

**THERMO**ELECTRICA///

**ДЕФЕКТЫ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6-10 КВ  
И МЕТОДЫ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ**

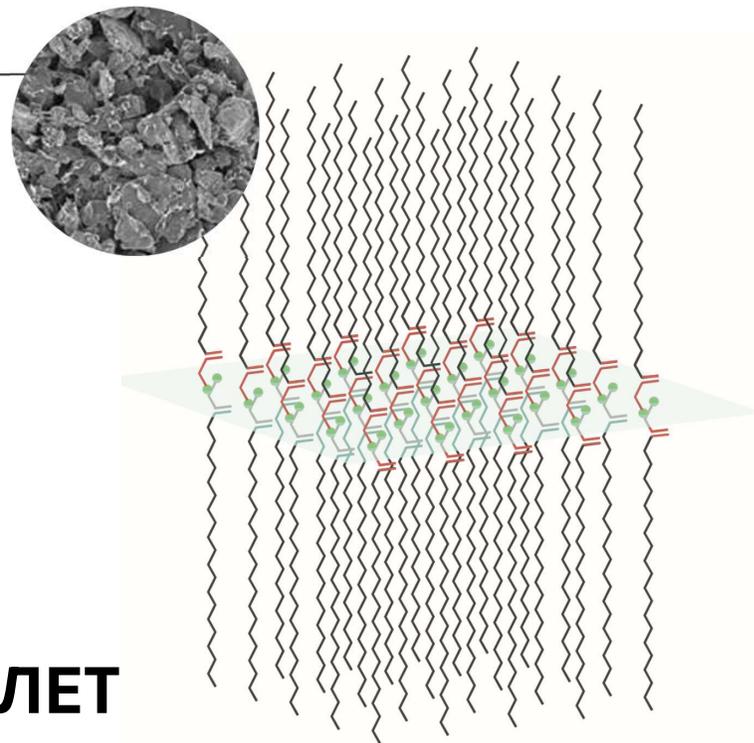
ООО «ТермоЭлектрика»  
Алексей Лесив



## КАК УСТРОЕН ТЕРМОИНДИКАТОР

За изменение цвета термоиндикатора отвечает газонаполненный термоплавкий материал

При срабатывании термоиндикатора происходит плавление газонаполненного термоплавкого материала и необратимое изменение его микроструктуры по аналогии с фазовым переходом «снег»-«вода»-«лёд».



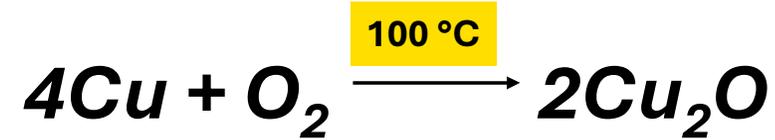
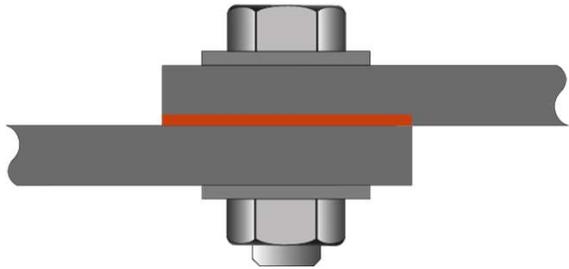
Наши патенты

**/ СРОК СЛУЖБЫ БОЛЕЕ 10 ЛЕТ**

## ТЕРМОИНДИКАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ПОЗВОЛЯЕТ:

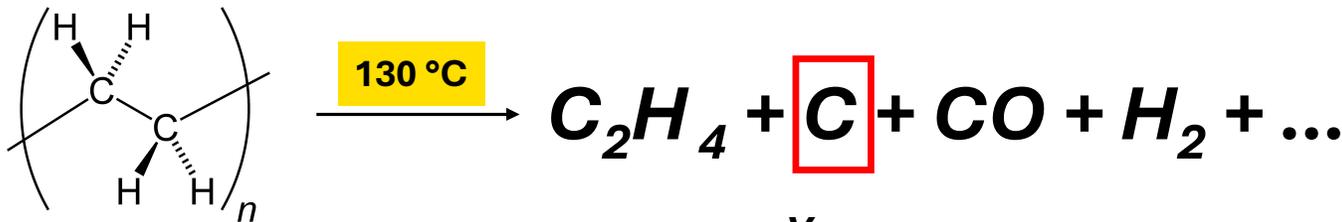
- ✓ Установить факт достижения или не достижения заданной пороговой температуры за все время эксплуатации (например, запустилась ли реакция окисления или термодеструкции).
- ✓ Выявить эпизодические (нерегулярные) нагревы, например, из-за пиковых нагрузок или высших гармоник.
- ✓ Установить диапазон максимальных температур, до которых происходит нагрев электрооборудования в условиях эксплуатации.
- ✓ Проводить визуальную оценку состояния оборудования независимо от режима работы.

