

**М. Ю. Львов  
А. В. Лесив**

**ТЕРМОИНДИКАТОРНЫЙ  
КОНТРОЛЬ КОНТАКТОВ  
И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**Приложение к журналу  
«ЭНЕРГЕТИК»**

## Вниманию специалистов

Вышли в свет в 2022 году  
следующие выпуски «Библиотечки электротехника» —  
приложения к журналу «Энергетик»

№ 1. **Неуймин В. М.** Исследование вентиляционных процессов, сопровождающих эксплуатацию паровых турбин в режимах с малыми объёмными расходами пара

№ 2. **Перминов Э. М.** Современная возобновляемая энергетика. Ч. 1. Мировой опыт

№ 3. **Беляев А. В.** Высокоомная дифференциальная защита

№ 4 – 5. **Хренников А. Ю., Вахнина В. В., Кувшинов А. А., Александров Н. М.** Силовые трансформаторы в электрических сетях: испытания, диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг. Части 3, 4

№ 6. **Алехнович А. Н.** Снижение выбросов углекислого газа на ТЭС

№ 7 – 8. **Воротницкий В. Э., Могиленко А. В.** Снижение потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях. Сравнительный анализ зарубежного и отечественного опыта. Часть 3

№ 9. **Демидов Д. С., Колесников А. А.** Расчет трансформаторов напряжения 6 – 200 кВ

№ 10. **Шульга Р. Н., Хренников А. Ю.** Обеспечение надежной работы электрооборудования и инновационные разработки ВЭИ

№ 11. **Каргин С. В., Кузьмина И. В.** Метрологическое обеспечение предприятий электрических сетей

№ 12. **Шульга Р. Н., Хренников А. Ю.** Расчетные режимы, разработка и испытания высоковольтных выключателей для генераторов, трансформаторов, конденсаторных батарей. Часть 1. Расчетные режимы выключателей

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу «ПРЕССА РОССИИ» ([pressa-rf.ru](http://pressa-rf.ru)) —  
подписной индекс журнала **88983**;  
на сайте «Почта России» ([podpiska.pochta.ru](http://podpiska.pochta.ru)) —  
подписной индекс журнала **П7490**,  
а также в РЕДАКЦИИ

Адрес для переписки:  
129090, Москва, Щепкина, 8 (для журнала «Энергетик»)  
Тел. +7 (495) 234-74-21  
E-mail: [energetick@mail.ru](mailto:energetick@mail.ru)

# ***Библиотечка электротехника***

*Приложение к журналу «Энергетик»*

*Основана в июне 1998 г.*

Выпуск 8 (296)

**М. Ю. Львов**

**А. В. Лесив**

## **ТЕРМОИНДИКАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Москва

НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»

2023

УДК 621.315.1  
ББК 31.279  
Л89

DOI: 10.34831/EP.2023.296.8.001

**Львов М. Ю., Лесив А. В.**

- Л89 Термоиндикаторный контроль контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2023. — 64 с.: ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 8 (296)].

# **Библиотечка электротехника**

*Приложение к журналу «Энергетик»*

**Выпуск 8 (296)**

## **Редакционный совет «Библиотечки электротехника»**

**Г. Б. Лазарев, к.т.н., академик АЭН РФ (Председатель)**

Я. Л. Арцишевский, к.т.н., член-корр. академии АЭН РФ  
Баяр Бат-Эрдэнэ, к.т.н. (Монголия)

В. Э. Воротицкий, д.т.н., проф., академик АЭН РФ  
Ю. А. Дементьев

А. С. Исаков, д.т.н., академик АЭН РФ  
Ф. Л. Коган, д.т.н.

Ю. Г. Кононов, д.т.н., проф., академик АЭН РФ  
О. В. Крюков, д.т.н.  
В. Ф. Лачугин, д.т.н.

Оттерполь Хайнрих, дипл. инженер (ФРГ)  
Ю. В. Сербин, д.т.н., проф.

А. И. Таджикибаев, д.т.н., проф.  
В. И. Эдельман, д.э.н.

