

О СТАНДАРТИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К ТЕРМОИНДИКАТОРНОМУ КОНТРОЛЮ СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

АВТОРЫ:

М.Ю. Львов,
д.т.н.,
С.Д. Никитина,
АО «ОЭК»

Ю.Н. Львов,
д.т.н.,
«НТЦ Россети ФСК ЕЭС»

А.В. Лесив,
ООО «ТермоЭлектрика»

В статье описана методология применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования при эксплуатации электроустановок. Рассмотрены принципы оценки теплового состояния контактов и контактных соединений в соответствии с действующими нормативными требованиями. Приведены типовые требования к термоиндикаторам, принципы их выбора и методология оценки состояний контактов и контактных соединений с помощью термоиндикаторов, разработанные на основе проведенных исследований и накопленного опыта эксплуатации.

Ключевые слова: контакт; контактное соединение; термоиндикатор; тепловой контроль.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных вопросов обеспечения эксплуатационной надежности электроустановок является контроль состояния контактов и контактных соединений электрооборудования.

В соответствии с ГОСТом 14312-79 «Контакты электрические. Термины и определения» [1]:

- контакт электрической цепи (контакт) — часть электрической цепи, предназначенная для коммутации и проведения электрического тока;
- контактное соединение — контакт электрической цепи, предназначенный только для проведения электрического тока и не предназначенный для коммутации

электрической цепи при заданном действии устройства.

Состояние контактов и контактных соединений в процессе эксплуатации электроустановок в значительной степени определяется значением переходного контактного сопротивления. Переходное сопротивление контакта (контактного соединения) — электрическое сопротивление зоны контактирования, определяемое эффективной площадью контактирования, и равное отношению падения напряжения на контактном переходе к току через этот переход.

В процессе эксплуатации под влиянием различных факторов возможно увеличение переходного контактного сопротивления вследствие ослабления нажима или усилия прижатия, возникновения оксидной пленки

или нагара из-за окисления металла, коррозии металла и др.

Рост переходного контактного сопротивления приводит к выделению тепла и избыточному нагреву контакта (контактного соединения). В практике эксплуатации электроустановок для контроля состояния контактов и контактных соединений, находящихся в воздушной среде и доступных для контроля в процессе эксплуатации, широко применяется тепловой контроль их состояния.

ТЕПЛОЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В соответствии с ГОСТом Р 53698-2009 [2] тепловой контроль — неразрушающий контроль, основанный на регистрации температурных полей объекта контроля. При этом применяются как неконтактные, так и контактные методы теплового контроля.

Неконтактный метод теплового контроля — метод, основанный на регистрации температуры при отсутствии непосредственного контакта чувствительного элемента теплового дефектоскопа с поверхностью объекта контроля. В практике эксплуатации электроустановок применяют тепловизионный метод теплового контроля, основанный на использовании средств тепловидения (тепловизоры).

Контактный метод теплового контроля — метод, основанный на регистрации температуры при непосредственном контакте чувствительного элемента теплового дефектоскопа с поверхностью контроля. В практике эксплуатации электроустановок применяют термоиндикаторный метод теплового контроля, основанный на визуальном контроле изменения цвета термоиндикаторной наклейки, расположенной непосредственно на поверхности контролируемого узла, при достижении заданной пороговой температуры нагрева.

Предельные значения температур нагрева для различных контактов и контактных соединений приведены в различных ГОСТах и в РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3]. В табл. 1 приведены предельные допустимые температуры нагрева и предельные температуры превышения для различных контактов и контактных соединений в соответствии с установленными требованиями.

В соответствии с [3] установлены требования по проведению тепловизионного контроля контактов и контактных соединений. Для осуществления тепловизионного контроля рекомендовано применять тепловизоры. Следует также отметить, что в ПАО «Россети» с 2017 г. введен в действие в качестве локального нормативного акта стандарт организации СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [4], в котором требования по проведению тепловизионного контроля контактов и контактных соединений в полном объеме повторяют требования [3].

