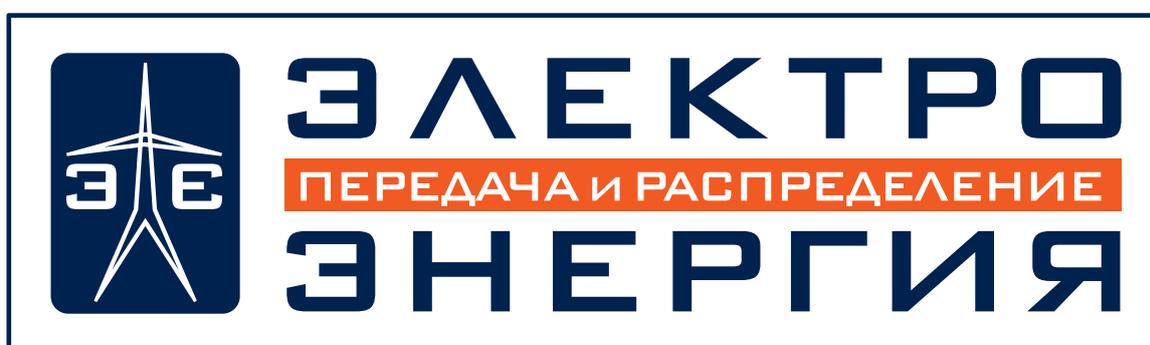


WWW.EEPiR.RU



ЖУРНАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Об организации теплового контроля контактных соединений электрооборудования 0,4–10 кВ в ПАО «Россети Московский регион»

УДК 621.315.6

В статье рассмотрены процессы развития дефектов контактных соединений электрооборудования 0,4–10 кВ с выявлением зависимостей изменения переходного сопротивления от времени и других влияющих факторов. Предложены методологические подходы к непрерывному мониторингу состояния контактных соединений с целью своевременного предупреждения развития дефектов, приводящих к авариям. Особое внимание авторами уделено практической реализации разработанных методов выявления дефектов в деятельности ПАО «Россети Московский регион». На основе применения термоиндикаторов в сочетании с технологиями производства работ под напряжением получен комплексный эффект повышения надежности распределительных электрических сетей 0,4–10 кВ с минимизацией времени обесточения потребителей.

Гвоздев Д.Б.,
к.т.н., доцент, первый
заместитель генерального
директора — главный
инженер ПАО «Россети
Московский регион»

Иванов Р.В.,
директор Департамента
эксплуатации сетей
0,4–20 кВ ПАО «Россети
Московский регион»

Севастьянов А.В.,
заместитель директора
Департамента эксплуатации
сетей 0,4–20 кВ
ПАО «Россети
Московский регион»

Болонов В.О.,
к.т.н., заместитель
начальника управления —
начальник отдела инноваций
и энергоэффективности
ПАО «Россети
Московский регион»

Ключевые слова:
надежность оборудования,
распределительные
электрические сети,
мониторинг состояния
контактных соединений,
переходное контактное
сопротивление, тепловой
контроль, производство
работ под напряжением,
термоиндикатор

Одной из наиболее распространенных причин технологических нарушений в электроустановках распределительных сетей 0,4–10 кВ является сверхнормативный нагрев контактных соединений элементов токоведущих частей электрооборудования. Актуальной задачей сетевой компании является организация контроля состояния контактных соединений с целью своевременного выявления возникших дефектов.

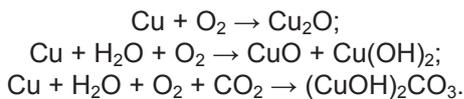
На рисунке 1 на примере болтового контактного соединения элементов токоведущих частей приведен эскиз [1], конструктивно отражающий любое контактное соединение в электроустановках 0,4–10 кВ. Состояние контактного соединения определяется значением переходного контактного сопротивления, которое зависит от площади контактирования и удельного сопротивления контактирующих поверхностей (на рисунке 1 на вставке показан участок контактной поверхности, представляющий из себя несколько контактных пятен, разделенных областями, в которых контакт отсутствует). В процессе эксплуатации переходное контактное сопротивление увеличивается в силу следующих причин:

- уменьшения площади соприкосновения проводников, например из-за ослабления нажима;
- возникновения в месте контакта оксидной пленки или нагара;
- разрушения поверхности металла из-за агрессивного воздействия химических веществ, электрохимического окисления и пр.