Э. М. Фархадзаде, д.т.н., проф. (Азербайджан)

## **Учредители**

Минэнерго России, ФСК ЕЭС  
Электроэнергетическая Ассоциация «Корпорация ЕЭЭК»  
НТФ «Энергопрогресс»  
Всероссийский Электропрофсоюз  
НП «Научно-технический совет ЕЭС»

## **Адрес учредителя и издателя АО «НТФ Энергопрогресс»**

129090, Москва, ул. Щепкина, 8

## **Адрес редакции**

129090, Москва, ул. Щепкина, 8

Тел. +7 495 234 74 21

<http://energetik.energy-journals.ru>

E-mail: [energetick@mail.ru](mailto:energetick@mail.ru)

Редактор Н. В. Олышанская

Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ № ФС77-37407 от 04.09.2009 г.; рег. орган Роскомнадзор

Цена свободная

# ***Bibliotekha Elektrotehnika***

Issue 8 (296). 2023

## **Editorial Council**

- G. B. Lazarev, Cand. Tech. Sci., Academician of the AES  
(Editor-in-Chief)
- Ya. L. Artsishevsky, Cand. Tech. Sci., Corr. Member of the AES  
B.-E. Bayar, Cand. Tech. Sci. (Mongolia)  
Yu. A. Dementiev  
V. I. Edelman, Dr. Econ. Sci., prof.
- E. M. Farkhadzade, Dr. Tech. Sci., prof. (Azerbaijan Republic)  
A. S. Iskhakov, Dr. Tech. Sci., Academician of the AES  
F. L. Kogan, Dr. Tech. Sci.
- Yu. G. Kononov, Dr. Tech. Sci., prof., Academician of the AES  
O. V. Kryukov, Dr. Tech. Sci.  
V. F. Lachugin, Dr. Tech. Sci.  
Otterpol Khainrikh, engineer (Germany)
- Yu. V. Serbin, Dr. Tech. Sci., prof.  
A. I. Tadzhibaev, Dr. Tech. Sci., prof.
- V. E. Vorotnitsky, Dr. Tech. Sci., prof., Academician of the AES

## **Founders**

Ministry of Energy of the Russian Federation  
Federal Grid Company of Unified Energy System  
Corporation Integral Electric Power Complex  
Scientific and Technical Firm «Energoprogress»  
All-Russia ElectraTrade Union  
Noncommercial Partnership «Scientific and Technical Council  
of the Unified Energy System»

## **Address**

8, Shchepkina str., Moscow, 129090 Russia

Phone: +7 495 234 74 21

E-mail: [energetick@mail.ru](mailto:energetick@mail.ru)

<http://energetic.energy-journals.ru>

Editor N. V. Olshanskaya

Produced and printed by Folium Publishing Co.:

157, Dmitrovskoe sh., Moscow 127411, Russia

Subscription index **88983** («Pressa Rossii»)

© Company «Energoprogress», «Energetik», 2023

# **ТЕРМОИНДИКАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**Львов М. Ю.**, доктор техн. наук  
АО «Объединенная энергетическая компания», НИУ «МЭИ», Москва  
lvovmy@uneco.ru

**Лесив А. В.**  
ООО «ТермоЭлектрика», Москва

В брошюре систематизированы действующие нормативные требования по контролю теплового состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи. Рассмотрены виды и типы термоиндикаторов, критерии их выбора и применения для контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи. Приведены рекомендации по применению термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок.

**Ключевые слова:** контакты, контактные соединения, термоиндикаторы, термоиндикаторный контроль, электрооборудование.

**THERMAL INDICATOR CONTROL  
CONTACTS AND CONTACT CONNECTIONS  
ELECTRICAL EQUIPMENT AND POWER TRANSMISSION LINES**

**Lvov M. Yu.**, Dr. Tech. Sci.  
JSC «United Energy Company», NRU «MEI», Moscow  
lvovmy@uneco.ru

**Lesiv A. V.**  
LLC «Thermoelectrica», Moscow

The brochure systematizes the current regulatory requirements for monitoring the thermal condition of contacts and contact connections of electrical equipment and power transmission lines. The types and types of thermal indicators, criteria for their selection and application for monitoring the condition of contacts and contact connections of electrical equipment and power transmission lines are considered. Recommendations on the use of thermal indicators for monitoring the condition of contacts and contact connections during the operation of electrical installations are given.

**Keywords:** contacts, contact connections, thermoindicators, thermoindicator control, electrical equipment.



## Предисловие

Одним из актуальных вопросов при эксплуатации электроустановок является контроль состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи. Своевременное выявление развития дефектов контактов и контактных соединений в процессе эксплуатации позволит предотвратить развитие аварийных ситуаций, которые могут привести к повреждению оборудования, возгораниям и пожарам.

