

Оценка состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП с применением термоиндикаторов

По материалам

VII Всероссийской конференции
«РАЗВИТИЕ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ»

Рассматривается применение термоиндикаторных наклеек для осуществления теплового контроля контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП. Приводится методология проведения оценки состояния контактов и контактных соединений при использовании термоиндикаторов, позволяющая реализовывать методики тепловизионного контроля контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП в соответствии с требованиями РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

Иноземцев В.Е., заместитель директора по технической политике и аудиту — руководитель Департамента технической политики и стандартизации производственных процессов АО «ОЭК»

Львов М.Ю., д.т.н., директор по технической политике и аудиту АО «ОЭК»

Лесив А.В., генеральный директор ООО «ТермоЭлектрика»

Одним из актуальных вопросов при эксплуатации электрооборудования и ЛЭП является контроль и оценка состояния контактов и контактных соединений (КС) токоведущих частей. При этом своевременное выявление дефектных контактов и КС позволяет предотвратить не только технологические нарушения и аварии, сопровождающиеся повреждением оборудования, но также возгорания и пожары в электроустановках.

Согласно закону Джоуля-Ленца, количество выделяемого тепла напрямую связано с ростом переходного сопротивления в контактах и контактных соединениях, а также с величиной нагрузочного тока, проходящего через контакты и КС:

$$Q = I^2 R t,$$

где Q — количество теплоты; I — сила тока; R — сопротивление цепи; t — время.

Таким образом, в процессе эксплуатации электроустановок основным фактором, влияющим на состояние контактов и КС является рост переходного сопротивления контакта и КС, обусловленного следующими основными дефектами:

- уменьшение площади контакта или контактного соединения из-за ослабления нажима;
- некачественная сварка/пайка контактного соединения;
- возникновение (появление) оксидной пленки или нагара из-за окисления металла на воздухе под воздействием температуры или разрядов;
- разъедание или коррозия металла из-за агрессивного воздействия химических веществ, электрохимического окисления и других факторов.

Основной задачей контроля состояния контактов и КС токоведущих

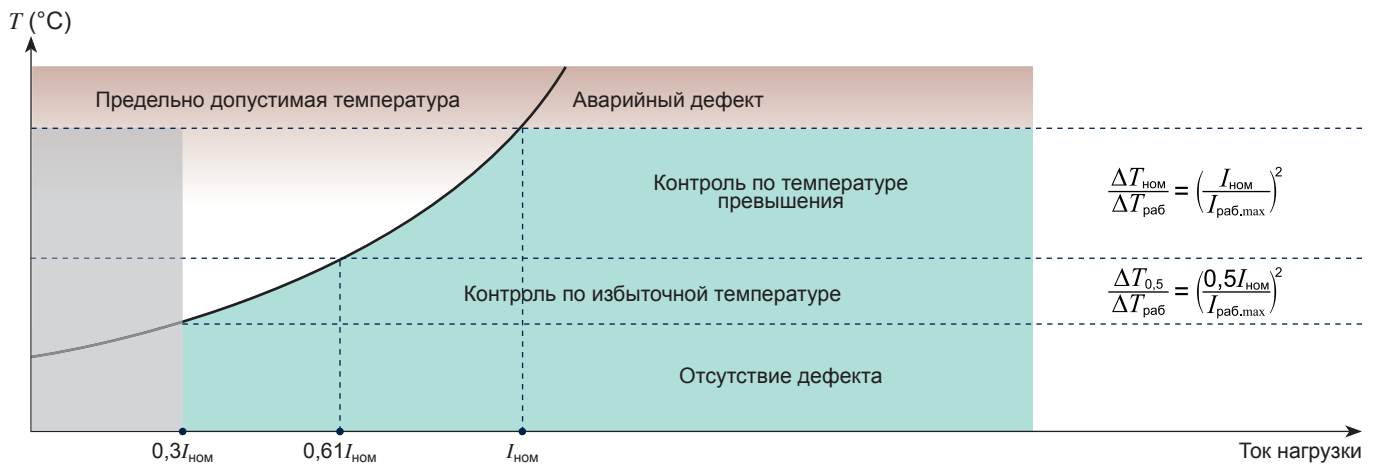


Рис. 1. Диаграмма контроля контактов и КС в зависимости от величины нагрузочного тока и превышения температуры нагрева

частей электроустановок и ЛЭП является проведение теплового контроля, позволяющего выявить развитие дефектов, связанных с увеличением переходного сопротивления. Рост переходного сопротивления может приводить к избыточному нагреву контакта и КС и, как следствие, к развитию повреждения.