Согласно СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [2] тепловой контроль предусмотрен для всех типов контактов и контактных соединений. Однако чаще всего развитие дефектов наблюдается для контактов, выполненных из меди или алюминия без специальных покрытий и эксплуатируемых в изоляционной среде воздуха, болтовых контактных соединений из меди и алюминия, а также контактных соединений, выполненных методом обжатия.

Переходное сопротивление очень чувствительно к окислению поверхности, поскольку все окислы металлов являются диэлектриками. Рассмотрим процессы, происходящие при окислении медных контактов в атмосфере воздуха. Окисление алюминия, никеля, олова, серебра и других металлов будет описываться аналогичными уравнениями реакции.

Во влажном воздухе поверхность меди покрывается оксидной пленкой, гидроксидами и солями согласно уравнениям:



Удельное сопротивление у оксидов на несколько порядков больше, чем у чистых металлов. Для меди при 0°C значение удельного сопротивления составляет $\rho(\text{Cu}) = 1,62 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а для оксидов меди $\rho(\text{CuO}) = 8,2$ Ом·м, $\rho(\text{Cu}_2\text{O}) = 10^6\text{--}10^7$ Ом·м.

Скорость окисления металлов и, как следствие, скорость роста переходного контактного сопротивления подчиняется уравнению Аррениуса, которое устанавливает экспоненциальную зависимость константы скорости k химической реакции от температуры T :

$$k(T) = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (1)$$

где A — предэкспоненциальный множитель; E_a — энергия активации; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура. Значение энергии активации поверхностного окисления меди составляет 155–167 кДж/моль [3]. Для расчета константы скорости реакции, основанного на использовании экспериментальных данных по окислению меди при постоянной температуре [4], выведем формулу для относительного увеличения константы скорости окисления.

Пусть при температуре T_0 константа скорости окисления нам известна и согласно уравнению (1) будет равна:

$$k(T_0) = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT_0}}.$$

При изменении температуры на величину ΔT константа скорости окисления станет равной:

$$k(T_0 + \Delta T) = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R(T_0 + \Delta T)}}.$$

Разделив соответствующие части этих двух уравнений друг на друга, мы получим формулу относительного увеличения константы скорости окисления:

$$\frac{k(T_0 + \Delta T)}{k(T_0)} = \frac{e^{-\frac{E_a}{R(T_0 + \Delta T)}}}{e^{-\frac{E_a}{RT_0}}}, \quad (2)$$

где T_0 — температура, для которой известна скорость окисления; ΔT — разница между интересующей температурой T_0 .

Для использования формулы (2) необходимо знать значение константы скорости реакции окисления при температуре T_0 , близкой к интервалу интересующих нас температур. Окисление меди и изменение переходного контактного сопротивления в зависимости от времени были подробно экспериментально изучены в работе [4]. Согласно приведенным данным, рост значения переходного контактного сопротивления контактов, выполненных из меди, при температуре нагрева, равной 100°C, происходит в соответствии с зависимостью, представленной на рисунке 2.

На основании исходных данных [3] и [4] (значение энергии активации для меди и константы скорости реакции окисления) с использованием зависимости (2) можно определить зависимость скорости роста переходного контактного сопротивления от температуры (рисунок 3). Представленная на графике зависимость скорости окисления от времени отвечает