Состояние контактов и контактных соединений в значительной степени определяется значением переходного контактного сопротивления. В процессе эксплуатации под влиянием различных факторов возможно увеличение переходного контактного сопротивления, что приводит к повышенному нагреву контакта (контактного соединения). При этом нагрев выше установленных допустимых температур может вызывать оплавление или отгорание контакта (контактного соединения), повреждение изоляции, возгорания и пожары.

Задача контроля контактов и контактных соединений — вовремя выявить наличие дефектов контактов (контактных соединений). При этом следует подчеркнуть, что возникновение недопустимого нагрева контакта (контактного соединения) зависит как от степени ухудшения переходного сопротивления контакта, так и от значения протекающего тока, зависящего от нагрузки электроустановки.

Одним из методов контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок является термоиндикаторный контроль.

В последнее время в энергетических компаниях достаточно активно развивается применение термоиндикаторных наклеек для оценки состояния контактов и контактных соединений. При этом следует отметить рост предложений от предприятий-изго-

товителей как в нашей стране, так и за рубежом по видам и номенклатуре термоиндикаторов.

В брошюре систематизированы действующие нормативные требования по контролю теплового состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи. Рассмотрены виды и типы термоиндикаторов, критерии их выбора и применения для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок.

**Замечания и пожелания по брошюре  
просим направлять по адресу:  
129090, Москва, ул. Щепкина, 8  
АО «Энергопрогресс»  
(для редакции журнала «Энергетик»)**

*Авторы*

## ГЛАВА ПЕРВАЯ

# Физические аспекты нагрева контактов и контактных соединений

В соответствии с ГОСТ 14312–79 «Контакты электрические. Термины и определения» [1]:

- контакт электрической цепи (контакт) — часть электрической цепи, предназначенная для коммутации и проведения электрического тока;
- контактное соединение — контакт электрической цепи, предназначенный только для проведения электрического тока и не предназначенный для коммутации электрической цепи при заданном действии устройства;
- переходное сопротивление контакта (контактного соединения) — электрическое сопротивление зоны контактирования, определяемое эффективной площадью контактирования и равное отношению падения напряжения на контактном переходе к току через этот переход.

Состояние контакта или контактных соединений определяется значением переходного контактного сопротивления, которое, в свою очередь, зависит от площади соприкосновения, приложенной силы сжатия и наличия изолирующих пленок (адгезионных, оксидных).

В процессе эксплуатации переходное контактное сопротивление может увеличиваться в силу ряда причин:

- уменьшения площади контактирования;
- ослабления нажима;
- возникновения на контакте оксидной пленки или нагара;
- разрушения поверхности металла из-за агрессивного воздействия химических веществ, электрохимического окисления и пр.

Переходное сопротивление очень чувствительно к окислению поверхности, поскольку все оксиды металлов являются диэлектриками. Удельное сопротивление у оксидов на несколько порядков больше, чем у чистых металлов. Так, например, для меди при температуре  $0^\circ\text{C}$  удельное сопротивление составляет  $1,62 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, а для оксида меди (CuO) — 8,2 Ом·м. Важно отметить, что скорость окисления металлов и, как следствие, скорость роста переходного контактного сопротивления в соответствии с законом Аррениуса экспоненциально зависит от температуры. Рост переходного контактного сопротивления приводит к избыточному нагреву контакта или контактного соединения при прохождении через него электрического тока.

Физическое объяснение нагрева проводника под действием электрического тока заключается в том, что электроны, упорядоченно двигаясь под действием электрического поля, в проводнике сталкиваются с атомами металла и передают им часть своей кинетической энергии, которая трансформируется в тепло. Количество выделяемого проводником тепла  $Q$  на рассматриваемом участке цепи за время  $t$  подчиняется закону Джоуля – Ленца, который дает количественную оценку теплового действия электрического тока:

$$Q = I^2 R t. \quad (1.1)$$

Формула (1.1) является интегральным представлением закона Джоуля – Ленца и справедлива при постоянной силе тока и однородном по длине проводника сопротивлении, которое также не изменяется во времени.

Нагрев участка цепи при прохождении по нему электрического тока будет продолжаться до тех пор, пока выделяемое тепло в единицу времени не сравняется со скоростью теплоотдачи, которую можно описать с помощью эмпирического закона Ньютона – Рихмана:

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha(T - T_{\text{окр}}), \quad (1.2)$$

где  $C$  — полная теплоемкость проводника;  $T$  — температура проводника;  $T_{\text{окр}}$  — температура окружающей среды;  $\alpha$  — эмпирический коэффициент теплоотдачи со всей поверхности проводника.

