

Оценка состояния контактных соединений ОРУ с использованием термоиндикаторов

В статье рассматриваются вопросы использования термоиндикаторных наклеек для оценки состояния контактных соединений ОРУ, приводится опыт эксплуатации на подстанциях ПАО «Россети Московский регион» и сравнение с существующими методами диагностики.

Контроль состояния контактных соединений (КС) ведется с помощью тепловизионной диагностики. Требования к ней закреплены в СТО «Объем и нормы испытаний электрооборудования», в котором устанавливаются наибольшие допустимые значения температур, методики и периодичность осмотров.

Проведение тепловизионной диагностики элементов ОРУ подстанций является сложной задачей. На правильность конечного результата обследования влияет строгий учет многих параметров: ток нагрузки во время проведения диагностики, коэффициенты излучения материалов оборудования, погодные условия, верная интерпретация полученных результатов. Для проведения данного вида работ требуется привлечение собственных специализированных служб или сторонних организаций.

Существующие нормативы требуют проведения тепловизионного контроля с периодичностью один раз в 1–3 года для различного оборудования, что не позволяет исключить случаи возникновения аварийных ситуаций, связанные с перегревом контактных соединений. Развитие дефекта от начальной стадии до критической ситуации может произойти за несколько месяцев, что существенно меньше установленной периодичности контроля.

Актуальной является задача повышения надежности эксплуатации ОРУ и снижения риска возникновения аварийных ситуаций, связанных с перегревом контактных соединений.

Решением этой проблемы является создание возможности оценки состояния контактных соединений оперативным персоналом при визуальных осмотрах без применения специального оборудования. Такую задачу позволяют реализовать термоиндикаторные наклейки (ТИН), необратимо изменяющие цвет при достижении пороговой температуры.

После срабатывания термоиндикатор, подобно блинкеру, не возвращается в исходное состояние, и с его помощью можно оценить максимальную температуру, которой достигло КС в момент максимальной нагрузки.

ПАО «Россети Московский регион» — первое ДЗО группы «Россети», где была внедрена система визуальной оценки состояния аппаратных зажимов ОРУ подстанций с использованием термоиндикаторных наклеек.

Пилотное тестирование было начато в 2020 году на подстанции «Красные горки». Индикаторы были установлены на аппаратных зажимах следующих видов электрооборудования ПС 35–220 кВ:



Андрей ЛАГУТИН,
директор Департамента
эксплуатации сетей
35–500 кВ ПАО «Россети
Московский регион»



Евгений СОРОКИН,
ведущий эксперт
Управления эксплуата-
ции подстанций
ПАО «Россети
Московский регион»

- вводов ВН, СН, НН силовых (авто-) трансформаторов, регулировочных трансформаторов;
- выключателей;
- разъединителей (ЛР, ШР), отделителей;
- трансформаторов тока;
- высокочастотных заградителей;
- БСК и синхронных компенсаторов;
- кабелей вблизи места разделки кабеля, после места разделки кабеля и кабельных наконечниках КЛ 0,4–20 кВ, расположенных на ОРУ ПС 35–220 кВ.

Задачей пилотного проекта была разработка методов оценки состояния КС с использованием термоиндикаторов и на их основе технического задания и требований на изготовление термонаклеек, поскольку какого-либо опыта ис-

пользования термоиндикаторов для оценки состояния контактных соединений ни в Российской Федерации, ни в мире не существовало.

Примеры установленных термоиндикаторных наклеек приведены на рисунке 1.

В настоящий момент в ПАО «Россети Московский регион» применено более 20 000 термоиндикаторов на контактных соединениях аппаратных зажимов ОРУ 110–220 кВ.

Были разработаны не только технические требования к термоиндикаторам, но и методические указания по оценке состояния контактных соединений ОРУ с использованием термоиндикаторных наклеек.

Далее сформулированы основные выводы по итогам проведенной опытной эксплуатации.

