

Научная статья / Research Article

УДК 621.316.1.12

Р.В. Вензелев¹, О.О. Вензелева²

¹АО «Красноярская региональная энергетическая компания», Красноярск, Россия

²Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹venzelove_rv@mail.ru

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА ПРИ МОНИТОРИНГЕ НАГРЕВА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрены основные методы температурного мониторинга: визуальный осмотр, тепловизионный контроль, термоиндикаторные наклейки и беспроводные датчики температуры. Анализ показал, что наиболее перспективным решением являются беспроводные датчики, однако их точность измерений может снижаться из-за влияния температуры окружающей среды. Для повышения эффективности мониторинга предложены два подхода: использование вспомогательного датчика температуры и модернизация существующих датчиков с добавлением измерительного элемента с радиатором. Первый вариант является более простым в реализации, но требует дополнительных расчетов. Реализация предложенных решений позволит повысить точность контроля температуры, снизить вероятность ложных срабатываний и увеличить надежность работы электрооборудования.

Ключевые слова: нагрев, токоведущие части, контакты, распределительные устройства, мониторинг

R.V. Venzelev, O.O. Venzeleva

¹AO Krasnoyarsk Regional Energy Company, Krasnoyarsk, Russia

² Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹venzelove_rv@mail.ru

ABOUT THE NEED TO TAKE INTO ACCOUNT THE AMBIENT TEMPERATURE DURING MONITORING OF THE HEATING OF THE CONDUCTORS

Annotation. The article discusses the main methods of temperature monitoring: visual inspection, thermal imaging control, thermalindical stickers and wireless temperature sensors. The analysis showed that the most promising solution is wireless sensors, however, their measurement accuracy can decrease due to

the influence of environmental temperature. To increase the efficiency of monitoring, two approaches are proposed: the use of auxiliary temperature sensor and modernization of existing sensors with the addition of a measuring element with a radiator. The first option is more easy to implement, but requires additional calculations. The implementation of the proposed decisions will increase the accuracy of temperature control, reduce the likelihood of false works and increase the reliability of the operation of electrical equipment..

Keywords: *heating, live parts, contacts, distribution devices, monitoring*

Контроль температуры токоведущих шин является важной задачей в электроэнергетике, он позволяет выявлять дефекты оборудования связанные с аномальным нагревом токоведущих частей различного оборудования: выключателей, разъединителей, токоведущих шин, трансформаторов и т. д. Значительный перегрев, не соответствующий нагрузке, может привести к авариям, снижению надежности и увеличению потерь в электрических сетях. Даже при правильной эксплуатации либо через год, либо через полтора года после сборки у большинства алюминиевых контактов наблюдается 3–5-кратный рост сопротивления, который приводит к недопустимому нагреву [1].

Цель исследования – анализ существующих методов контроля температуры токоведущих частей электрооборудования, выявление их недостатков и разработка решений для повышения точности и эффективности измерений.

Объекты, методы, результаты исследования. В настоящее время в электроэнергетике для выявления дефектов перегрева используется ряд методов:

1. Визуальный осмотр электроустановок персоналом предприятия, эксплуатирующего электроустановку.
2. Тепловизионный контроль с применением промышленных тепловизоров в комплексе с программным обеспечением для анализа полученных термограмм [2].
3. Наклейки с термоиндикаторным слоем или термоиндикаторные краски, изменяющие свой цвет при нагреве [3, 4].
4. Системы мониторинга, такие как датчики температуры, позволяющие отслеживать контактным способом измерения нагрев контролируемых токоведущих частей с последующей передачей измеренных данных по каналу беспроводной связи на сервер.

Каждый из методов имеет ряд ограничений, например при визуальном осмотре важным фактором корректного выявления дефектов является квалификация персонала, способного точно определить по характерным признакам перегревы токоведущих частей. Результат тепловизионного контроля зависит от протекающего тока в контролируемых токоведущих частях. При тепловизионном контроле и визуальном осмотре невозможно оценить наличие большинства контактов ячеек распределительных устройств.

тельных устройств, которые скрыты конструктивными элементами – защитными коробами и перегородками.

Термоиндикаторные наклейки в ряде случаев могут изменять свой цвет при нагреве токоведущей части от посторонних источников тепла – окружающего воздуха. Примером этого могут служить ячейки комплектных распределительных устройств наружной установки без выполненной теплоизоляции, в корпусе которых температура в летнее время года может достигать до 60 °С.