## 1. Увеличение переходного контактного сопротивления за счет возникновения оксидной пленки



Удельное сопротивление оксида меди в **100 000 000** раз больше, чем меди

## 2. Термодеструкция изоляции



Удельное сопротивление аморфного углерода на **10-12 порядков** ниже, чем у исходных полимеров

**/ РАЗВИТИЕ ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ,  
СВЯЗАННЫХ С РЕАКЦИЯМИ ОКИСЛЕНИЯ ИЛИ  
ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ, ИМЕЕТ ПОЛОЖИТЕЛЬНУЮ  
ОБРАТНУЮ СВЯЗЬ**

# КРИТЕРИИ ДЕФЕКТОВ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**На энергообъектах предусмотрен обязательный тепловизионный контроль электрооборудования.**

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

- указано требование о проведении тепловизионного контроля и установлена его периодичность;
- приведена методика оценки теплового состояния контактов и контактных соединений;
- установлены нормируемые наибольшие допустимые значения температур нагрева контактов.

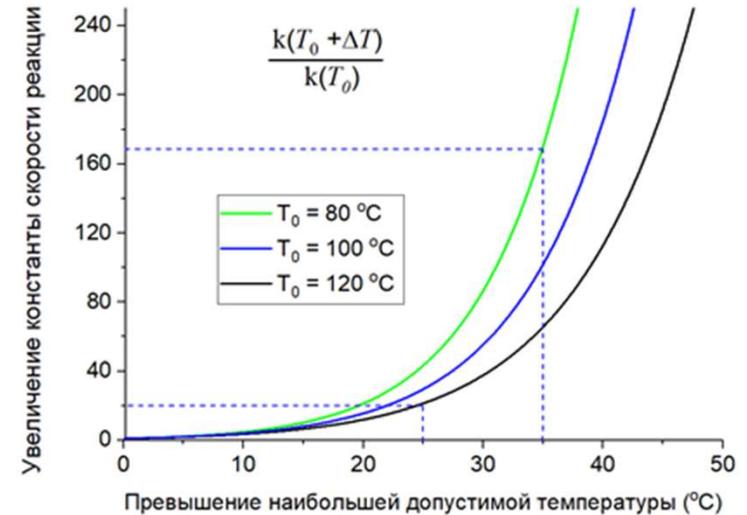
Контролируемые узлы	Наибольшее допустимое значение температуры нагрева, °C
<b>1. Контакты из меди и медных сплавов:</b> - без покрытий, в воздухе - с покрытием серебром или никелем, в воздухе - с покрытием оловом, в воздухе	75 105 90
<b>2. Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей:</b> - без покрытия - с покрытием оловом, серебром или никелем	90 105
<b>3. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов:</b> - без покрытия, в воздухе - с покрытием оловом, в воздухе	90 105
<b>4. Токоведущие жилы силовых кабелей в режиме длительном/аварийном при наличии изоляции:</b> - из поливинилхлоридного пластика и полиэтилена - из вулканизирующегося полиэтилена - с пропитанной бумажной изоляцией при вязкой/обедненной пропитке и номинальном напряжении 1 и 3 кВ	70/80 90/130 80/80

**Превышение установленных предельных значений является признаком дефекта, развитие которого может привести к отказу электрооборудования.**

Скорость окисления поверхности контактов (контактных соединений) и, как следствие, скорость роста переходного контактного сопротивления происходит в соответствии с уравнением Аррениуса, которое устанавливает экспоненциальную зависимость константы скорости  $k$  химической реакции от температуры:

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

где  $A$  – предэкспоненциальный множитель,  $E_a$  – энергия активации,  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – абсолютная температура



*Зависимость относительного увеличения константы скорости реакции окисления контактов (контактных соединений) при превышении наибольшей температуры нагрева*