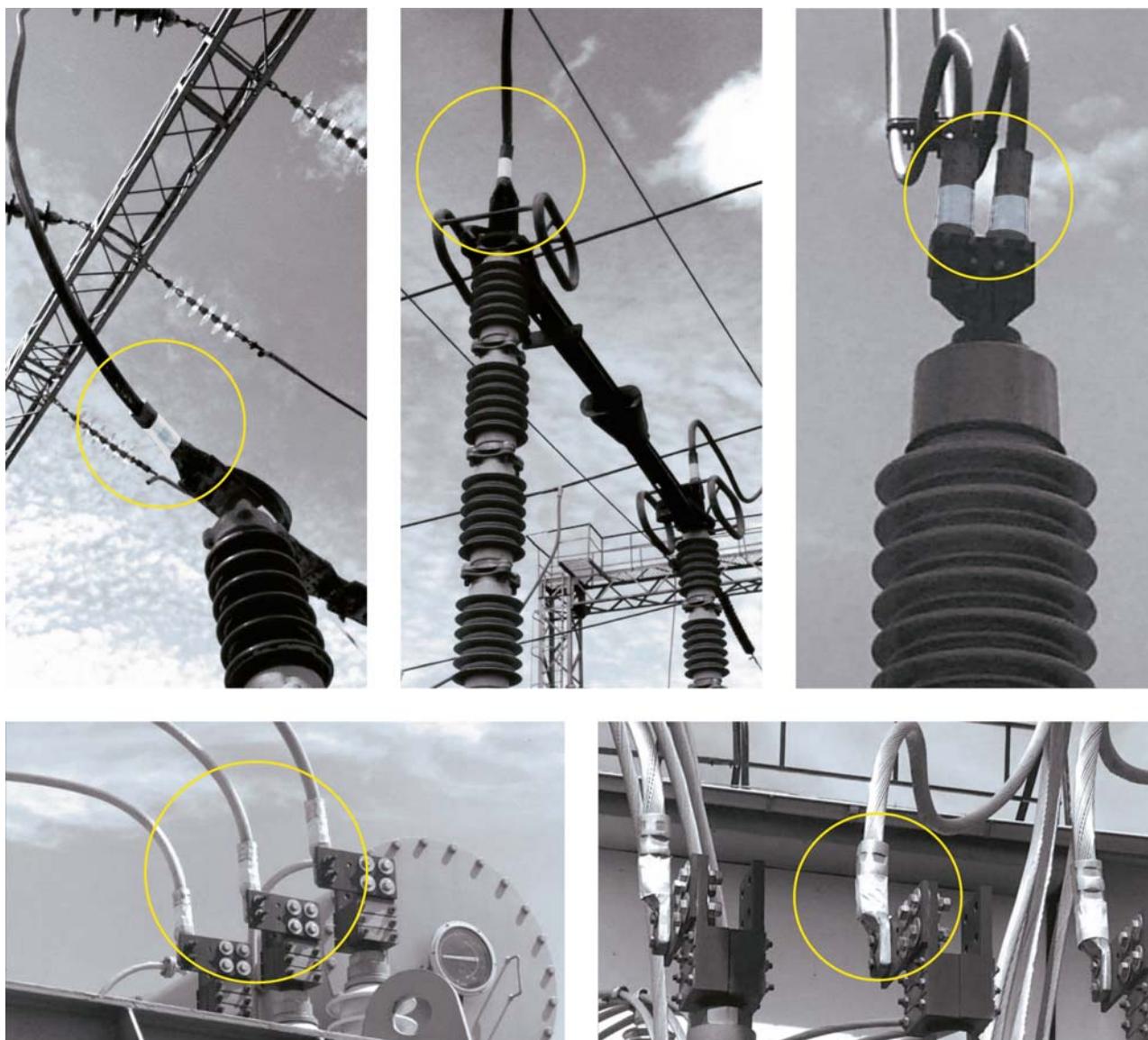


Рис. 1. Примеры установки термоиндикаторных наклеек на аппаратных зажимах электрооборудования подстанции ПАО «Россети Московский регион»

СТО «Объем и нормы испытаний электрооборудования» регламентирует наибольшие допустимые температуры элементов ОРУ (таблица 1):

Превышение установленных значений следует рассматривать как признак наличия дефектов, которые могут привести к отказу оборудования.