Отметим также, что в соответствии с п. 1.4 [3] выход значений параметров за установленные границы (предельные значения) следует рассматривать как признак наличия дефектов, которые могут привести к отказу оборудования. При нагреве выше установленных наибольших допустимых температур могут происходить оплавление и отгорание контакта (контактного соединения), повреждение изоляции, возгорание, пожар.

Таким образом, при обнаружении факта достижения наибольшего допустимого значения температуры нагрева контакта (контактного соединения) следует констатировать наличие аварийного дефекта контакта (контактного соединения), что соответственно требует принятия мер по его устранению.

Задача контроля контактов и контактных соединений — своевременное выявление наличия дефектов контактов (контактных соединений). Следует подчеркнуть, что возникновение недопустимого нагрева контакта (контактного соединения) зависит как от степени ухудшения переходного сопротивления контакта (контактного соединения), так и от значения протекающего тока, зависящего от нагрузки электроустановки, а также от температуры окружающего воздуха. Максимальный нагрев контакта (контактного соединения) будет происходить при максимальной нагрузке электроустановки и максимальной температуре окружающего воздуха.

Методология тепловизионного контроля контактов и контактных соединений, установленная в соответствии с РД 153-34.0-20.363-99 «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ» [5], подразумевает не только выявление на момент проведения тепловизионного контроля контактов (контактных соединений), которые имеют температуру нагрева выше установленной наибольшей допустимой, но и выявление контактов (контактных соединений), которые на момент проведения измерений имеют температуру нагрева ниже установленной наибольшей допустимой, но при увеличении тока нагрузки электроустановки могут достичь установленных наибольших допустимых значений. С этой целью при проведении тепловизионного контроля контактов (контактных соединений) применяются соответствующие методики оценки состояния, а именно:

- по температуре превышения, при токах нагрузки $(0,6-1)I_{ном}$;
- по избыточной температуре, при токах нагрузки $(0,3-0,6)I_{ном}$,

где $I_{ном}$ — номинальный ток нагрузки.

НАИБОЛЬШИЕ ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРЕВЫШЕНИЯ

Таблица 1

Контролируемые узлы	Наибольшее допустимое значение, °С	
	температура нагрева	превышение температуры
1. Контакты из меди и медных сплавов – без покрытий, в воздухе; – с накладными серебряными пластинами, в воздухе; – с покрытием серебром или никелем, в воздухе; – с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм; – с покрытием оловом, в воздухе	75 120 105 120 90	35 80 65 80 50
2. Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей – без покрытия; – с покрытием оловом, серебром или никелем	90 105	50 65
3. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов – без покрытия, в воздухе; – с покрытием оловом, в воздухе; – с покрытием серебром или никелем, в воздухе	90 105 115	50 65 75
4. Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше: соединения из меди, алюминия и их сплавов, в воздухе без покрытий/с покрытием оловом: – с разъемным контактным соединением, осуществляемым пружинами; – с разборным соединением (нажатие болтами или винтами), в том числе выводы предохранителя; – металлические части, используемые как пружины из меди; – из фосфористой бронзы и аналогичных сплавов	75/95 90/105 75 105	35/55 50/65 35 65

При этом определено:

- превышение температуры — разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха;
- избыточная температура — превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях.

Кроме того, в [3] указывается, что тепловизионный контроль электрооборудования и токоведущих частей при токах нагрузки $0,3I_{ном}$ и ниже не способствует выявлению дефектов на ранней стадии их развития.

Таким образом, методология оценки состояния контактов и контактных соединений с применением тепловизора предполагает следующую последовательность действий.

1. Измерение температуры диагностируемого элемента (контакта, контактного соединения).
2. Измерение силы тока в цепи для расчета отношения рабочего тока нагрузки электрооборудования к номинальному $(I_{раб}/I_{ном})$.
3. В зависимости от значений тока нагрузки на момент проведения измерений оценка теплового состояния контакта (контактного соединения) осуществляется расчетным путем по температуре превышения либо по избыточной температуре.