**При превышении установленной допустимой температуры контакта на 25-35 °C резко возрастает скорость реакции окисления и происходит значительное увеличение переходного сопротивления контакта.**

# МЕТОДИКИ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ В РАЗНЫХ СТРАНАХ

	ANSI/NETA MTS		Standart for Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment		Electrical Power Equipment Maintenance and Testing (Paul Gill)	NFPA 70B Standart for Electrical Equipment Maintenance	РД 153-34.0-20.363-99	
	США, Канада, Европа, страны латинской Америки		США		Международный справочник	США, страны латинской Америки	Российская Федерация	
Используемые методики	Температура превышения	Избыточная температура	Температура превышения	Избыточная температура	Температура превышения	Избыточная температура	Температура превышения	Температура превышения
Обобщенные рекомендуемые действия	(не зависит от тока нагрузки)	(не зависит от тока нагрузки)	(приведенная к $I_{ном}$ )	(приведенная к $I_{ном}$ )	(не зависит от тока нагрузки или приведенная к $I_{ном}$ )	(не зависит от тока нагрузки)	(приведенная к $I_{ном}$ )	(приведенная к $0,5 I_{ном}$ )
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	0 - 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 11 до 20 °С	от 4 до 15 °С	от 11 до 20 °С	от 4 до 10 °С
Профилактические меры требуются как можно скорее	от 21 до 40 °С	---	от 21 до 40 °С	---	20 °С - 40 °С	--	от 20 – 40 °С	от 10 - 30 °С
Профилактические меры требуются немедленно	> 40 °С	> 15 °С	> 40 °С	> 15 °С	> 40 °С > 30 °С	> 15 °С	> 40 °С	> 30 °С

**ЕДИНОЕ МНЕНИЕ О КРИТЕРИЯХ ДЕФЕКТОВ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕ СФОРМУЛИРОВАНО:  
КРИТЕРИИ СИЛЬНО РАЗЛИЧАЮТСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА.**

# ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МЕТОДОВ ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ

Диагностическая ценность методов теплового контроля определяется отношением количества выявляемых дефектов к общему количеству существующих дефектов.

**Отсутствие дефектов**

$$Z_{D_1} = \log_2 \frac{P(T_{\text{прив.}} < T_{\text{наиб. доп.}} / D_1)}{P(T_{\text{прив.}} < T_{\text{наиб. доп.}})}$$

**ТВК:**  $Z_{D_1} = -0.01 < 0$

**ТЕРМОИНДИКАТОР:**  $Z_{D_1} = 0.02 > 0$

**Наличие дефектов**

$$Z_{D_2} = \log_2 \frac{P(T_{\text{прив.}} > T_{\text{наиб. доп.}} / D_2)}{P(T_{\text{прив.}} > T_{\text{наиб. доп.}})}$$

$Z_{D_2} = 1.7 > 0$

$Z_{D_2} = 0.02 > 0$

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ ИМЕЕТ НЕЗАВИСИМУЮ ДИАГНОСТИЧЕСКУЮ ЦЕННОСТЬ.**

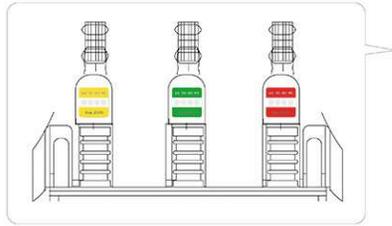
## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ

### ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ:

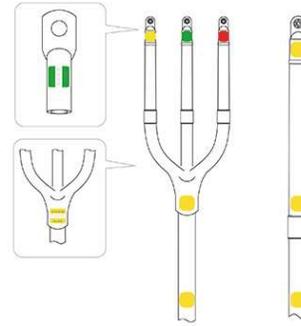
- контактов и контактных соединений
- концевых кабельных муфт
- трехфазных асинхронных электродвигателей
- трансформаторов тока и пр.