Наиболее перспективным и технологичным решением является применение беспроводных датчиков температуры. Внедрение таких устройств в комплектные трансформаторные подстанции, камеры сборные одностороннего обслуживания, комплектные распределительные устройства, щиты собственных нужд электроустановок и низковольтные комплектные устройства предусмотрено внутренними организационно-распорядительными документами крупнейших электросетевых компаний России – ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» и ПАО «Россети», о чем разослано заинтересованным предприятиям-изготовителям и проектным организациям информационное письмо № ГГ-573 от 24.01.2023. Датчики температуры и способ их размещения на токоведущих частях показан на рисунке 1.

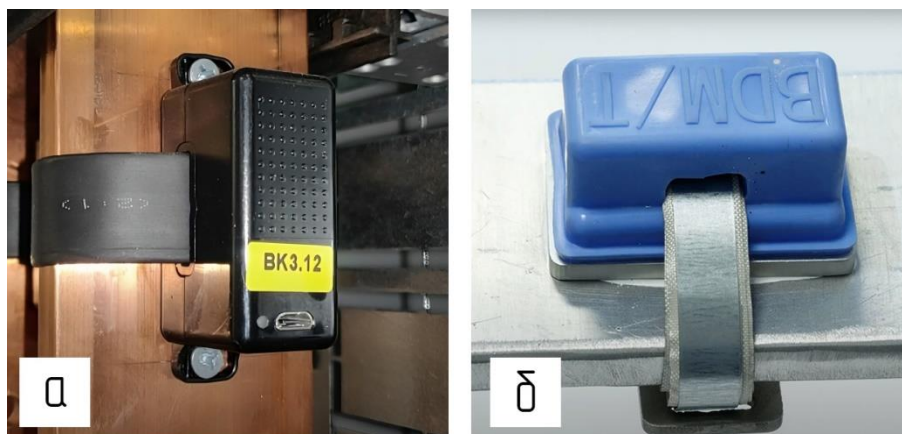


Рисунок 1 – Беспроводные температурные датчики:
а – датчик комплекса «Мелисса»; б – датчик типа BDM/T

Датчики предназначены для выявления недопустимого нагрева элементов распределительных устройств 0,4–35 кВ в диапазоне температур от 20 до 125 °С. Интересны датчики тем, что не имеют встроенных аккумуляторов, питание приборов осуществляется от устройств отбора мощности, построенных по принципу трансформаторов тока. Работа датчиков обеспечивается при протекании тока от 5–9 А через контролируемый объект. Оба устройства предназначены для повышения надежности электрооборудования путем своевременного выявления и предотвращения пере-

грева токоведущих частей, что способствует предотвращению аварийных ситуаций и продлению срока службы оборудования [5, 6].

С точки зрения корректной интерпретации результата измерений слабой стороной датчиков является то, что они учитывают температуру, измеренную на поверхности контролируемого объекта, при этом, как и в случае с термоиндикаторными наклейками, может регистрироваться повышенная температура токоведущей части даже при протекании малого тока из-за нагрева от окружающего воздуха и неэффективного охлаждения контролируемой токоведущей части.

На основе общих принципов термодинамики уравнение теплопроводности для модели контакта, представляющего основной интерес при мониторинге температуры распределительных устройств, выглядит следующим образом:

$$\theta = \frac{I^2 R_k}{2\lambda F \eta} \varepsilon^{-\eta x} + \frac{qF}{kS} + \theta_0, \quad (1)$$

где θ_0 – температура окружающей среды; k – коэффициент теплопередачи; $q = I^2 \rho$ – количество теплоты, генерируемой в 1 см³ проводника в единицу времени; $\eta = \sqrt{(kS/\lambda F)}$ – коэффициент; F и S – площадь и боковая поверхность контакта соответственно [1].

Исходя из уравнения (1), можно сделать вывод о значимости параметра внешней температуры окружающей среды для корректной интерпретации результата измерений при мониторинге токоведущих частей распределительных устройств.

Температура окружающей среды оказывает прямое воздействие на показания датчиков, установленных на токоведущих частях. В жаркую погоду даже при нормальной нагрузке температура шины может быть выше расчетной, что может быть ошибочно интерпретировано как перегрев. Аналогично, в холодных условиях реальный нагрев может быть занижен, что затруднит своевременное определение аномального нагрева контролируемого контактного соединения, указывающего на дефект.

Таким образом, датчики должны учитывать фоновый нагрев, так как он влияет на корректность интерпретации результата измерения, а следовательно, на его эффективность. Также система (комплекс датчиков и программного обеспечения) должна анализировать не абсолютную температуру, а перегрев относительно окружающей среды.

Учет температуры окружающей среды возможен при реализации одного из двух вариантов.