Поскольку дефект контактного соединения определяется переходным контактным сопротивлением, температура аварийного контакта связана как с окружающей температурой, так и с током нагрузки. Существует несколько методик оценки теплового состояния контактных соединений, учитывающих обозначенные выше факторы.

В общих случаях применения термоиндикаторного контроля для учета факторов тока нагрузки и внешней температуры рекомендовано использовать термоиндикаторные наклейки, регистрирующие превышение трех или четырех контролируемых температур. В этом случае вывод о наличии аварийного дефекта делается на основании формулы:

$$T_{\text{макс.инд.}} > T_{\text{макс.окр.}} + \Delta T_{\text{прев.}} \left[\frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{ном}}} \right]^2, \quad (1)$$

где $T_{\text{макс.инд.}}$ — наибольшая температура, зарегистрированная термоиндикатором, °С; $\Delta T_{\text{прев.}}$ — наибольшая допустимая температура превышения (в соответствии с таблицей 1), °С; $T_{\text{макс.окр.}}$ — значение температуры окружающего воздуха в момент прохождения максимального тока нагрузки, °С; $I_{\text{макс}}$ — максимальный фактический рабочий ток ЭУ, А; $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток ЭУ, А.

Многотемпературные термоиндикаторы являются достаточно универсальным инструментом выявления дефектов, однако их применение для оценки состояния КС ОРУ затруднено в силу размещения контролируемых элементов на большом расстоянии от наблюдателя и технических ограничений на размеры при изготовлении подобных индикаторов.

Принимая во внимание цель настоящей работы, а именно упрощение процедуры теплового диагностирования элементов оперативным персоналом без использования инструментов и привлечения специальных расчетных мето-

Табл. 1. Допустимые температуры нагрева узлов электрооборудования ОРУ

№ п/п	Контролируемый элемент	Тип контакта или контактного соединения	Наибольшее допустимое значение	
			температура нагрева, °С	превышение температуры, °С
1	Контактные соединения (кроме сварных и паяных) сборных и соединительных шин, шин с выводами аппаратов, аппаратных выводов электрооборудования (на аппаратных зажимах) с внешними проводниками электрических цепей, воздушных проводов	из меди, алюминия и их сплавов:		
		— без покрытий;	90	30
		— с покрытием оловом;	105	65
		— с покрытием серебром или никелем	115	75
2	Токоведущие шины (за исключением контактов и КС)	неизолированные	120	80
3	Медные, алюминиевые, из алюминиевых сплавов и сталеалюминиевые неизолированные провода, скрученные из круглых проволок ВЛ 0,4–220 кВ в длительном режиме	М	70	–
		А, АКП, АН, АЖ, А1, А2, АС, АСКС, АСКП, АСК, АСца, АСП, АСвп, А2Свп	70	–
		АТ1С, АТ2С, АТ1СП	150	–
4	КС из меди и ее сплавов на аппаратных зажимах вводов конденсаторного типа, вводов с твердой изоляцией 110–220 кВ, предназначенных для трансформаторов (автотрансформаторов), реакторов, масляных выключателей, линейных вводов, а также трансформаторных вводов с твердой изоляцией на номинальное напряжение 110 кВ	без покрытия оловом	80	40
		с покрытием оловом	100	60
5	КС на аппаратных зажимах съемных (разборных) вводов ВН, СН, НН силовых трансформаторов (автотрансформаторов), регулировочных трансформаторов, заземляющих трансформаторов, шунтирующих реакторов, конструкция которых позволяет заменять ввод (в случае его повреждения) без подъема активной части трансформатора или верхней части бака трансформатора; КС на аппаратных зажимах съемных линейных вводов		105	65

дик, было принято решение осуществлять контроль только одной температуры 90°C. Критерии выбора температур также приведены в таблице 1.