# ЯЧЕЙКИ КРУ, КРУН, КРУЭ, КСО

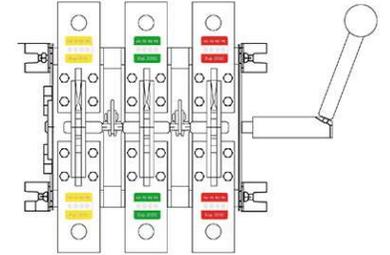
## Точки контроля



ВЫЧНЫЕ КОНТАКТЫ  
ВЫКАТНОГО ЭЛЕМЕНТА



НАКОНЕЧНИКИ И МЕСТО СРЕЗА  
ПОЛУПРОВОДЯЩЕГО ЭКРАНА  
КАБЕЛЬНОЙ МУФТЫ



КОНТАКТЫ  
РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

## Тип термоиндикатора

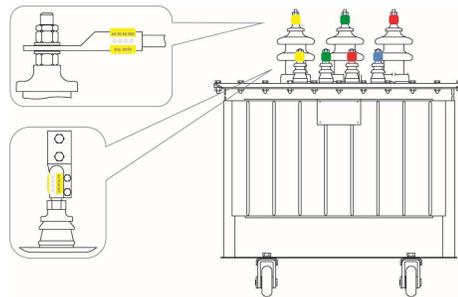
## L-MARK 4T 50-60-70-80

## Примеры



# СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Точки  
контроля

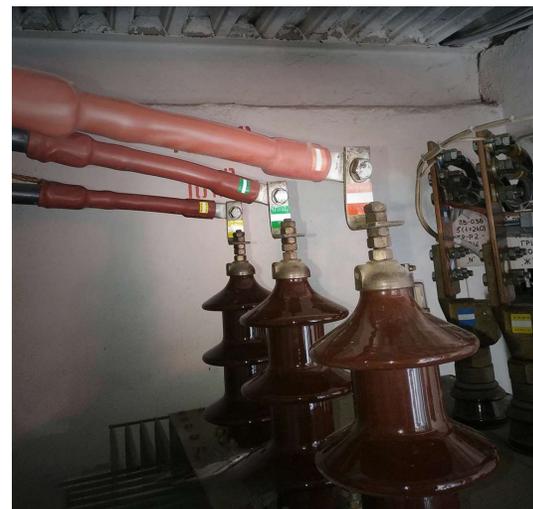


контактные соединения  
на аппаратных зажимах  
вводов ВН и НН  
трансформаторов

Тип термоиндикатора

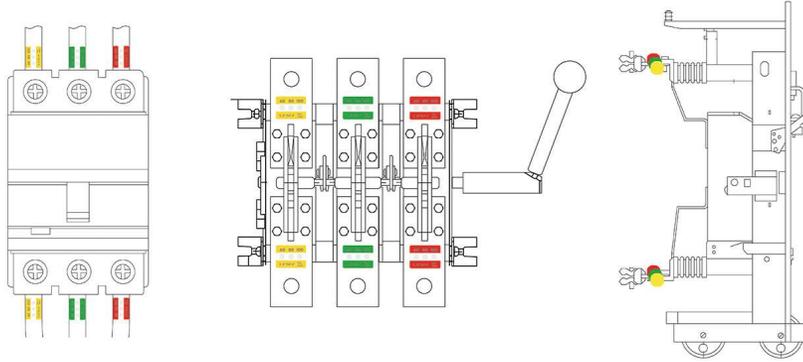
L-MARK 4T 60-70-80-100

Примеры



# ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ 0,4 кВ

Точки  
контроля



контактные соединения  
коммутационных аппаратов,  
контакты предохранителей  
и рубильников