Первый вариант заключается в разработке вспомогательного датчика температуры с радиатором из материала, аналогичного материалу контролируемого контакта, для теплообмена между радиатором и окружающим воздухом. Также в программном обеспечении, реализующем мониторинг, должна быть предусмотрена возможность внесения и изменения

корректирующего коэффициента, зависящего от габаритного размера и формы контролируемых токоведущих частей к установленному на датчике радиатору, это необходимо для корректного сопоставления температуры окружающего воздуха и контролируемой токоведущей части. Установка такого вспомогательного датчика выполняется в отсеке с контролируемыми токоведущими частями. Вариант размещения такого датчика показан на рисунке 2, а.

Второй вариант заключается в доработке конструкции существующих датчиков, в которую будет включен измерительный элемент с радиатором, размещенным, например, на внешней стенке датчика. При этом требуется предусмотреть наличие многоканального аналого-цифрового преобразователя для одновременного преобразования двух измеренных сигналов и отправкой их в программное обеспечение для последующего сопоставления полученных результатов. Размещение измерительного элемента и радиатора показано на рисунке 2, б.

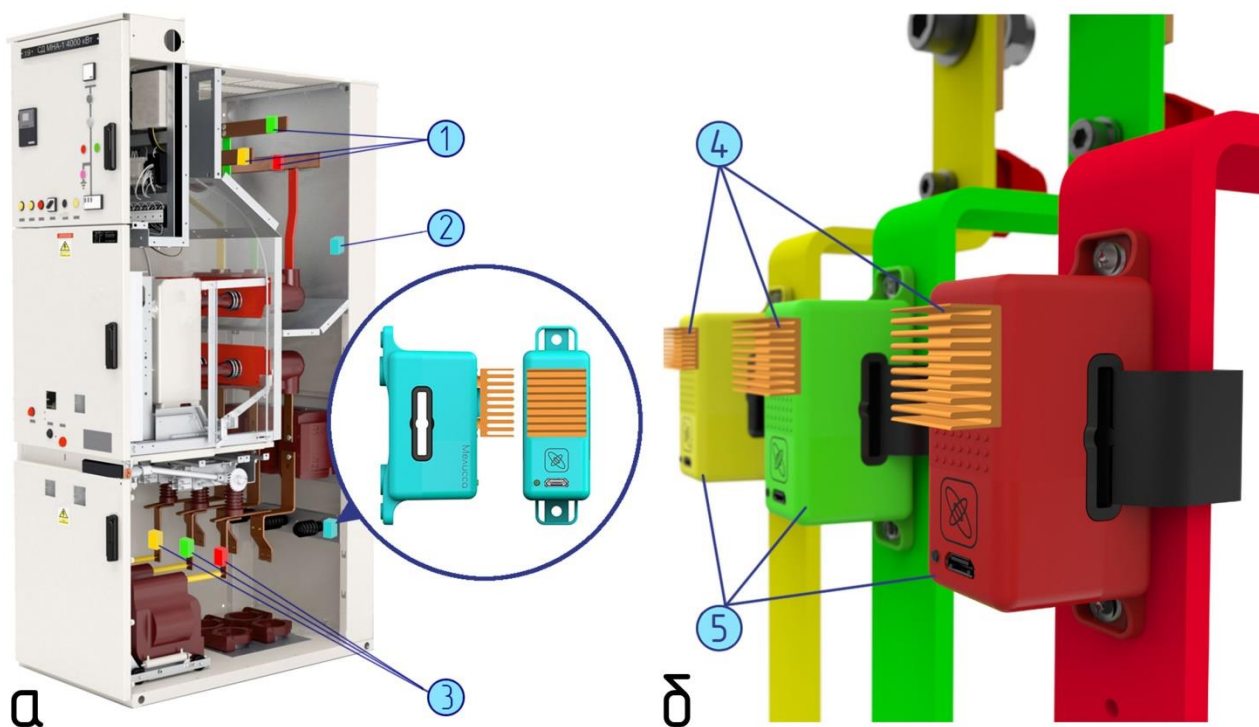


Рис. 2. Варианты учета температуры окружающего воздуха при использовании датчиков температуры: а – вариант размещения вспомогательного датчика; б – вариант модернизации датчика температуры; 1 – датчики температуры, размещенные на шинах отсека секции шин ячейки КРУ; 2 – вспомогательный датчик температуры окружающего воздуха в отсеке секции шин; 3 – датчики температуры, размещенные на шинах кабельного отсека ячейки КРУ; 4 – радиатор для измерения температуры окружающей среды; 5 – модернизированные датчики температуры

Заключение. Таким образом, рассмотрены современные методы контроля температуры токоведущих частей электроустановок и их ограничения. Особое внимание уделено использованию беспроводных датчи-

ков температуры как наиболее перспективному решению для своевременного выявления перегрева и предотвращения аварийных ситуаций.