Несмотря на эффективность применения тепловизоров для проведения диагностического контроля состояния контактов и контактных соединений, данный метод довольно трудоемкий, требует применения специального оборудования, специально подготовленного персонала, и не все участки электрической цепи и узлы электроустановок доступны для проведения тепловизионного контроля. Оценка состояния контакта (контактного соединения) производится по результатам оценки температуры контакта (контактного соединения), полученным только на момент выполнения измерений. При этом в соответствии с требованиями [3] периодичность проведения тепловизионного контроля для электрооборудования распределительных устройств на напряжение 35 кВ и ниже составляет один раз в три года, для напряжения 110–220 кВ — один раз в два года, для напряжения 330–750 кВ — ежегодно.

В связи с этим следует отметить, что накопленный опыт эксплуатации и обобщение результатов проведения тепловизионных обследований показывают, что развитие дефектов контактов и контактных соединений до перехода в аварийное состояние может происходить быстрее, чем установленный срок периодичности тепловизионного контроля. При этом выявление возможного развития ава-

рийного дефекта при токах нагрузки $0,6I_{ном}$ и ниже расчетным путем по избыточной температуре имеет довольно невысокую диагностическую ценность [6]. Если на момент проведения тепловизионного обследования ток нагрузки находится в диапазоне ниже $0,6I_{ном}$, количество тепла, выделяемое на контакте (контактном соединении), является незначительным и влияние таких факторов, как теплорассеяние, обдув, теплоизоляционные свойства материалов, становится доминирующим. Тепловизор обнаружит факт достижения максимальной температуры нагрева при эксплуатации электроустановки лишь в том случае, если на момент измерений ток нагрузки будет максимальным. Помимо этого, при тепловизионном обследовании необходимо учитывать температуру окружающего воздуха, так как очевидно, что один и тот же контакт будет иметь разную температуру нагрева при разной температуре окружающего воздуха. При этом отметим, что в соответствии с требованиями п. 487 [7] температура воздуха внутри помещений ЗРУ в летнее время должна быть не выше 40 °С.

Следует сказать, что значение избыточной температуры более 30 °С при токах нагрузки менее $0,6I_{ном}$, которое могло бы указывать на развитие аварийного дефекта в соответствии с [3, 5], как показывает многолетний опыт эксплуатации, не имеет достаточных обоснований как критерий выявления аварийного дефекта контактов (контактных соединений). В настоящее время в разработанном Минэнерго России проекте «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Требования к объему и нормам испытаний электрооборудования» [8], прошедших публичные обсуждения, указываются измененные критерии при оценке состояния контактов и контактных

соединений по избыточной температуре и токе нагрузки $0,5I_{ном}$ и ниже, а именно:

- избыточная температура до 30 °С — начальная степень неисправности;
- избыточная температура более 30 °С — развившийся дефект.

При этом также указывается, что о наличии аварийного дефекта свидетельствует только достижение установленных наибольших допустимых значений температуры нагрева контактов (контактных соединений) или достижение наибольшего допустимого значения превышения температуры — установленные значения допустимых температур нагрева повторяют значения, указанные в действующем РД 34.45–51.300–97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3] (см. табл. 1).

С целью повышения эффективности контроля состояния контактов и контактных соединений электроустановок в процессе эксплуатации в энергетических компаниях в последнее время активно развивается применение термоиндикаторов для оценки состояния контактов и контактных соединений [6, 9]. Следует отметить рост предложений от предприятий-изготовителей как в нашей стране, так и за рубежом по видам и номенклатуре термоиндикаторов, в первую очередь термоиндикаторных наклеек.

Вместе с тем в системе действующих в электроэнергетике нормативно-технических документов отсутствуют какие-либо методические указания и рекомендации по оценке состояния контактов и контактных соединений электроустановок, а также типовые требования к термоиндикаторам.