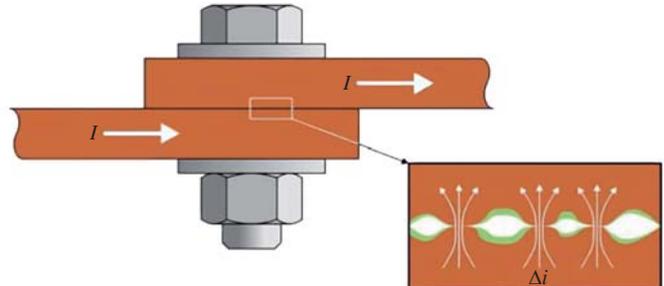


Рис. 1. Схематичное изображение болтового контактного соединения

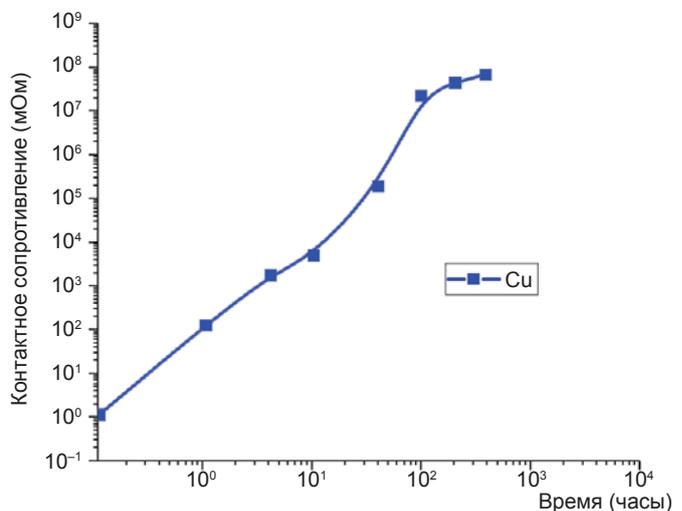


Рис. 2. Зависимость значения переходного контактного сопротивления контакта, выполненного из меди, от времени при температуре, равной 100°C (адаптировано из [3])

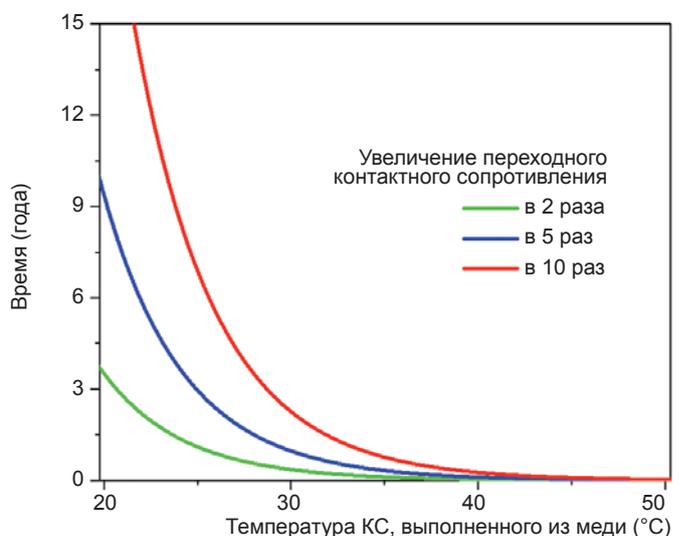


Рис. 3. Зависимость времени увеличения переходного контактного сопротивления в 2 раза (зеленая кривая), 5 (синяя кривая) и 10 (красная кривая) раз от температуры КС в соответствии с уравнением Аррениуса и экспериментальными данными работы [4]

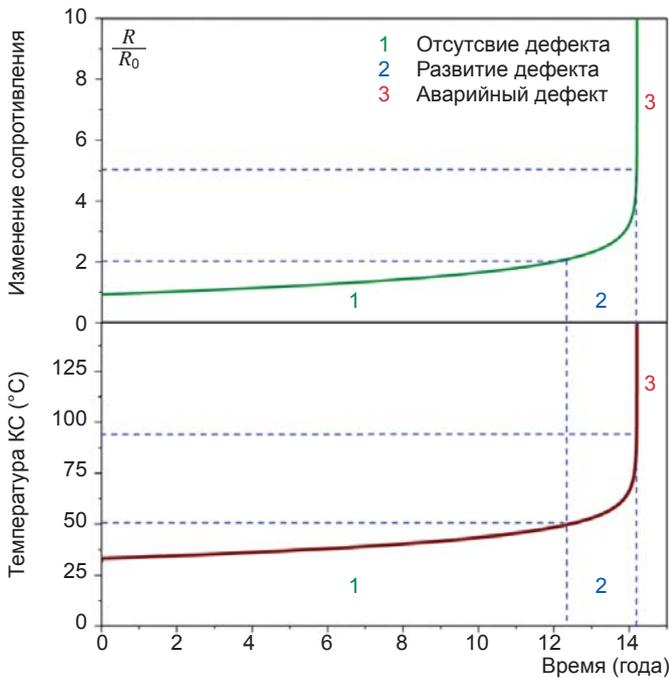


Рис. 4. Зависимости сопротивления (темно-зеленая кривая) и температуры (темно-красная кривая) контактного соединения от времени, рассчитанные на основании численного решения системы дифференциальных уравнений (3)

идеальному случаю: температура поверхности постоянна на протяжении всего времени эксплуатации, обеспечен беспрепятственный доступ воздуха к контактирующим поверхностям. На практике необходимо учитывать ряд других факторов, которые могут как увеличивать скорость окисления контакта (например, ослабление контакта из-за теплового расширения), так и замедлять ее (например, использование токопроводящих паст, ограничивающих доступ воздуха).