Действующими нормативно-техническими документами определены требования по проведению теплового контроля контактов и КС.

В Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [1] указано требование о проведении испытаний и измерений в соответствии с РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

В РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [2]:

- указано требование о проведении тепловизионного контроля контактов и КС электрооборудования и ЛЭП;
- приведены методы оценки теплового состояния контактов и КС;
- приведены нормируемые наибольшие допустимые значения температур нагрева, превышений температуры и избыточной температуры не только для различных видов контактов и КС, но и для других элементов электрооборудования, ВЛ и КЛ;
- приведены требования по периодичности проведения тепловизионного контроля, перечислено электрооборудование и элементы, подвергающиеся обязательному тепловизионному контролю.

В ГОСТах (ГОСТ 8865-93, ГОСТ 8024-90, ГОСТ 10693-81, ГОСТ 2213-79, ГОСТ 10434-82, ГОСТ 16708-84, ГОСТ 2585-81, ГОСТ 32397-2020, ГОСТ 26346-84, ГОСТ 839-2019, ГОСТ Р 51321.1-2007 и др.) приведены наибольшие допустимые температуры нагрева контактов и КС для различных видов оборудования и материалов, применяемых для изготовления контактов и КС.

Согласно РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [2] для осуществления тепловизионного контроля контактов и КС рекомендовано использовать тепловизоры с применением следующих методик оценки состояния контактов и КС:

- при токах нагрузки $(0,6-1)I_{НОМ}$ — по наибольшему допустимому значению нагрева или наибольшему допустимому превышению температуры;
- при токах нагрузки $(0,3-0,6)I_{НОМ}$ — по избыточной температуре;
- по коэффициенту дефектности;
- по динамике изменения температуры во времени и/или изменения нагрузки путем сравнения измеренных значений температуры в пределах фазы, между фазами, с заведомо исправными участками и т.п. в соответствии с указаниями отдельных пунктов РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

При этом указывается, что тепловизионный контроль электрооборудования и токоведущих частей при токах нагрузки $0,3I_{НОМ}$ и ниже не способствует выявлению дефектов.

На рисунке 1 приведена диаграмма контроля контактов и КС в зависимости от величины нагрузочного тока и превышения температуры нагрева.

Согласно РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [2] в случае недостижения температуры нагрева контакта или КС наибольшей допустимой температуры нагрева (предельной допустимой), соответствующей наличию аварийного дефекта, при токах нагрузки, проходящих через контакты и КС в пределах $(0,6-1)I_{НОМ}$, тепловизионный контроль должен осуществляться по превышению температуры нагрева контакта или КС над температурой окружающей среды методом пересчета измеренного к нормированному значению, исходя из соотношения:

$$\frac{\Delta T_{НОМ}}{\Delta T_{раб}} = \left(\frac{I_{НОМ}}{I_{раб}} \right)^2, \quad (1)$$

где $\Delta T_{НОМ}$ — превышение температуры при $I_{НОМ}$; $\Delta T_{раб}$ — превышение температуры при рабочем токе нагрузки $I_{раб}$; $I_{НОМ}$ — номинальный ток электрооборудования; $I_{раб}$ — рабочий ток электрооборудования.

При токах нагрузки, проходящих через контакты и контактные соединения в пределах $(0,3-0,6)I_{НОМ}$, тепловизионный контроль должен осуществляться по избыточной температуре, то есть по разнице превышения температуры контролируемого контакта или КС над температурой окружающей среды

над превышением температуры другого контакта или КС, работающих в одинаковых условиях. При этом превышение температуры нагрева контакта или КС над температурой окружающей среды осуществляется методом пересчета, но теперь уже измеренного значения к нормированному значению, пересчитанному на $0,5I_{\text{НОМ}}$ в соответствии с соотношением:

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{\text{раб}}} = \left(\frac{0,5I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{раб}}} \right)^2, \quad (2)$$

где $\Delta T_{0,5}$ — превышение температуры при $0,5I_{\text{НОМ}}$; $\Delta T_{\text{раб}}$ — превышение температуры при рабочем токе нагрузки $I_{\text{раб}}$; $I_{\text{НОМ}}$ — номинальный ток нагрузки электрооборудования; $I_{\text{раб}}$ — рабочий ток электрооборудования.

