

Развитие и повышение эффективности теплового контроля контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок распределительных электрических сетей

Львов Михаил Юрьевич

Д.т.н., директор по технической политике и аудиту АО «ОЭК»

2023 / 5–6 июля



Москва / Конгресс-центр ЦМТ

VIII Международная
научно-техническая конференция

«Развитие и повышение надежности
распределительных электрических сетей»

ОРГАНИЗАТОРЫ



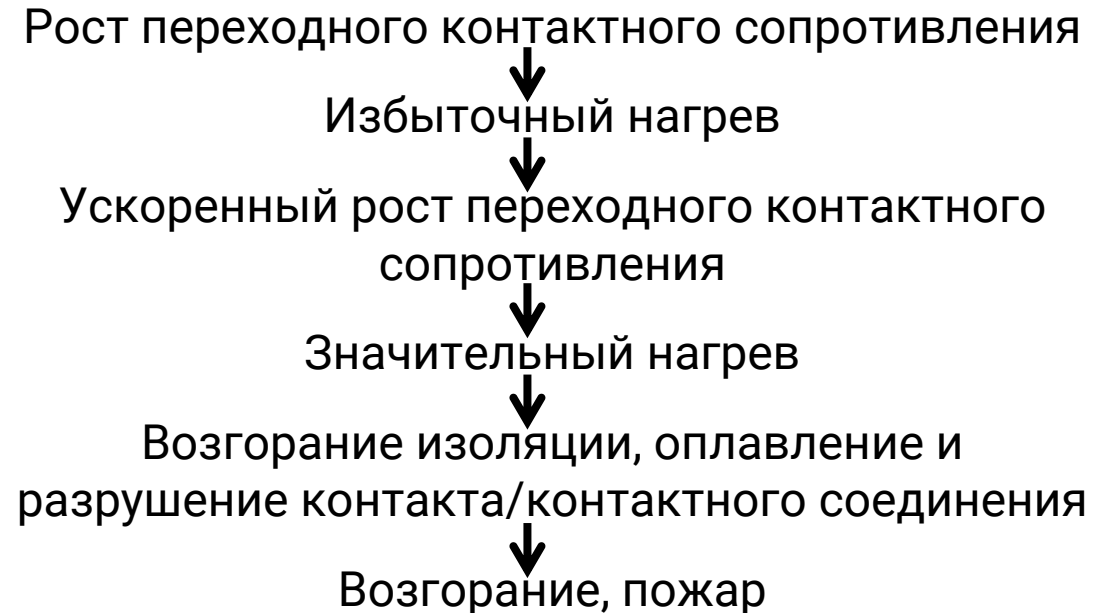
Развитие дефектов контактов/контактных соединений при эксплуатации электроустановок

Состояние контактов/контактных соединений определяется значением переходного сопротивления

В процессе эксплуатации под влиянием различных факторов возможно:

- Уменьшение площади контакта/контактного соединения из-за ослабления нажима или усилия прижатия
- Окисление и коррозия металла
- Возникновение оксидной пленки на поверхности контакта/контактного соединения