В настоящее время эксплуатационные организации в части применения термоиндикаторного контроля состояния контактов и контактных

соединений руководствуются локальными нормативными актами (ЛНА) организаций, в частности стандартами организаций, в том числе:

- СТО 000 «ТермоЭлектрика» 4041–29–003–2021 «Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений, электрооборудования и ЛЭП с использованием термоиндикаторных наклеек» [10];
- СТО АО «ОЭК» 76561356–29–004–2022 «Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений, электрооборудования и линий электропередачи с использованием термоиндикаторных наклеек» [11];
- СТО ПАО «Россети» 34.01–12–002–2022 «Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений электрооборудования с использованием термоиндикаторных наклеек» [12].

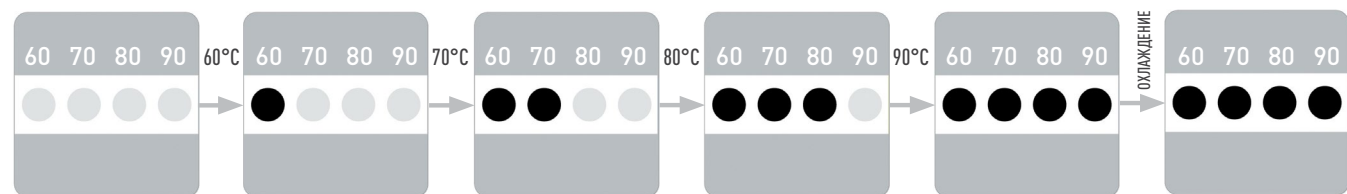
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Опыт применения термоиндикаторов для контроля теплового состояния контактов и контактных соединений имелся еще в последние десятилетия прошлого столетия, однако широкого распространения он не получил. Среди главных препятствий к широкому использованию термоиндикаторов в тот период можно отнести ряд обстоятельств [8]:

- отсутствие методик контроля состояния контактов и контактных соединений с использованием термоиндикаторов;
- отсутствие требований и стандартов к термоиндикаторам, в том числе по точности и скорости срабатывания, электрической прочности, адгезии, площади термочувствительной поверхности;

ПРИНЦИП РАБОТЫ НЕОБРАТИМЫХ МНОГОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕРМОИНДИКАТОРНЫХ НАКЛЕЕК

Рис. 1



- материал основы термоиндикаторов (как правило бумага) являлся недолговечным;
- относительно высокая стоимость;
- маленькая площадь термочувствительного элемента и, как следствие, недостаточная заметность при визуальном осмотре.

Современные технологии позволяют изготавливать термоиндикаторные наклейки по доступным ценам, с большой площадью индикаторной поверхности, высокой электрической прочностью, длительным сроком службы и достаточной точностью температурного перехода.

Различают два типа индикаторов: обратимые (изменяющие окраску только в нагретом состоянии и возвращающие исходный цвет при охлаждении) и необратимые (изменяющие окраску после превышения заданной температуры и сохраняющие ее после охлаждения). Для целей оценки состояния контактов и контактных соединений (контроля факта достижения установленной температуры при эксплуатации электроустановок) применяются только необратимые термоиндикаторы плавления.

Конструктивно термоиндикаторная наклейка представляет собой гибкую самоклеящуюся пластину из полимерного материала с нанесенным в центральной части термочувствительным материалом различной формы. При нагревании выше заданной

температуры термоиндикатор необратимо меняет цвет. Необратимые термоиндикаторные наклейки могут быть выполнены в однотемпературном и многотемпературном вариантах.

На рис. 1 представлен принцип работы многотемпературных необратимых термоиндикаторных наклеек, на рис. 2 — примеры установки термоиндикаторов для контроля состояния контактов (контактных соединений) электроустановок ЗРУ.