Метод оценки состояния контактов и КС по коэффициенту дефектности, то есть по отношению измеренного превышения температуры контакта или КС к превышению температуры, измеренному на целом участке шины (провода), отстоящем от контакта или КС на расстояние не менее 1 м, не зависит от величины нагрузочного тока, но на практике применяется, как правило, в отношении КС и не применяется в отношении контактов ввиду неинформативности данного метода по отношению к контактам из-за особенностей их конструктивного исполнения.

Нормативные значения по наибольшим (предельным) допустимым значениям температурам нагрева, по превышению температуры, избыточной температуре и коэффициенту дефектности приведены в РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [2] и различных ГОСТах.

Следует отметить, что метод теплового контроля контактов и КС с применением тепловизоров имеет значительный многолетний опыт применения, показавший эффективность и целесообразность его применения. Вместе с тем, следует отметить особенности его применения:

- необходимость наличия специального оборудования — тепловизора;
- трудоемкость проведения тепловизионного контроля;
- необходимость наличия специально обученного квалифицированного персонала;
- возможность проведения контроля температуры контакта и КС только в момент измерений;
- невозможность оценки максимальной температуры, до которой происходил нагрев контакта (КС) в период между проведением измерений;
- невозможность проведения контроля с помощью тепловизора в недоступных и труднодоступных местах.

В последнее время растет интерес к использованию термоиндикаторов для оценки состояния контактов и КС. При этом следует отметить рост предложений по видам и номенклатуре термоиндикаторов от производителей как в нашей стране, так и за рубежом — в первую очередь, термоиндикаторных наклеек.

Следует отметить, что номенклатура изготавливаемых термоиндикаторов имеет широкую линейку различных видов (наклейки, краски, кембрики, изолянты и пр., изменяющие цвет под воздействием определенной температуры).

При этом, принципиально все виды термоиндикаторов подразделяются по типам на 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), а по классификации подразделяются по принципу действия на химические (изменяющие цвет за счет протекания химической реакции) и термоиндикаторы плавления (изменяющие цвет в связи с фазовым переходом/плавлением специального термочувствительного компонента).

Термоиндикаторы плавления обычно выполнены в форме наклеек, покрытых плавким веществом преимущественно белого цвета.

Для целей теплового контроля контактов и КС целесообразно применять (и как правило используются) только термоиндикаторы плавления в виде термоиндикаторных наклеек.

Следует отметить, что применение термоиндикаторных наклеек для контроля контактов и контактных соединений имело определенный опыт применения еще в последние десятилетия прошлого столетия, однако широкого распространения так и не получило, чему способствовал ряд обстоятельств:

- отсутствие методик контроля состояния контактов и КС с использованием термоиндикаторов;
- отсутствие требований и стандартов к термоиндикаторам;
- высокая стоимость;
- маленькая площадь термочувствительного компонента (вещества) и, как следствие, малая заметность для глаза;
- недостаточная величина адгезии;
- материал основы (как правило, бумага) являлся недолговечным и опасным для применения ввиду возможного возникновения КЗ при отклеивании;
- появление тепловизоров, пирометров и методики инфракрасной диагностики электрооборудования.

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

Целесообразность применения термоиндикаторных наклеек (ТИН) для теплового контроля контактов и КС токоведущих частей электроустановок и ЛЭП заключается в их следующих возможностях:

- выполнение непрерывного контроля температуры и фиксация максимальной температуры нагрева;
- выполнение температурного контроля в труднодоступных или недоступных местах;

- проведение визуального осмотра электротехническим персоналом из числа оперативного, оперативно-ремонтного и ремонтного персонала;
- выявление дефекта контактов и КС путем визуального осмотра по факту изменения цвета термоиндикаторной наклейки.

При этом следует отметить, что до сих пор в электроэнергетике отсутствует нормативная база, в том числе методика оценки состояния контактов и КС при помощи ТИН и технические требования к ТИН.