Из представленных кривых видно, что главным фактором, определяющим скорость роста переходного контактного сопротивления и, как следствие, срок службы контактного соединения, является температура.

Представленные на рисунке 3 кривые отражают скорость роста переходного контактного сопротивления при постоянной температуре. На практике нагрев контактного соединения током нагрузки приводит к ускорению окисления контактирующих поверхностей, что вызывает еще больший рост температуры, еще большее ускорение окисления и так далее. Таким образом, скорость роста переходного контактного сопротивления контактных соединений в реальных условиях эксплуатации имеет экспоненциальный характер.

Рассмотрим окисление контактного соединения в случае постоянного значения тока нагрузки, который в процессе роста переходного контактного сопротивления, будет приводить к увеличению температуры нагрева, а значит и к изменению константы скорости реакции окисления. В данной модели учтем отвод тепла в окружающую среду, а также уменьшение скорости окисления вследствие ограничения доступа к контактируемой поверхности с ростом толщины оксидной пленки. В этом случае изменения

температуры и переходного контактного сопротивления будут подчиняться системе дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dR(t)}{dt} = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R_s T(t)}} \cdot f(R(t)) \\ c \frac{dT(t)}{dt} = I^2 R - \alpha [T(t) - T_{\text{окр}}] \end{cases}, \quad (3)$$

где $T(t)$, $R(t)$ — зависимости температуры и переходного контактного сопротивления от времени; I — ток нагрузки; R_0 — начальное значение переходного сопротивления; R_s — универсальная газовая постоянная; $T_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды; α — эмпирический коэффициент теплоотдачи с поверхности контактного соединения; c — теплоемкость контактного соединения. Функция $f(R(t))$ предназначена для учета уменьшения скорости окисления вследствие ограничения доступа воздуха к контактирующим поверхностям, и ее значение должно уменьшаться с увеличением переходного контактного сопротивления. Точный вид данной функции будет зависеть от большого количества факторов (сила сжатия, наличие токопроводящей смазки, качество поверхностей и т.д.) и может быть определен экспериментально в каждом конкретном случае.

В настоящей работе авторами ставилась цель качественно показать развитие дефекта контактного соединения (зависимость значения переходного контактного сопротивления от температуры) при переходе от исправного состояния к аварийному дефекту. Для этого подбор вида функции проводился полуэмпирическим путем таким образом, чтобы полученные значения согласовывались с характерными временами развития дефектов.

Наиболее достоверным с точки зрения практического опыта при развитии аварийной стадии дефекта (при равном и постоянном токе нагрузки) является описание в виде степенной функции следующего вида:

$$f(R(t)) = \left(\frac{R_0}{R(t)} \right)^n. \quad (4)$$

Для численного решения системы (3) воспользуемся методом Рунге-Кутты 4-го порядка. В расчетах использовались следующие значения параметров, определяющих скорости остывания, нагрева и окисления контактного соединения: $c = 2 \cdot 10^3$ Дж/К; $\alpha = 1,25$ Дж/(К·с); $A = 3,0 \cdot 10^{17}$ Ом/с, $E_a = 167$ кДж/моль, $n = 2$.

Результаты расчетов для контактного соединения с начальным значением переходного контактного сопротивления, равного $R_0 = 1,5$ мОм при температуре окружающей среды $T_{\text{окр}} = 20^\circ\text{C}$ и токе нагрузки $I = 100$ А, представлены на рисунке 4.

Численное решение системы (3) позволяет определить характерное поведение значений переходного контактного сопротивления (темно-зеленая кривая) и температуры (темно-красная кривая) в зависимости от времени.