Развитие дефекта контакта/контактного соединения



Действующие требования по контролю состояния контактов и контактных соединений

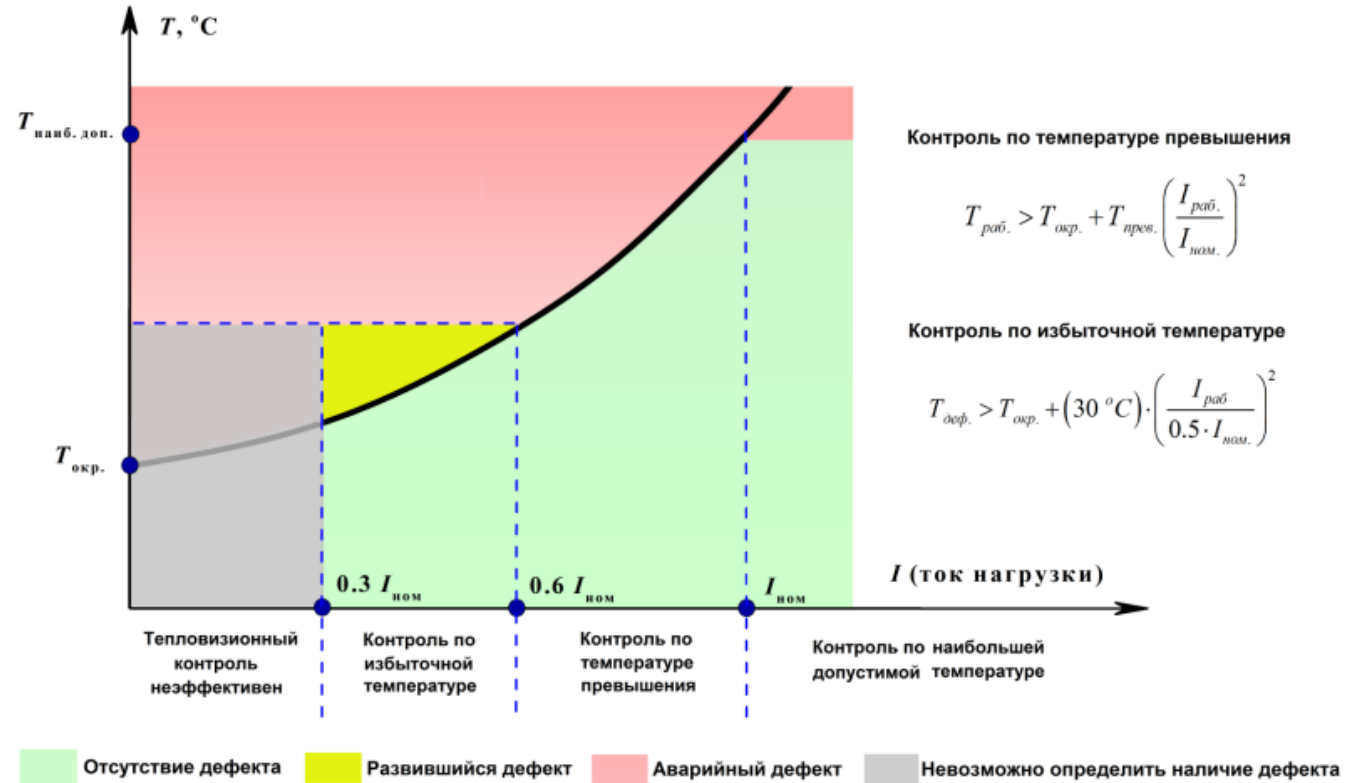
На энергообъектах предусмотрен обязательный контроль состояния контактов и контактных соединений

- РД 34.45-51.300-97 «Объём и нормы испытаний электрооборудования»
- ✓ Указано требование о проведении тепловизионного контроля контактов и контактных соединений
- ✓ Приведена методика оценки теплового состояния контактов и контактных соединений
- ✓ Установлены нормируемые наибольшие допустимые значения температур нагрева контактов и контактных соединений
- ✓ Установлены требования по периодичности проведения тепловизионного контроля

Контролируемые узлы	Наибольшее допустимое значение	
	температура нагрева, °С	превышение температуры, °С
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

Особенности тепловизионного контроля контактов и контактных соединений

- Требуется применение тепловизора
- Наличие обученного персонала
- Не все контакты и контактные соединения доступны для проведения тепловизионного контроля
- Развитие дефекта до перехода в аварийный может происходить быстрее, чем периодичность теплового контроля
- Оценка состояния контакта/контактного соединения производится расчетным путем по результатам измерения температуры и нагрузки электроустановки на момент проведения тепловизионного контроля
- Низкая диагностическая ценность теплового контроля при нагрузке электроустановки $0,5 I_{ном}$ и ниже



Для принятия решения о наличии дефекта при тепловизионном контроле необходимо учитывать ток нагрузки в момент контроля

Наибольшие допустимые температуры для контактов/КС токоведущих частей электроустановок класса напряжения выше 1000 В в разных странах

Элементы (узлы) ЭУ	Наибольшая допустимая температура нагрева, °С		
	Россия	Европа	США
Контакты из меди и медных сплавов коммутационных аппаратов, в т. ч.:			
1) втычные контакты выкатных элементов ячеек КРУ и КТП (выкатные выключатели, выкатные предохранители, выкатные ТН, выкатные ТСН, выкатные разъединители);			
2) внутренние контакты выключателей			
без покрытия в воздухе	75(a)	75(e)	75 (f)
с накладными серебряными пластинами в воздухе	120(a)	---	---
с покрытием серебром или никелем в воздухе	105(a)	105(e)	105 (f)
с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм в воздухе, стыковые	120(a)	---	---
с покрытием оловом в воздухе	90(a)	90(e)	105 (f)
КС аппаратных выводов электрооборудования (на аппаратных зажимах) из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей:			
без покрытия	90(a, b)	90(e)	90 (f)
с покрытием оловом, серебром или никелем	105(a, b)	105(e)	105 (f)
КС (кроме сварных и паяных) сборных и соединительных шин в различных узлах, шин с выводами аппаратов, аппаратных выводов электрооборудования с внешними проводниками электрических цепей, выключателей, воздушных проводов (неизолированных и изолированных);			
из меди, алюминия и их сплавов:			
-без покрытий	90(a, b)	90(e)	90 (f)
-с покрытием оловом	105(a, b)	105(e)	105 (f)
-с покрытием серебром или никелем	115(a, b)	115(e)	115 (f)
из алюминия и его сплавов с покрытием серебром или никелем	115(a, b)	---	105 (f)