Для обеспечения максимальной заметности цветового перехода с большого расстояния был выбран цветовой переход термочувствительного слоя с белого на черный. Причем для улучшения визуального восприятия изменения цвета по краям термоиндикатора нанесены контрастные светоотражающие полосы серебристого цвета, делающие почерневший термоиндикатор заметным с большого расстояния.

Внешний вид термоиндикатора и вариант установки приведены на рисунке 2.

Способ оценки теплового состояния контактных соединений с помощью термоиндикаторных наклеек не является альтернативой и не способен заменить тепловизионный контроль. Термоиндикаторы — дополнительный инструмент, позволяющий без использования технических средств вести мониторинг перегрева.

Поскольку визуальные осмотры ОРУ проводятся чаще, чем тепловизионный осмотр, вероятность обнаружения дефектов с использованием термоиндикаторов многократно повышается. И в случае выявления оперативным персоналом подстанции изменения цвета индикатора (то есть факта превышения контролируемым элементом пороговой температуры) необходимо провести дополнительное инструментальное обследование по определению степени развития дефекта и необходимости вывода оборудования в ремонт.

Так при помощи термоиндикаторов удалось выявить дефект контактного соединения выключателя при осмотре оборудования ОРУ 110 кВ ПС 220 кВ «Чоботы». Оперативным персоналом 09.07.2021 г. было выявлено изменение

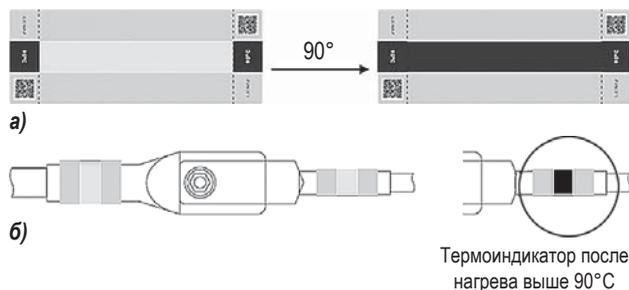


Рис. 2. Внешний вид ТИИ (а) и пример монтажа на аппаратный зажим (б)

цвета на «черный» термоиндикаторных наклеек на контакте масляного выключателя типа ВМТ-110 фазы «К». В этот же день проведено тепловизионное обследование, в результате которого нагрев контактов на МВ 110 кВ не выявлен. После вывода в ремонт выключателя проведен замер переходного сопротивления контактных соединений, в ходе которого выявлено двухкратное превышение предельных значений по фазе «К», что подтвердило правильность срабатывания термоиндикатора.

Для монтажа термоиндикаторных наклеек не требуется специальных навыков и оборудования, а в процессе эксплуатации они не требуют обслуживания.

Повышается наблюдаемость состояния контактных соединений дежурным персоналом и оперативность выявления развивающихся дефектов.

Применение термоиндикаторных наклеек позволит достичь экономического эффекта за счет сокращения трудозатрат на проведение тепловизионного обследования контактных соединений либо проведения контроля только присоединений, не оборудованных ТИИ. ➡

Майоров А.В., Львов М.Ю., Кулюхин С.А., Львов Ю.Н., Лютко Е.О.

Оценка технического состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше



В книге рассматриваются вопросы оценки технического состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше с учетом обобщения и анализа опыта их эксплуатации. Приводятся рекомендации, направленные на обеспечение эксплуатационной надежности данного вида оборудования.

Книга предназначена для специалистов, участвующих в эксплуатации, проектировании, ремонте и производстве силовых трансформаторов и автотрансформаторов, а также студентов энергетических специальностей высших учебных заведений.

Издательство журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2022. 128 с.

Книга распространяется бесплатно.

По вопросам доставки обращайтесь в редакцию по телефону +7 (495) 645-12-41 или e-mail: office@eepir.ru