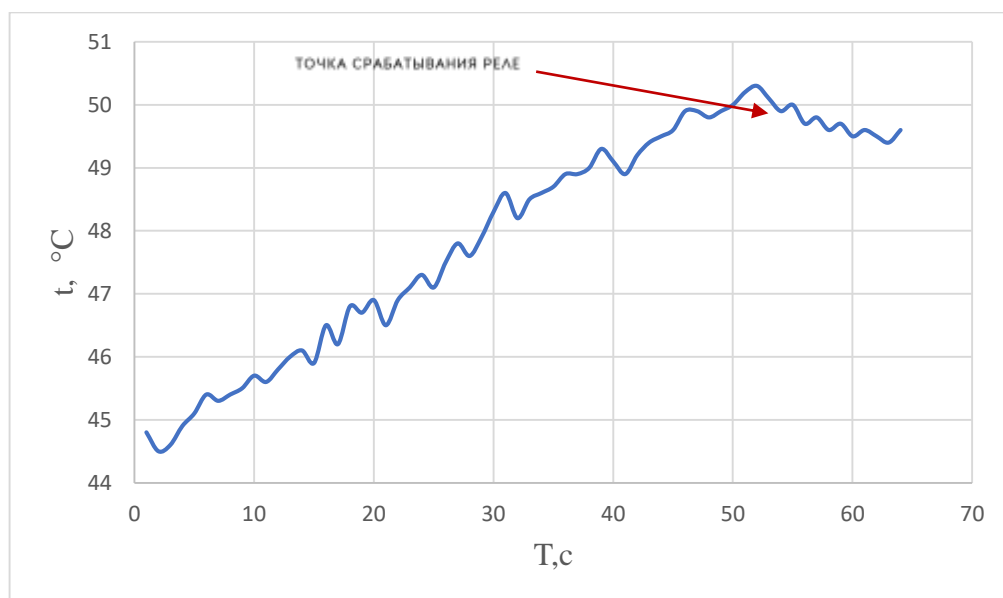


Рисунок 5 – Изменение температуры, согласно показаниям тепловизионного модуля

Как видно из рисунков 4–5, предложенная система тепловизионного контроля позволяет эффективно обеспечить защиту электрооборудования от перегрева.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная система тепловизионного контроля электрооборудования позволит своевременно выявлять перегрев электрооборудования и информировать об этом обслуживающий персонал. Предложенная разработка позволит повысить электробезопасность и пожаробезопасность электроустановок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуржий, В. В. Признаки локального нагрева в контактных соединениях электроустановок / В. В. Гуржий, А. А. Березин, Д. К. Свердил // Научный вестник НИИГД Респиратор. – 2021. – № 1 (58). – С. 102–109.
2. Игнатенко, И. В. Определение критериев оценки качества электрического соединения / И. В. Игнатенко, С. А. Власенко // Электротехника. – 2016. – № 2. – С. 9–11.

3. Фатхуллин, Д. Р. Нарушение правил эксплуатации электрических сетей, как основной фактор возникновения пожара / Д. Р. Фатхуллин, С. Г. Аксёнов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – № 12–4 (75). – С. 84–86.
4. Жилин, О. И. Пожарная безопасность электроустановок / О. И. Жилин // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2007. – № 4 (16). – С. 19–31.
5. Билялова, З. М. Анализ причин и профилактика возгораний в электроустановках / З. М. Билялова, О. И. Юскевич, В. А. Васильев // Поволжский научный вестник. – 2018. – № 2. – С. 24–33.
6. Кондратьева, Н. П. Анализ влияния нагрева электрооборудования на работоспособность трансформаторных подстанций сельских электрических сетей / Н. П. Кондратьева, Р. Г. Большин, А. В. Попов, М. Г. Краснолуцкая // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 93–9. – С. 39–41.
7. Кажекин, И. Е. Формирование максимальных перенапряжений при возникновении феррорезонансных процессов во время дуговых однофазных замыканий в низковольтных судовых электросистемах / И. Е. Кажекин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2020. – № 1. – С. 115–124.
8. Кажекин, И. Е. Управление феррорезонансным контуром в низковольтных судовых электросетях с компенсированной нейтралью / И. Е. Кажекин // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 4–3 (58). – С. 59–64.
9. Троицкий-Марков, Р. Т. Тепловой контроль технического состояния электрооборудования с целью обеспечения электробезопасности и пожаробезопасности // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2008. – № 3. – С. 30–33.
10. Аль-Аомари, О. Методика обработки термограмм силовых объектов энергетики [Электронный ресурс] / О. Аль-Аомари, Ю. В. Ваньков, Е. Е. Костылева, Р. Н. Валиев // ИВД. – 2015. – № 3. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3261>.
11. Агарков, С. А. Система тепловизионной диагностики электро- и теплоэнергетического оборудования на судах и объектах береговой инфраструктуры / С. А. Агарков, А. Б. Власов, Ю. И. Юдин // Вестник АГТУ. – Сер. Морская техника и технология, 2016. – № 3. – С. 66–74.

## ELECTRICAL EQUIPMENT THERMAL VISION CONTROL SYSTEM

K. I. Shugay, student,  
e-mail: shugaykirill@gmail.com  
Kaliningrad Sate Technical University

The project is dedicated to the development of an electrical equipment protection device, the operation of which is based on the collection and analysis of temperature data. The purpose of such a device is to timely detect and prevent overheating and failure of electrical equipment. The developed device based on the microcontroller ESP-32 with a thermal imaging camera MLX90640 allows you to collect temperature data and send them to the operator's device for automatic or automated response. This solution increases the level of protection, and also facilitates and speeds up the electrical equipment diagnostics.

**Keywords:** *diagnostics, microcontroller, thermal imager, electrical equipment*