Список использованных нормативных документов:

a – ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В.

b – РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования.

e – IEC 62271-1: 2007. High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications.

f – IEEE Std C37.04-1999 IEEE Standard Rating Structure for AC High-Voltage Circuit Breakers

Критерии наличия дефектов контактов и контактных соединений для методов температуры превышения и избыточной температуры, принятые в различных странах

	ANSI/NETA MTS		Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment		Военный стандарт MIL-STD-2194(SH)	Electrical Power Equipment Maintenance and Testing (Paul Gill)	NFPA 70B Standard for Electrical Equipment Maintenance	РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»; РД 153-34.0-20.363-99	
	США, Канада, Европа, страны латинской Америки		США		Судостроение США	Международный справочник	США, страны латинской Америки	Российская Федерация	
Используемые методики	Температура превышения (не зависит от тока нагрузки)	Избыточная температура (не зависит от тока нагрузки)	Температура превышения, (приведенная к $I_{ном}$)	Избыточная температура (приведенная к $I_{ном}$)	Температура превышения (не зависит от тока нагрузки)	Температура превышения (не зависит от тока нагрузки или приведенная к $I_{ном}$)	Избыточная температура (не зависит от тока нагрузки)	Температура превышения, (приведенная к $I_{ном}$)	Избыточная температура, (приведенная к $0.5 I_{ном}$)
Обобщенные рекомендуемые действия									
Профилактические меры должны быть приняты во время следующего периода технического обслуживания.	от 1 до 10 °С	от 1 до 3 °С	от 1 до 10 °С	от 1 до 3 °С	от 10 до 25 °С	0 °С–10 °С	от 1 до 3 °С	---	---
Требуются профилактические меры, если позволяет график.	от 11 до 20 °С	от 4 до 15 °С	от 11 до 20 °С	от 4 до 15 °С	от 25 до 40 °С	10 °С–20 °С	от 4 до 15 °С	от 10 до 20 °С	от 5 до 10 °С
Профилактические меры требуются как можно скорее.	от 21 до 40 °С	---	от 21 до 40 °С	---	от 40 до 70 °С	20 °С–40 °С	---	от 20 до 40 °С	от 10 до 30 °С
Профилактические меры требуются немедленно.	> 40 °С	> 15 °С	> 40 °С	> 15 °С	> 70 °С	> 40 °С	> 15 °С	> 40 °С	> 30 °С

Критерии оценки состояния контактов и контактных соединений по результатам тепловизионного контроля

РД 34.45-51.300-97 «Объём и нормы испытаний электрооборудования»

$I_{\text{нагрузки}} = (0,6-1)I_{\text{ном}}$ – оценка по температуре превышения

$I_{\text{нагрузки}} = (0,3-0,6)I_{\text{ном}}$ – оценка по избыточной температуре в пересчете на $0,5 I_{\text{ном}}$:

- 5-10 °С – начальная степень неисправности
- 10-30 °С – развившийся дефект
- более 30 °С – аварийный дефект

$I_{\text{нагрузки}} < 0,3 I_{\text{ном}}$ – контроль неэффективен

«Требования к объему и нормам испытаний электрооборудования» (проект)*

$I_{\text{нагрузки}} = (0,6-1)I_{\text{ном}}$ – оценка по температуре превышения

$I_{\text{нагрузки}} = (0,3-0,6)I_{\text{ном}}$ – оценка по избыточной температуре в пересчете на $0,5 I_{\text{ном}}$:

- до 30 °С – начальная степень неисправности
- более 30 °С – развившийся дефект

$I_{\text{нагрузки}} < 0,3 I_{\text{ном}}$ – контроль неэффективен

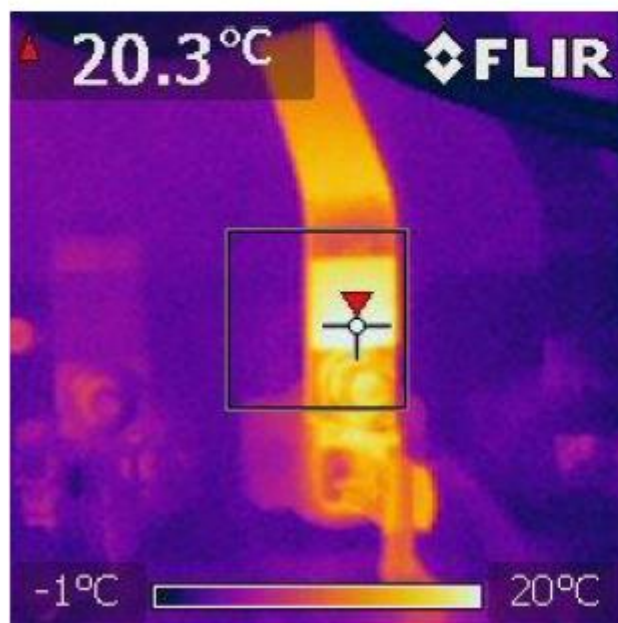
Аварийный дефект – достижение установленных наибольших допустимых значений температуры нагрева или достижение наибольшего допустимого значения превышения температуры

* на сайте regulation.gov.ru размещен проект требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Требования к объему и нормам испытаний электрооборудования», прошедший публичное обсуждение

Методы тепловой оценки состояния контактов и контактных соединений

БЕСКОНТАКТНЫЙ

Тепловизионный контроль



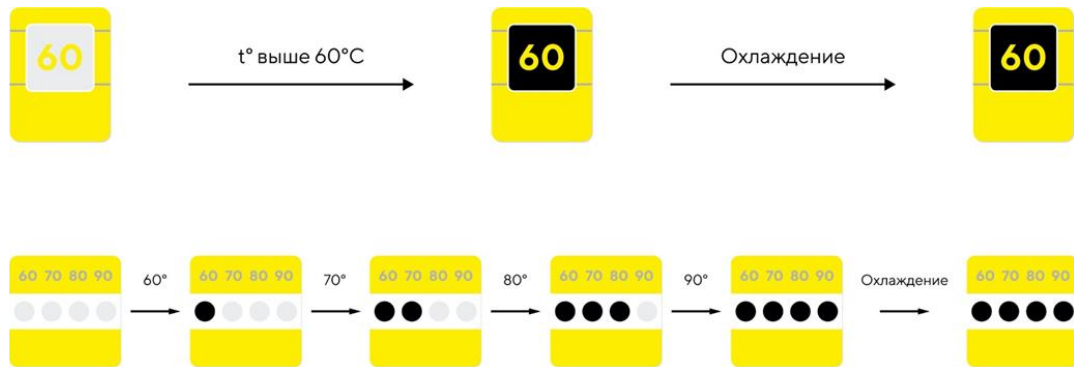
КОНТАКТНЫЙ

Термоиндикаторный контроль



Необратимые термоиндикаторы

Термоиндикаторы информируют о фактах достижения заданной температуры в процессе эксплуатации



Достоинствами применения термоиндикаторов являются:

- ✓ Непрерывный контроль температуры контакта/ контактного соединения
- ✓ Контроль труднодоступных или недоступных для тепловизора элементов
- ✓ Возможность проведения визуального осмотра термоиндикаторов оперативным персоналом и оперативно-ремонтным персоналом при осмотрах и техническом обслуживании электроустановок
- ✓ Оценка состояния контакта/контактного соединения и выявление наличия и развития дефектов контактов и контактных соединений по результатам визуальной оценки срабатывания термоиндикатора

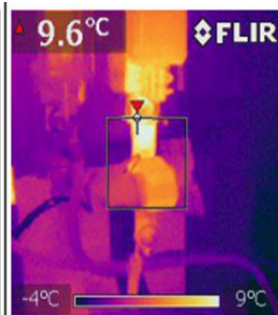
Оценка состояния контактов и контактных соединений с помощью термоиндикаторов

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

- температура срабатывания верхнего порогового значения должна соответствовать установленной наибольшей допустимой температуре нагрева контакта/контактного соединения
- наличие срабатывания всех пороговых значений свидетельствует о наличии аварийного дефекта
- при срабатывании термоиндикатора в 1–3 диапазоне температур при наличии данных о максимальной нагрузке с момента предыдущего осмотра можно оценить степень развития дефекта
- при визуальном осмотре термоиндикаторов целесообразно проводить сравнение состояния термоиндикаторов с соседними фазами