Представленная кривая может быть разделена на три стадии: плавного медленного роста, заметного ускорения нагрева и резкого нагрева:

- участок медленного роста температуры характерен для исправного контактного соединения и может длиться годы или десятки лет;
- участок заметного роста переходного контактного сопротивления, начинающийся при достижении температуры, равной примерно 50–60°C, и заканчивающийся достижением наибольшей допустимой температуры [2];
- дальнейшее быстрое разрушение контактного соединения, характеризующееся непрогнозируемым развитием, значительным нагревом и увеличением переходного контактного сопротивления.

На практике предсказать, сколько точно продлится зона нормальной работы контактного соединения, крайне сложно, так как это зависит от большого количества факторов, основным из которых является величина и динамика изменения тока нагрузки. Если ток нагрузки не превышает 50% от номинального значения и/или не сильно изменяется во времени, то доступ воздуха к контактной поверхности будет ограничен, а переходное контактное сопротивление может увеличиваться очень медленно.

В случае, когда контактное соединение работает в режиме значительных суточных колебаний тока нагрузки, в условиях воздействия токов короткого замыкания или при нагрузке, превышающей номинальное значение, контактное соединение начинает «дышать» из-за многократных циклов теплового сжатия-расширения и быстро входит сначала в стадию развивающегося дефекта, а затем становится аварийным (рисунок 4).

Таким образом, при диагностировании контактных соединений важно различать три стадии:

- нормальная работа (рост переходного контактного соединения менее чем в 2 раза);
- развитие дефекта (рост переходного контактного соединения в 2–5 раз);
- аварийный дефект (более чем 5-кратный рост переходного контактного сопротивления).

Важно отметить необходимость своевременного диагностирования контактных соединений, имеющих высокие значения переходного контактного сопротивления, и проведения их ремонта, поскольку вероятность разрушения такого контактного соединения с последующим возникновением электрической дуги при резком увеличении тока нагрузки или КЗ является очень высокой.

Поскольку измерение переходного контактного сопротивления контактных соединений при проведении технического обслуживания или ремонтов является трудоемкой задачей, оценка состояния контактных соединений проводится с помощью тепловых методов контроля: тепловизионного или термоиндикаторного. Оба метода являются косвенными и позволяют оценить значение переходного контактного сопротивления в соответствии с законом Джоуля-Ленца, который дает количественную оценку теплового действия электрического тока:

$$Q = I^2 R \cdot t. \quad (5)$$

Как видно из рисунка 4, объективным критерием отсутствия избыточного переходного контактного со-

противления является отсутствие избыточного нагрева в течение всего срока эксплуатации.

В этой связи при оценке состояния контактных соединений важно подчеркнуть необходимость контроля не только факта превышения наибольшей допустимой температуры, но и температуры, отвечающей начальной фазе развития дефекта.

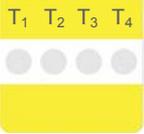
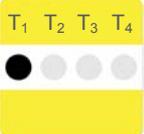
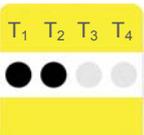
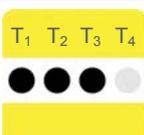
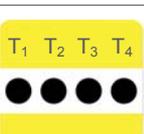
С целью организации мониторинга температурных параметров контактных соединений оборудования электроустановок 0,4–10 кВ, помимо проводимого тепловизионного контроля с применением тепловизоров и пирометров, в ПАО «Россети Московский регион» используется методика с применением необратимых многотемпературных термоиндикаторов. Преимущество необратимых термоиндикаторов заключается в осуществлении непрерывного контроля температуры и возможности фиксации факта превышения заданной пороговой температуры. Данный метод позволяет осуществить:

- оценку состояния контактов и контактных соединений без применения специальных средств измерений;
- контроль труднодоступных или недоступных для тепловизора (пирометра) элементов электрооборудования;
- регистрацию факта превышения наибольшей допустимой температуры элементом электроустановки в процессе эксплуатации;
- минимизацию ошибок диагностирования теплового контроля за счет непрерывного контроля температуры термоиндикаторной наклейкой, регистрации факта превышения или непревышения наибольшей допустимой температуры;
- выявление дефектов контактов и контактных соединений путем визуальной оценки срабатывания термоиндикаторов при плановых и внеплановых осмотрах электроустановок оперативным, оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом;
- выявление дефектов электрооборудования на ранних стадиях развития;
- повышение надежности и безопасности работы электроустановок;
- повышение уровня пожарной безопасности в электроустановках;
- оптимизацию затрат на проведение теплового контроля электроустановок с применением тепловизоров и пирометрических приборов.