Очевидными достоинствами применения термоиндикаторов являются:

- непрерывный контроль температуры контакта (контактного соединения) без применения специальных средств измерений;
- контроль труднодоступных или недоступных для тепловизора элементов;
- выявление наличия и развития дефектов контактов и контактных соединений путем визуальной оценки срабатывания термоиндикатора (изменение цвета);
- возможность проведения визуального осмотра оперативным персоналом и оперативно-ремонтным персоналом при осмотрах электроустановок.

Как отмечалось выше, максимальный нагрев контакта (контактного соединения) будет происходить при максимальной нагрузке элект-

роуустановки и максимальной температуре окружающего воздуха. В связи с этим подчеркнем, что термоиндикатор за счет непрерывности контроля теплового состояния и необратимости срабатывания позволяет при визуальном осмотре зафиксировать факт достижения (либо не достижения) установленных пороговых значений температур в любой момент эксплуатации электроустановки до ее осмотра. Это является одним из значимых факторов целесообразности и эффективности применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок.

В соответствии с требованиями п. 499 Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [7] установленная периодичность осмотра оборудования распределительных устройств без отключения от сети. На объектах с постоянным дежурным персоналом — не реже одного раза в сутки, на объектах без постоянного дежурного персонала — не реже одного раза в месяц, для трансформаторных и распределительных пунктов — не реже одного раза в шесть месяцев. Кроме того, в зависимости от ряда факторов устанавливаются требования по проведению внеочередных осмотров. Таким образом, применение термоиндикаторов позволяет осуществлять визуальный контроль состояния контактов (контактных соединений) при проведении осмотров оперативным персоналом.

ПРИМЕРЫ УСТАНОВКИ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ

Рис. 2



Применение термоиндикаторов позволяет проводить оценку теплового состояния контактов (контактных соединений) в недоступных для тепловизионного обследования местах, в том числе при осмотре контактов (контактных соединений), при проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования в соответствии с требованиями Правил организации технического обслуживания и ремонтов объектов энергетики [13].

Установку термоиндикаторных наклеек следует производить с соблюдением действующих Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [14]. Эта работа должна производиться со снятием напряжения с электроустановки. Возможна установка термоиндикаторных наклеек без снятия напряжения при условии включения данной работы в утвержденный техническим руководителем объекта перечень работ, выполняемых под напряжением, и при условии выполнения других обязательных требований Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [14] при выполнении работ под напряжением.

Применение термоиндикаторов не должно сказываться на надежности и безопасности эксплуатации электроустановок, а также усложнять проведение их технического обслуживания. По этой причине отметим важность таких параметров термоиндикаторов, как высокая

адгезия, электрическая прочность и эластичность, низкая горючесть и воспламеняемость, срок службы. К группе технических характеристик необходимо отнести и толщину термоиндикаторной наклейки. Использование термоиндикаторов толщиной более 1 мм может сказаться на отводе тепла от греющегося контакта и ускорить развитие дефекта. Окантовка

термоиндикатора (цвет фона) должна совпадать с цветовой маркировкой фазы, чтобы исключить ошибку при проведении монтажа или ремонтных работ.

Требования к функциональным характеристикам термочувствительного элемента должны обеспечивать необходимую точность и необрати-

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕРМОИНДИКАТОРАМ

Таблица 2

Наименование параметра/характеристики	Требуемое значение
Тип индикации	Необратимый
Цветовой переход	Белый—черный
Требования к термочувствительному элементу	Допустимый диапазон срабатывания установленного порогового значения ± 2 °C
Требования к клеевому слою и адгезии	Адгезия FINAT TM1 после 24 часов не менее 15 Н/25 мм
Окантовка термоиндикатора	Окантовка термоиндикаторов, предназначенных для установки на контакты и контактные соединения электрооборудования должна соответствовать цветовой маркировке фаз
Пожароустойчивость	Термоиндикаторы не должны поддерживать горение и должны классифицироваться как труднгорючие вещества в соответствии с ГОСТом 12.1.044–89
Электрическая прочность (ГОСТ 6433.3–71)	Не менее 15 кВ/мм
Толщина термоиндикатора	Не более 0,5 мм
Классификация по степени воздействия на организм человека	Малоопасные согласно ГОСТу 12.1.007–76, в частности термоиндикаторы не должны выделять вредные вещества
Устойчивость к механическим воздействиям, органическим растворителям и смазочным материалам	Должны сохранять функциональные свойства при кратковременном воздействии уайт-спирита и смазочных материалов
Срок службы	Не менее 10 лет с даты изготовления

ЗНАЧЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОИНДИКАТОРА ТЕМПЕРАТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАИБОЛЬШЕЙ ДОПУСТИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА КОНТАКТА (КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ)

Таблица 3

Контролируемые узлы	Наибольшее допустимое значение температуры нагрева, °С	Контролируемый термоиндикатором диапазон температур, °С
1. Контакты из меди и медных сплавов – без покрытий, в воздухе; – с накладными серебряными пластинами, в воздухе;	75	50–60–70–80
	120	70–90–100–120
	105	60–80–90–110
	120	70–90–100–120
– с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм; – с покрытием оловом, в воздухе	90	60–70–80–90
2. Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей – без покрытия;	90	60–70–80–90
	105	60–80–90–110
– с покрытием оловом, серебром или никелем		
3. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов – без покрытия, в воздухе;	90	60–70–80–90
	105	60–80–90–110
	115	70–90–100–120
– с покрытием оловом, в воздухе; – с покрытием серебром или никелем, в воздухе		
4. Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше: соединения из меди, алюминия и их сплавов в воздухе без покрытий/с покрытием оловом – с разъемным контактным соединением, осуществляемым пружинами;	75/95	50–60–70–80/60–70–80–100
	90/105	60–70–80–90/60–80–90–110
	75	50–60–70–80
	105	60–80–90–110
– с разборным соединением (нажатие болтами или винтами), в том числе выводы предохранителя;		
– металлические части, используемые как пружины из меди;		
– из фосфористой бронзы и аналогичных сплавов		

мость регистрации нагрева. Важно отметить, что температура элементов электрооборудования зависит от тока нагрузки, который может меняться во времени. Таким образом, температура контактов (контактных соединений) также может изменять-

ся во времени, причем в довольно широком диапазоне. В связи с этим цветовой переход при достижении пороговой температуры должен происходить достаточно быстро, а термоиндикаторы должны быть устойчивы к множественным циклам нагрева

или охлаждения, сохранять окраску при охлаждении после срабатывания, а также не изменять исходный цвет при длительной эксплуатации. В полной мере таким требованиям отвечают только термоиндикаторы, в основу работы которых положен принцип фазового перехода. Такие индикаторы обычно покрыты плавким веществом преимущественно белого цвета. При достижении заданной температуры термочувствительное вещество расплавляется и впитывается в полимерное связующее. Это приводит к цветовому переходу «белый» (исходное вещество) — «прозрачный» (твердый раствор термочувствительного вещества в полимере). В результате срабатывания белый цвет наклейки заменяется рисунком подложки, находящимся под термочувствительным материалом.

Анализ характеристик предлагаемых предприятиями-изготовителями термоиндикаторов с учетом уровня применяемых материалов и технологий, результаты исследований и накопленный опыт применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок, а также анализ локальных нормативных актов различных организаций, применяющих термоиндикаторный контроль, позволяет сформулировать основные типовые требования к термоиндикаторным наклейкам для контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования при эксплуатации электроустановок ЗРУ.

Применение однотемпературного термоиндикатора, наклеенного на соответствующий узел, при визуальном осмотре по факту его срабатывания (изменения цвета) позволяет однозначно установить факт достижения наибольшей допустимой температуры нагрева контакта (контактного соединения) и соответственно выявить наличие аварийного состояния контакта (контактного соединения). При этом

необходимо подобрать термоиндикатор с соответствующей температурой срабатывания, значение которой должно соответствовать установленному наибольшему допустимому значению температуры нагрева для данного контакта (контактного соединения) в соответствии с табл. 1.