Конструктивно современные ТИН представляют собой гибкую самоклеящуюся пластину из полимерного материала с нанесенным в центральной части термочувствительным компонентом (веществом) в виде белых точек, полосок или иных форм с заданной температурой или температурной шкалой. На рисунках 2 и 3 приведены примеры исполнения однотемпературных и многотемпературных ТИН.

ТИН могут выполняться в различном цветовом исполнении, что позволяет одновременно осуществлять цветовую маркировку фаз.

Принцип работы ТИН основан на фазовом переходе (плавлении) нанесенного термочувствительного компонента (вещества) с его последующим растворением в полимерном связующем или материале наклейки.

Такой принцип работы позволяет исключить факт сохранения белого цвета наклейки (отсутствия срабатывания) при превышении заданной пороговой температуры, а также возвращения исходного белого цвета при охлаждении. При воздействии температуры, превышающей заданную на ТИН (в виде одной температуры или температурной шкалы), происходит необратимое изменение цвета термочувствительного компонента (вещества) на поверхности ТИН с белого на черный (рисунки 4 и 5).

Следует отметить, что применение однотемпературных ТИН для теплового контроля контактов и КС имеет следующие недостатки, а именно:

- при применении однотемпературных ТИН с температурой срабатывания, соответствующей наибольшей (предельной) допустимой температуре, — это большая вероятность несрабатывания ТИН ввиду того, что в процессе эксплуатации данная температура

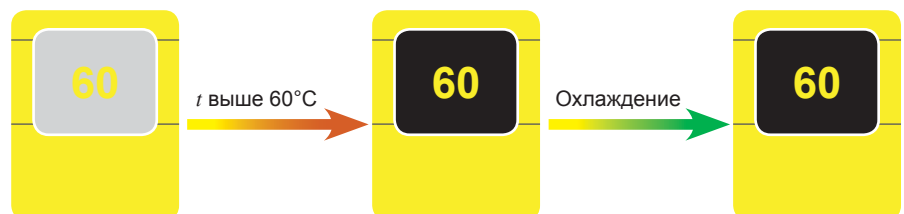


Рис. 4. Пример срабатывания однотемпературного ТИН

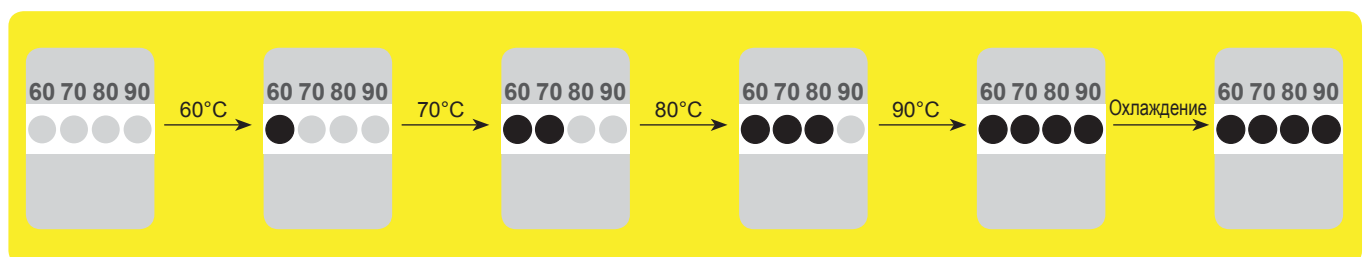


Рис. 5. Пример срабатывания многотемпературного ТИН



Рис. 2. Внешний вид однотемпературных ТИН

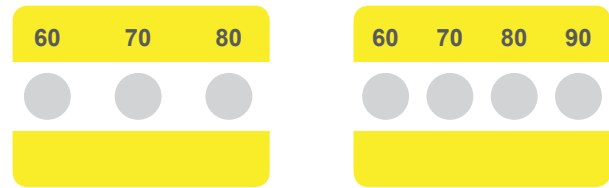


Рис. 3. Внешний вид ТИН с температурной шкалой

нагрева может не достигаться в связи с недостижением тока нагрузки значения, равного $I_{ном}$;

- при применении однотемпературных ТИН с температурой срабатывания, превышающей только температуру окружающей среды, получаемая информация для оценки состояния контактов и КС оказывается недостаточной, так как дает возможность только оценить — достигала ли температура нагрева температуры, нанесенной на ТИН, без возможности определения степени развития дефекта контакта и КС.