Конструктивно необратимый термоиндикатор представляет собой гибкую самоклеящуюся пластину из ПВХ с нанесенным в центральной части термочувствительным материалом. При нагреве выше пороговой температуры термоиндикатор необратимо изменяет цвет с белого на черный.

Применяемые в филиалах компании многотемпературные термоиндикаторы в зависимости от количества сработавших температурных меток позволяют производить оценку состояния контактов и контактных соединений элементов электрооборудования и определять степень развития дефекта (рисунок 5).

В зависимости от степени развития дефекта разрабатываются мероприятия и определяются

Состояние ТИН	$I_{\text{макс}} < 0,5 I_{\text{ном}}$	$I_{\text{макс}} = 0,5-0,75 I_{\text{ном}}$	$I_{\text{макс}} = 0,75-0,9 I_{\text{ном}}$	$I_{\text{макс}} > 0,9 I_{\text{ном}}$
	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)			

- Начальная степень развития дефекта — следует держать под контролем и принимать меры по устранению во время проведения технического обслуживания или ремонта.
- Развившийся дефект — необходимо принять меры по устранению дефекта при ближайшем выводе электрооборудования из работы.
- Аварийный дефект — требует немедленного устранения.

Рис. 5. Оценка состояния контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторов

сроки устранения дефекта. Также в случаях срабатывания термочувствительных меток термоиндикаторов в зависимости от мест их установки можно определить причину развивающегося дефекта. Например:

- изменение цвета только одного из термоиндикаторов, установленных на контактных соединениях коммутационного аппарата 0,4–10 кВ (вероятная причина — дефект болтового соединения контакта);
- изменение цвета термоминдикаторов на входном и выходном контактом соединении фазы коммутационного аппарата 0,4–10 кВ (вероятная причина — перегрузка фазы по току);
- изменение цвета термоиндикатора, установленного на нулевом проводнике в электроустановках 0,4 кВ (вероятная причина — перекос в сети по напряжению).

Соответственно, своевременное выявление дефекта позволяет оперативно принять меры по устранению неисправности, тем самым минимизировать количество и продолжительность времени обесточения потребителей, что не влечет за собой ухудшение показателей SAIDI и SAIFI.

Исходя из опыта производства работ по установке термоиндикаторов в электроустановках 0,4–10 кВ, были выбраны следующие типоразмеры индикаторов:

- для контроля нагрева контактов коммутационных аппаратов и кабельных наконечников — температурный ряд 50–60–70–80°C, с размерами 15×20 мм и 30×30 мм;
- для контроля нагрева болтовых контактных соединений шин и вводов силовых трансформаторов — температурный ряд 60–70–80–100°C, с размерами 15×20 мм и 30×30 мм.

Необходимо отметить, что установка термоиндикаторов в электроустановках в большинстве случаев не требует дополнительных трудозатрат и проводится в процессе проведения капитального ремонта либо при техническом обслуживании оборудования электроустановок. На рисунках 6 и 7 показаны примеры установки термоиндикаторов на контактах и контактных соединениях электрооборудования 0,4–10 кВ.

Принимая во внимание скорость и характер развития дефектов контактных и контактных соединений, с точки зрения своевременного выявления дефектов и снижения риска возникновения отказов и возгораний целесообразно приоритетно проводить установку индикаторов на действующем электрооборудовании, контакты и болтовые контактные соединения которого не обслуживались длительное время. Ранее установка термоиндикаторов проводилась толь-



Рис. 7. Фотографии термоиндикаторов, установленных на контактах и контактных соединениях электрооборудования 0,4–10 кВ

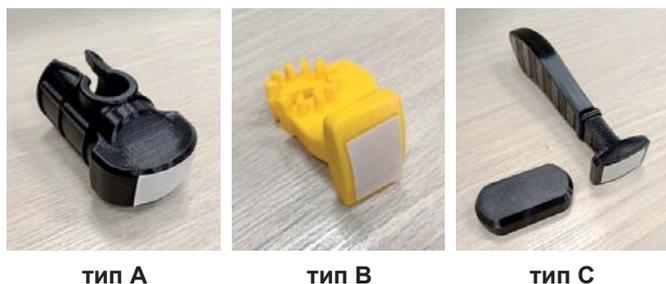
ко при выводе оборудования в ремонт со снятием напряжения.