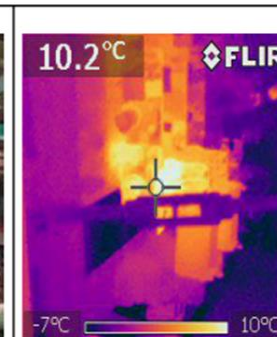
Примеры оценки состояния контактных соединений с использованием тепловизора и термоиндикаторов



Контролируемый элемент – болтовые контактные соединения из сплава алюминия.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ:

Термоиндикаторный контроль - 4 точки изменили цвет: аварийный дефект



Контролируемый элемент – болтовые контактные соединения из сплава алюминия.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ:

Термоиндикаторный контроль - 4 точки изменили цвет: аварийный дефект

Тепловизионный контроль:

- температура, зарегистрированная по результатам ТВК: + 9,6 °С
- температура превышения: 13,12 °С. Нормированная температура превышения: 50 °С
- температура исправного контактного соединения (зеленая фаза), зарегистрированная по результатам ТВК: 0 °С; температура окружающего воздуха в момент осмотра: - 3,52 °С
- ток нагрузки на КС в момент осмотра: 31 А (0,3 Iном)
- расчетная избыточная температура: 9,6 °С; избыточная температура, приведенная к 0,5 Iном: 26 °С. **Оценка состояния КС по результатам ТВК: развившийся дефект**

Тепловизионный контроль:

- температура, зарегистрированная по результатам ТВК: + 10,2 °С
- температура превышения: 17,2 °С. Нормированная температура превышения: 50 °С
- температура исправного контактного соединения, зарегистрированная по результатам ТВК: 0 °С
- температура окружающего воздуха в момент осмотра: - 7 °С

Ток нагрузки на КС в момент осмотра: 15 А (0,14 Iном)

Оценка состояния КС по результатам ТВК: не может быть выполнена (ток нагрузки менее 0,3 Iном)

Типовые требования к термоиндикаторам для контроля состояния контактов и контактных соединений электроустановок ЗРУ

Наименование параметра	Требуемое значение
Тип индикации	Необратимый
Цветовой переход	Белый–чёрный
Требования к термочувствительному элементу	Диапазон срабатывания установленного порогового значения $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Требования к клеевому слою и адгезии	Адгезия FINAT TM1 после 24 часов не менее 15 Н/25 мм
Окантовка термоиндикатора	Окантовка должна соответствовать цветовой маркировке фаз
Пожароустойчивость	Не поддерживать горение
Электрическая прочность	Не менее 15 кВ/мм
Толщина термоиндикатора	Не более 0,5 мм
Устойчивость к органическим растворителям и смазочным материалам	Сохранение свойств при воздействии уайт-спирита и смазочных материалов
Срок службы	Не менее 10 лет с даты изготовления

Контролируемые узлы (контакты/контактные соединения в воздухе)	Наибольшее допустимое значение температуры нагрева, $^{\circ}\text{C}$	Контролируемый диапазон температур, $^{\circ}\text{C}$
Контакты из меди и медных сплавов: <ul style="list-style-type: none"> - без покрытий - с накладными серебряными пластинами - с покрытием серебром или никелем - с покрытием серебром не менее 24 мкм - с покрытием оловом 	75 120 105 120 90	50-60-70-80 70-90-100-120 60-80-90-110 70-90-100-120 60-70-80-90
Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками: <ul style="list-style-type: none"> - без покрытия - с покрытием оловом, серебром или никелем 	90 105	60-70-80-90 60-80-90-110
Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: <ul style="list-style-type: none"> - без покрытия - с покрытием оловом - с покрытием серебром или никелем 	90 105 115	60-70-80-90 60-80-90-110 70-90-100-120

Заключение

- Повышение эффективности своевременного обнаружения развития дефектов контактов и контактных соединений обеспечивает повышение надежности и безопасности эксплуатации электроустановок, снижает риск возгораний и пожаров
- Тепловой контроль контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторных наклеек позволяет осуществлять контроль их состояния без применения специальных средств измерений и при этом реализовывать методологию оценки состояния контактов и контактных соединений в соответствии с установленными требованиями «Объем и нормы испытаний электрооборудования»
- Метод теплового контроля контактов и контактных соединений с применением многотемпературных термоиндикаторных наклеек обладает достаточной детерминированной диагностической ценностью для оценки состояния контактов и контактных соединений и позволяет повысить достоверность выявления аварийных дефектов
- 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

Спасибо за внимание!