Из табл. 1 видно, что диапазон значений наибольших допустимых температур для контактов и контактных соединений в зависимости от применяемых материалов находится в пределах 75–120 °С. Современные термоиндикаторы, предлагаемые предприятиями-изготовителями, имеют точность срабатывания заданной температуры ±2 °С, что является достаточным для констатации факта наличия дефекта контакта (контактного соединения) при их применении.

Преимущество многотемпературных термоиндикаторов заключается в том, что они позволяют не только определить факт достижения одной установленной наибольшей допустимой температуры нагрева, но и зафиксировать определенный диапазон температур, до которой нагревался контакт (контактное соединение) в период между осмотрами, по факту срабатывания. Термоиндикаторы также позволяют оценить, что температура контакта (контактного соединения) не достигала определенных установленных значений за весь период эксплуатации электроустановки до ее осмотра, в том числе при любых значениях тока нагрузки и температуры окружающего воздуха, которые могли меняться в процессе эксплуатации.

На основании проведенного анализа и накопленного опыта эксплуатации термоиндикаторов представляется наиболее целесообразным проводить контроль состояния контактов (контактных соединений) по четырем температурам [10–12]. Следует отметить, что предлагаемые различными предприятиями-изготовителями термоиндикаторы с четырьмя диапа-

зонами температур срабатывания изготавливаются в различных вариантах исполнения.

Отсутствие срабатывания нижнего порогового значения термоиндикатора должно свидетельствовать об отсутствии развития дефекта контакта (контактного соединения) — при увеличении нагрузки электроустановки вплоть до номинальной контакт (контактное соединение) не переходил в аварийное состояние. Для оценки пороговой температуры, свидетельствующей об отсутствии развития дефекта контакта (контактного соединения), используются критерии оценки, приведенные в [3] для обнаружения развития дефектов по значениям превышения температуры [6].

Результаты проведенных исследований и обобщение опыта эксплуатации по тепловому контролю состояния контактов и контактных соединений позволяют оптимизировать выбор контролируемых диапазонов температур при применении термоиндикаторов в зависимости от установленных значений наибольшей допустимой температуры нагрева, а также дать рекомендации по оценке состояния контактов (контактных соединений) по результатам срабатывания (отсутствия срабатывания) термоиндикатора при визуальном осмотре.

В табл. 3 приведены рекомендуемые диапазоны контролируемых термоиндикатором температур контактов (контактных соединений) в зависимости от установленной наибольшей допустимой температуры нагрева.

На рис. 3 приведена диаграмма методологии оценки состояния контактов (контактных соединений) по результатам осмотра состояния термоиндикатора.

При оценке состояния контактов (контактных соединений) по результатам визуального осмотра термоиндикаторов следует отметить:

- температура срабатывания верхнего порогового значения термоиндикатора должна соответствовать установленной наибольшей допустимой температуре нагрева контакта (контактного соединения);
- наличие срабатывания всех пороговых значений термоиндикатора однозначно свидетельствует о наличии аварийного дефекта контакта (контактного соединения), так как максимальное (четвертое) пороговое значение срабатывания термоиндикатора свидетельствует о достижении установленной наибольшей температуры нагрева;
- при срабатывании термоиндикатора в 1–3 диапазоне температур при наличии данных о максимальной нагрузке в период времени от предыдущего до настоящего осмотра возможно оценить степень развития дефекта и при необходимости провести внеочередной контроль с помощью тепловизора;
- при визуальном осмотре термоиндикаторов целесообразно проводить сравнение состояния термоиндикаторов с соседними фазами.