Таким образом на практике, ввиду наличия вышеуказанных недостатков и отсутствия методики по оценке состояния контактов и КС с применением ТИН, однотемпературные ТИН показали свою малоэффективность и ограниченность в применении, так как устанавливались с температурой срабатывания, соответствующей наибольшей (предельной) допустимой, которая, как правило, не достигалась, или с некой экспертно выбранной температурой, превышающей температуру окружающей среды.

При этом следует отметить, что однотемпературные ТИН могут применяться в электроустановках, работающих с неизменной номинальной нагрузкой и при относительно постоянной температуре окружающей среды, а также в щитовых сборках жилых зданий ввиду стесненных условий, но при этом выбор однотемпературных ТИН по тем-

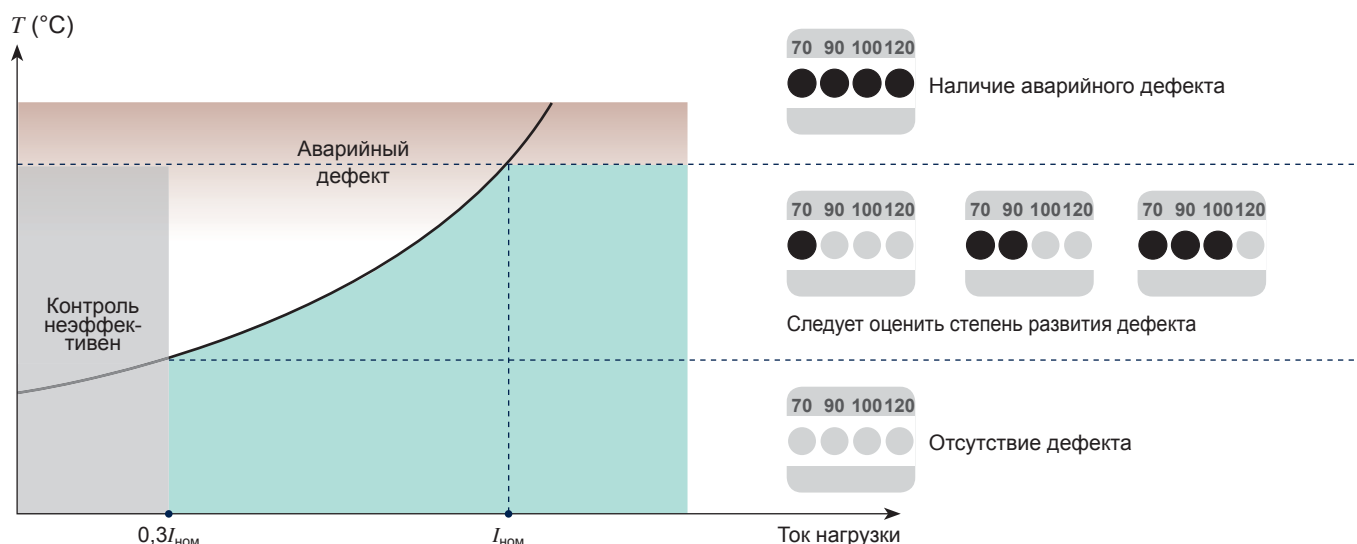


Рис. 6. Методология оценки состояния контактов (КС) с применением многотемпературных ТИН

пературе срабатывания (изменению цвета) должен быть осуществлен с учетом величины проходящего через контакт или КС тока нагрузки и температуры окружающей среды:

$$T_{\text{сраб}} = \Delta T_{\text{раб}} + T_{\text{окр.возд}}, \quad (3)$$

где $\Delta T_{\text{раб}}$ должна быть определена на основе метода пересчета, измеренного к нормированному значению, исходя из соотношений (1) или (2) в зависимости от величины тока нагрузки.