ПАО «Россети Московский регион» является лидером среди ДО ПАО «Россети» в отношении внедрения и применения в распределительных сетях 0,4–10 кВ схем и методов производства работ под напряжением. Так, технологии производства работ по схеме «токоведущая часть электроустановки под напряжением — изоляция — человек — земля» методом «в контакте» в электроустановках до 1000 В обучен персонал всех мобильных бригад районов электрических сетей филиалов, а методом на расстоянии в электроустановках выше 1000 В — персонал не менее чем двух мобильных бригад в каждом из районов электрических сетей филиалов. На основании наработанного опыта и приобретенных компетенций производства работ под напряжением, а также улучшения индикативных показателей SAIDI и SAIFI специалистами компании были разработаны технологии по монтажу термоиндикаторов в электроустановках до 1000 В методом «в контакте», а в электроустановках выше 1000 В — методом «на расстоянии». Совместно с производителями термоиндикаторов прорабатывались различные

конструктивные решения по изготовлению специальных насадок. Насадки необходимы для закрепления на них терминдикаторов с последующим монтажом на контактные соединения элементов токоведущих частей электрооборудования. В случае установки термоиндикаторов на оборудование до 1000 В монтаж производится непосредственно с использованием любого типа насадок (рисунок 8) и диэлектрических перчаток, в случаях установки на оборудование выше 1000 В монтаж производится посредством установки насадок типов А и В на диэлектрические изолирующие штанги. При проведении испытаний разработанных конструкций было отмечено, что с точки зрения безопасности и надежности крепления термоиндикаторов наиболее эффективными являются насадки с клеевой фиксацией лицевой стороны наклейки и закругленной площадкой нанесения, позволяющие устанавливать термоиндикаторы на любые контактные соединения электроустановок 0,4–10 кВ.

Такие насадки позволяют безопасно для персонала закреплять и разглаживать индикаторные наклейки на узлах электрооборудования со сложной формой поверхности, имеют небольшой размер, не позволяющий им цепляться за выступающие элементы электрооборудования или осуществить перекрытие токопроводящих элементов разных потенциалов.

Монтаж термоиндикаторов под напряжением не предусматривает обезжиривание и специальную очистку поверхности контролируемого узла. В этой связи к термоиндикаторам помимо базовых технических требований, указанных в статье [5] и стандартах [6–9], предъявляются дополнительные требования: высокое значение адгезии, составляющее не менее 30 Н / 25 мм, а также высокая эластич-



тип А

тип В

тип С

Рис. 8. Типы специальных насадок

ность полимерной основы, обеспечивающие плотное прилегание всей поверхности термоиндикатора к поверхности контролируемого узла. В ходе проведенных исследований было установлено, что для надежного размещения наклейки лицевой стороной к насадке, а также для свободного размещения наклейки при ее монтаже на токопроводящем элементе адгезия клеевого слоя насадки должна быть существенно меньше адгезии клеевого слоя термоиндикаторной наклейки. Начиная с 2023 года, при проведении технического обслуживания электроустановок 0,4–10 кВ в зависимости от местных условий установка необратимых термоиндикаторов проводится под напряжением (рисунок 9).

Допускается совмещение работ по монтажу термоиндикаторов с производством других работ под напряжением, например проведением работ по сухой и влажной чистке силовых трансформаторов, электрооборудования РУ 0,4–10 кВ и т.д.

ВЫВОДЫ

Внедрение методики теплового контроля контактных соединений электроустановок напряжением 0,4–10 кВ с использованием многотемпературных необратимых термоиндикаторов позволило:

- существенно повысить выявляемость дефектов контактов и контактных соединений, в том числе на ранних стадиях, а также снизить риски отказов и возгорания в электроустановках;
- осуществлять оценку состояния контактных соединений без применения специальных средств измерений;
- регистрировать факты превышения наибольшей допустимой температуры контактного соединения в процессе эксплуатации;
- производить анализ распределения межфазной нагрузки электрических сетей 0,4–10 кВ;
- своевременно разрабатывать и реализовывать мероприятия по устранению выявленных дефектов.