Применение термоиндикаторов за счет непрерывности контроля теплового состояния и необратимости срабатывания позволяет при визуальном осмотре зафиксировать факт достижения/недостижения установленных пороговых значений, которые достигались/ не достигались за весь период времени от предыдущего до настоящего осмотра, в том числе при любых изменениях нагрузки электроустановки и изменениях температуры окружающего воздуха. Это является одним из значимых факторов целесообразности и эффективности применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ

Рис. 3

Состояние термоиндикатора*	$I_{\text{макс}} < 0,5 I_{\text{ном}}$	$I_{\text{макс}} = (0,5-0,75) I_{\text{ном}}$	$I_{\text{макс}} = (0,75-0,9) I_{\text{ном}}$	$I_{\text{макс}} > 0,9 I_{\text{ном}}$
	Отсутствие дефекта			
	Развившийся дефект	Начальная степень развития дефекта		
	Развившийся дефект	Начальная степень развития дефекта		
	Развившийся дефект			Начальная степень развития дефекта
	Аварийный дефект (достижение наибольшей допустимой температуры нагрева)			

*Диапазон температур срабатывания термоиндикатора выбирается в зависимости от установленной наибольшей допустимой температуры нагрева контакта (контактного соединения) в соответствии с табл. 3.

Выводы

1. Повышение эффективности своевременного обнаружения развития дефектов контактов и контактных соединений обеспечивает повышение надежности и безопасности эксплуатации электроустановок, снижает риск возгораний и пожаров.

2. Тепловой контроль контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторных наклеек позволяет осуществлять контроль их состояния без применения специальных средств измерений, при этом реализовывать методологию оценки состояния контактов и контактных соединений в соответствии с требованиями РД 34.15-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

3. Результаты исследований и накопленный опыт эксплуатации позволяет в достаточной степени оптимизировать и стандартизировать выбор и применение термоиндикаторов для оценки состояния контактов и контактных соединений в процессе эксплуатации электроустановок.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 14312-79. Контакты электрические. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1980.
- ГОСТ Р 53698-2009. Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010.
- РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1998.
- СТО ПАО «Россети» 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Утв.

- Распоряжением ПАО «Россети» от 29.05.2017 № 280 р.
- РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. М.: ПАО «ЕЭС России», 1999.
- Львов М. Ю., Никитина С. Д., Лесив А. В. Применение термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электрооборудования//Электрические станции. 2023. № 2. С. 44-51.
- Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. Приказом Минэнерго России от 04.10.2022 № 1070.
- Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Требования к объему и нормам испытаний электрооборудования» (проект). <https://regulation.gov.ru/projects#npa=113525>
- Иноземцев В.Е., Львов М.Ю., Лесив А.В. Оценка состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП с применением термоиндикаторов//Электроэнергия. Передача и распределение. 2022. № 5 (74). С. 102-108.
- СТО ООО «ТермоЭлектрика» 4041-29-003-2021. Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений, электрооборудования и ЛЭП с использованием термоиндикаторных наклеек. Зарегистрирован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (ФГБУ «РСТ») 18.03.2022 № 309-СТО.
- СТО АО «ОЭК» 76561356-29-004-2022. Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений, электрооборудования и линий электропередачи с использованием термоиндикаторных наклеек. Утв. приказом АО «ОЭК» от 19.05.2022 № 648.
- СТО ПАО «Россети» 34.01-12-002-2022. Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений электрооборудования с использованием термоиндикаторных наклеек. Утв. Распоряжением ПАО «Россети» от 24.11.2022 № 246 р.
- Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики. Утв. Приказом Минэнерго России от 25.10.2017 № 1013.
- Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903 н.

HEAT & ELECTRO MACHINERY

Международная выставка теплоэнергетического, электрогенерирующего, компрессорного оборудования для промышленных предприятий и муниципальных объектов

24-26.10.2023

ЦВК «Экспоцентр», Москва



Итоги выставки 2022 года:

4 864 целевых посетителя

120 участников из России, Республики Беларусь, Киргизии, Ирана, Китая

10 отраслевых мероприятий деловой программы



Забронируйте стенд на главной отраслевой выставке

machinery-fair.ru