В то же время многотемпературные (4-индикаторные или 3-индикаторные ТИН) достаточно информа-

тивны и позволяют при плановых и внеплановых осмотрах электроустановок оперативным персоналом:

- визуально установить отсутствие или наличие дефекта;
- определить динамику роста максимальной температуры нагрева контакта и КС, то есть динамику развития дефекта по количеству сработанных точек ТИН;
- произвести оценку состояния контакта и КС, используя различные методы оценки состояния, приведенные в РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

Табл. 1. Расчетные температурные диапазоны многотемпературных ТИН

Наибольшая допустимая температура нагрева, °С	Температурная шкала многотемпературных ТИН, °С	
	3-температурные	4-температурные
60	50–60–70	50–55–60–70
65	50–60–70	50–55–60–70
70		
75	50–70–80	50–60–70–80
80		
85	60–80–90	60–70–80–90
90		
95	60–80–100	60–70–80–100
100		
105	60–90–110	60–80–90–110
110		
115	70–100–120	70–90–100–120
120		
125	70–110–130	70–90–110–130
130		
135	80–120–140	80–100–120–140
140		
145	80–120–150	80–100–120–150
150		



Рис. 7. Примеры установки многотемпературных ТИН

На рисунке 6 приведена диаграмма, иллюстрирующая методологию оценки состояния контактов и КС с использованием многотемпературных ТИН.

Используя метод выбора ТИН по температуре срабатывания на основе соотношений (1) и (3), в таблице 1 приведены расчетные температурные диапазоны многотемпературных ТИН с температурной шкалой срабатывания в зависимости от нормируемой наибольшей (предельной) допустимой температуры нагрева контакта или КС при токе нагрузки в диапазоне $(0,6-1)I_{ном}$.

При малых токах нагрузки $(0,3-0,6)I_{ном}$, согласно методу выбора ТИН по температуре срабатывания на основе соотношений (2) и (3) и согласно РД «Объем и нормы испытаний электрооборудова-

ния», расчетным путем определено, что достаточно применять один вид многотемпературной ТИН с температурной шкалой 50–60–70–80°C или 50–60–70°C (при невозможности установки 4-температурной ТИН).

На рисунке 7 показаны примеры установки многотемпературных ТИН в электроустановках.

В настоящее время АО «ОЭК» совместно с ООО «ТермоЭлектрика» разработан и введен в действие стандарт организации АО «ОЭК» «Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений, электрооборудования и линий электропередачи с использованием термоиндикаторных наклеек».

Стандарт разработан с целью установления подхода к выбору, монтажу и эксплуатации ТИН для

 **Челэнергоприбор**

+7 (351) 211-54-01

info@limi.ru

www.limi.ru

МИКРОМЕТР ИКС-200А ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



Измерение болтовых, сварных, контактных сопротивлений током до 200 А



Измерение переходных сопротивлений контактов высоковольтных выключателей, в том числе со встроенными трансформаторами тока



Контроль сопротивления метровых отрезков кабеля при приемке

На правах рекламы




ООО «ЧЕЛЭНЕРГОПРИБОР» — ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ПРИБОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

организации теплового контроля контактов и контактных соединений электроустановок и содержит:

- технические требования к ТИН;
- требования к выбору, монтажу и эксплуатации ТИН;
- методы теплового контроля контактов и КС электрооборудования, ЛЭП и других элементов (узлов) электроустановок с применением ТИН;
- требования к периодичности проведения визуального осмотра ТИН для осуществления теплового контроля;
- требования к предельно-допустимым значениям температуры нагрева и превышения температуры контактов и КС, электрооборудования, ЛЭП и других элементов (узлов) электроустановок;

- требования к порядку действий эксплуатационного персонала при обнаружении срабатываний ТИН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Тепловой контроль контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторных наклеек (термоиндикаторный контроль) позволяет проводить оценку состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП при визуальном осмотре.
2. Применение многотемпературных термоиндикаторных наклеек позволяет реализовывать методологию тепловизионного контроля контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП в соответствии с требованиями РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования». 

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: СПО ОРГРЭС, 2003. 245 с.
2. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Энас, 1998. 177 с.



Делегация в составе заместителя Министра энергетики Республики Беларусь Ольги Прудниковой, первого заместителя Генерального директора — главного инженера ПАО «Россети» Андрея Майорова, заместителя генерального директора — технического директора ЗАО «Электрические сети Армении» Давида Григоряна посетила стенд ООО «ТермоЭлектрика» на выставке в рамках VII Международной научно-технической конференции «Развитие и повышение надежности распределительных электрических сетей»