Рис. 9. Установка термоиндикаторов под напряжением

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 10434-82. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007235>.
2. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Утв. распоряжением ПАО «Россети» от 29.05.2017 № 280 р. URL: <https://svel.ru/tekhnicheskaya-dokumentaciya/otraslevye-standarty/sto-34-01-23-1-001-2017/>.
3. Pinnel M.R., Tompkins H.G., Heath D.E. Oxidation of copper in controlled clean air and standard laboratory air at 50°C to 150°C. Applications of Surface Science, 1979, vol. 2, pp. 558-577.
4. Aindow M., Alpay S.P., Liu Y., Mantese J.V., Senturk B.S. Base metal alloys with self-healing native conductive oxides for electrical contact materials. Applied Physics Letters, 2010, vol. 97, no.15, p. 152103.
5. Львов М.Ю., Никитина С.Д., Львов Ю.Н., Лесив А.В. О стандартизации требований к термоиндикаторному контролю состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок // Энергия единой сети, 2023, № 1(68). С. 66–74.
6. СТО 34.01-12-002-2023. Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений электрооборудования с использованием термоиндикаторных наклеек. Утв. распоряжением ПАО «Россети» от 31.10.2023 № 472. М.: ПАО «Россети», 2023. 108 с.
7. СТО 02.02.146-2023. Необратимые термоиндикаторы. Общие технические требования. Методики оценки технического состояния контактов, контактных соединений электрооборудования и ЛЭП с помощью термоиндикаторов. Утв.

и введен в действие приказом ПАО «РусГидро» от 21.04.2023 № 273. URL: <https://rushydro.ru/activity/safety/library/teksty->

deystvuyushchikh-standartov-pao-rusgidro/.

8. СТО ИНТИ М.130.1-2023. Методические указания по контролю

состояния контактов и контактных соединений. URL: <https://inti.expert/docs/energeticheskoe-oborudovanie/sto-inti-m-130-1-2023/>.

REFERENCES

1. State standard GOST 10434-82. Electric contact connections. Classification. General technical requirements. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007235>
2. Company standard STO 34.01-23.1-001-2017. The scope and the norms of equipment testing. Approved by the order of PJSC Rosseti dated 29.05.2017 no. 280 p. URL: <https://svet.ru/tekhnicheskaya-dokumentaciya/otraslevye-standarty/sto-34-01-23-1-001-2017/>.
3. Pinnel M.R., Tompkins H.G., Heath D.E. Oxidation of copper in controlled clean air and standard laboratory air at 50°C to 150°C. Applications of Surface Science, 1979, vol. 2, pp. 558-577.
4. Aindow M., Alpay S.P., Liu Y., Mantese J.V., Senturk B.S. Base metal alloys with self-healing native conductive oxides for electrical contact materials. Applied Physics Letters, 2010, vol. 97, no.15, p. 152103.
5. L'vov M.Yu., Nikitina S.D., L'vov Yu.N., Lesiv A.V. On standardization of requirements to thermal monitoring of the contacts' and contact joints' condition in electric installation operation // *Energiya yedinoj seti* [Energy of the Unified Grid], 2023, no. 1(68), pp. 66-74. (In Russian)
6. Company standard STO 34.01-12-002-2023. Methodical guidelines on electric equipment contacts' and contact joints' condition monitoring with the help of thermal-indicating tapes. Approved by the order of PJSC Rosseti dated 31.10.2023 no. 472. Moscow, PJSC Rosseti, 2023. 108 p. (In Russian)
7. Company standard STO 02.02.146-2023. Irreversible thermal indicators. General technical requirements. Procedures of assessing the technical condition of contacts and contact joints of electric equipment and overhead transmission lines by means of thermal indicators. Approved and effective by the order of PJSC RusHydro dated 21.04.2023 no. 273. URL: <https://rushydro.ru/activity/safety/library/teksty-deystvuyushchikh-standartov-pao-rusgidro/>.
8. Company standard STO INTI M.130.1-2023. Methodical guidelines on contacts' and contact joints' condition monitoring. URL: <https://inti.expert/docs/energeticheskoe-oborudovanie/sto-inti-m-130-1-2023/>.



Э Л Е К Т Р О
Т Р А Н С

13-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОБИЛЬНОСТЬ ПРОДУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА И МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Проводится в рамках Российской недели
общественного транспорта и городской мобильности

www.publictransportweek.ru



26–28 ИЮНЯ 2024
МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.electrotrans-expo.ru