Анализ показал, что важным фактором, влияющим на точность измерений, является температура окружающей среды, которая может искажать результаты мониторинга. Для устранения этой проблемы предложены два варианта учета фоновой температуры: использование вспомогательного датчика температуры либо модернизация существующих датчиков путем добавления измерительного элемента с радиатором.

Наиболее простым в реализации является первый вариант, так как он требует минимальных конструктивных изменений. Однако для его внедрения необходимы дополнительные исследования по определению корректирующих коэффициентов, обеспечивающих точную корреляцию между температурой окружающей среды и температурой контролируемых элементов.

Реализация предложенных решений позволит повысить точность контроля температуры токоведущих частей, снизить риск ложных срабатываний систем мониторинга и обеспечить более надежную эксплуатацию электрооборудования в условиях переменных климатических факторов.

Список источников

1. Бойченко В.И., Дзекцер Н.Н. Контактные соединения токоведущих шин. Л.: Энергия, 1978. 144 с.
2. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. 6-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 177 с.
3. Гусарова Н. Термоиндикаторы – новый инструмент культуры безопасности на производстве // Электроэнергия. Передача и распределение. 2024. № 5. С. 18–19.
4. Сливко Д.П., Тищенко С.Е. Опыт применения необратимых термоиндикаторов для контроля состояния контактных соединений электроустановок // Электроэнергия. Передача и распределение. 2025. № 1. С. 126–128.
5. Мелисса. Защита от перегрева токоведущих частей. Руководство по эксплуатации: МТ.МЕЛИССА.РЭ.01.17 от 09.01.2024 // ООО «НПП Микропроцессорные технологии». URL: <https://i-mt.net/wp-content/uploads/2022/12/RE-Melissa.pdf> (дата обращения: 01.02.2025).
6. Комплекс мониторинга температуры (нагрева) контактных соединений энергетического оборудования 0,4–35 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2024. № 3. С. 120. URL: <https://eepir.ru/article/kompleks-monitoringa-temperatury-nagreva-kontaktnyh-soedinenij-energeticheskogo-oborudovaniya-0-4-35-nbsp-kv/> (дата обращения: 23.02.2025).

References

1. Boichenko V.I., Dzekter N.N. Kontaktnye soedineniya tokovedushchikh shin. L.: Ehnergiya, 1978. 144 s.
2. RD 34.45-51.300-97. Ob"em i normy ispytaniy ehlektrooborudovaniya. 6-e izd. M.: Izd-vo NTS EHNAS, 2004. 177 s.
3. Gusarova N. Termoindikatory – novyi instrument kul'tury bezopasnosti na proizvodstve // Ehlektroehnergiya. Peredacha i raspredelenie. 2024. № 5. S. 18–19.
4. Slivko D.P., Tishchenko S.E. Opyt primeneniya neobratimyykh termoindikatorov dlya kontrolya sostoyaniya kontaktnykh soedineniy ehlektroustanovok // Ehlektroehnergiya. Peredacha i raspredelenie. 2025. № 1. S. 126–128.
5. Melissa. Zashchita ot peregreva tokovedushchikh chastei. Rukovodstvo po ehkspluatatsii: MT.MELISSA.REH.01.17 ot 09.01.2024 // OOO «NPP Mikroprotsessornyye tekhnologii». URL: <https://i-mt.net/wp-content/uploads/2022/12/RE-Melissa.pdf> (data obrashcheniya: 01.02.2025).
6. Kompleks monitoringa temperatury (nagreva) kontaktnykh soedineniy ehnergeticheskogo oborudovaniya 0,4–35 kV // Ehlektroehnergiya. Peredacha i raspredelenie. 2024. № 3. S. 120. URL: <https://eepir.ru/article/kompleks-monitoringa-temperatury-nagreva-kontaktnykh-soedineniy-energeticheskogo-oborudovaniya-0-4-35-nbsp-kv/> (data obrashcheniya: 23.02.2025).

Сведения об авторах:

Роман Викторович Вензелев – руководитель группы по ремонту оборудования подстанций Отдела эксплуатации и ремонта электрических сетей службы главного инженера

Ольга Олеговна Вензелева – магистр первого года обучения

Information about the authors:

Roman Viktorovich Venzel – Head of the Substation Equipment Repair Group of the Electrical Network Maintenance and Repair Department of the Chief Engineer's Office

Olga Olegovna Venzeleva – first year Master's degree