Тип термоиндикатора

L-MARK 3Т 60-80-100

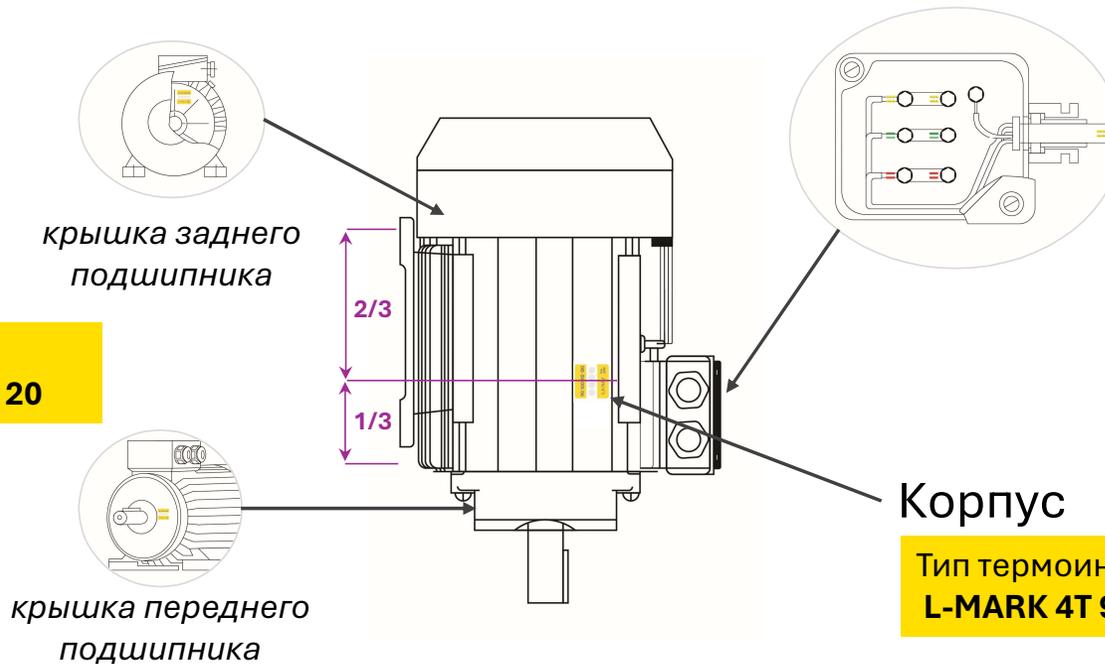
Примеры



# ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Подшипник качения

Тип термоиндикатора  
**L-MARK 4T 60-90-100-120**



Примеры



# ПУБЛИКАЦИИ И ПАТЕНТЫ

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. М.Ю. Львов, Ю.Н. Львов, Н.Л. Новиков, А.В. Лесив, Е.Е. Серебрянников, Контроль состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок распределительных электрических сетей, Энергия единой сети, № 2 (73) 2024.
2. Д.Б. Гвоздев, Р.В. Иванов, А.В. Севастьянов, В.О. Болонов, Об организации теплового контроля контактных соединений электрооборудования 0,4-10 кВ в ПАО «Россети Московский регион», ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, № 2(83) 2024.
3. М.Ю. Львов, С.Д. Никитина, Ю.Н. Львов, А.В. Лесив, Е.Е. Серебрянников, А. И. Рябиков, А. А. Назаров, Методы контроля и выявления пожароопасных дефектов контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок, Электрические станции, № 4 (2024).
4. С.Н. Ленёв, А.В. Лесив, М.Ю. Львов, Выявление дефектов электродвигателей с использованием термоиндикаторных наклеек, Электрические станции, №1 (2025).

Полный  
список  
научных  
публикаций



## ПАТЕНТЫ

1. Патент RU2800396 «Устройство для визуальной регистрации превышения температуры и способ его изготовления (варианты)».
2. Патент RU2801907 «Устройство и способ контроля температуры поверхности».
3. Патент RU2816750 «Адаптивная система автоматического выявления перегревов элементов электрооборудования, способ ее использования и испытания».
4. Патент RU2831935 «Необратимый и невозвратный газонаполненный термоплавкий элемент и содержащий его термоиндикатор»

68  
ПАТЕНТОВ  
в России и  
мире

## ТЕРМОИНДИКАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ РЕГЛАМЕНТИРОВАН



СТО 34.01-12-002-2023 (ПАО «РОССЕТИ»)



СТО РусГидро 02.02.146-2023 (ПАО «РУСГИДРО»)



СТО 76561356-29-004-2022 (АО «ОЭК»)



СТО ИНТИ М.130.1-2023 (АНО «ИНТИ»)

## ВЫВОДЫ

- 1** Применение необратимых термоиндикаторов позволяет установить факт превышения или непревышения установленного значения температуры за все время эксплуатации.
- 2** Термоиндикаторный контроль имеет детерминированную диагностическую ценность в силу необратимого срабатывания (эффекта памяти).
- 3** Термоиндикаторный контроль позволяет проводить оценку состояния электрооборудования при визуальном осмотре без использования средств измерения (тепловизора, пирометра и пр.).

# **THERMO**ELECTRICA///

ООО «ТермоЭлектрика»

[www.thermoelectrica.com](http://www.thermoelectrica.com)

+7 (499) 130-62-30

info@thermoelectrica.com