Формула (1.2) справедлива, если внутренняя теплопроводность намного больше, чем коэффициент теплоотдачи и внутри и на поверхности устанавливается почти однородная температура.

Равенство скорости нагрева и скорости теплоотдачи

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{\partial T}{\partial t}$$

приводит к установлению стационарной температуры проводника  $T$ , которая подчиняется соотношению

$$I^2 R = \alpha(T - T_{\text{окр}}). \quad (1.3)$$

Из (1.3) следует, что превышение температуры проводника над температурой окружающей среды прямо пропорционально квадрату силы тока, т.е. отношение квадрата силы тока  $I_1$  к квадрату  $I_2$  пропорционально отношению превышений температуры участка цепи при прохождении по нему этих токов:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{T_1 - T_{\text{окр}}}{T_2 - T_{\text{окр}}}. \quad (1.3)$$

Данное соотношение является ключевым для методов теплового контроля, так как позволяет рассчитать температуру контакта при значении тока, отличном от того, при котором было проведено измерение температуры.

## **Нормативные требования контроля контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи**

Требования к контактам и контактным соединениям при проектировании и производстве электротехнического оборудования и электротехнических устройств приведены в соответствующих ГОСТ.

Правила приемки и методики испытаний контактных соединений установлены в ГОСТ 17441–84 [2], в соответствии с которым определяется начальное электрическое соединение, проводятся испытания на нагревание номинальным (длительно-допустимым) током, испытания на надежность и прогнозирование среднего срока службы.

При эксплуатации электрооборудования и линий электропередачи (ЛЭП) для оценки состояния контактов и контактных соединений используется визуальный осмотр, тепловой контроль и измерения переходного контактного сопротивления контактов и контактных соединений. Задача контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок заключается в своевременном выявлении их дефектов. Основным методом контроля состояния контактов и контактных соединений в процессе эксплуатации электроустановок является тепловой контроль, так как он обеспечивает наибольшую диагностическую ценность для выявления дефектов контактов (контактных соединений) по определению температур нагрева. Кроме того, тепловой контроль позволяет выявлять дефекты контактов и контактных соединений на ранних стадиях развития без отключения оборудования и ЛЭП.

Предельные значения температур нагрева для различных контактов и контактных соединений приведены в различных ГОСТ и РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3]. Наибольшие допустимые значения температуры нагрева различаются для многих материалов и видов контактов и контактных соединений.

В Приложении систематизированы требования действующих нормативных документов в части установленных наибольших допустимых значений температур нагрева для различных контактов и контактных соединений, применяемых в электрооборудовании и ЛЭП, находящихся при эксплуатации в воздушной среде.

В соответствии с ГОСТ Р 53698–2009 [4] тепловой контроль — неразрушающий контроль, основанный на регистрации температурных полей объекта контроля. При этом применяют как неконтактные, так и контактные методы теплового контроля.

Неконтактный метод теплового контроля — метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации температуры при отсутствии непосредственного контакта чувствительного элемента теплового дефектоскопа с поверхностью объекта контроля. В практике эксплуатации электроустановок применяют тепловизионный метод теплового контроля, основанный на использовании средств тепловидения (тепловизоры).

Контактный метод теплового контроля — метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации температуры при непосредственном контакте чувствительного элемента теплового дефектоскопа с поверхностью контроля. В практике эксплуатации электроустановок применяют термоиндикаторный метод теплового контроля, основанный на визуальном изменении цвета термоиндикаторной наклейки при достижении заданной пороговой температуры нагрева, расположенной непосредственно на поверхности контролируемого узла.

В соответствии с требованиями РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3] прямое измерение переходного контактного сопротивления проводится только для болтовых контактных соединений неизолированных проводов ВЛ напряжением 35 кВ и выше, а также для шин и токопроводов на номинальный ток 1000 А и более, контактных соединений шин ОРУ напряжением 35 кВ и выше. При этом в [3] не указываются кон-

критические значения переходного контактного сопротивления, а приводятся лишь критерии, в соответствии с которым электрическое сопротивление участка соединяемых проводников, не должно превышать сопротивление целого участка цепи такой же длины больше чем в 2 раза для воздушных линий электропередачи (ВЛ) и 1,2 раза для соединителей на подстанциях. При удовлетворительных результатах тепловизионного контроля измерение переходного контактного сопротивления может не проводиться.

При визуальных осмотрах контактов и контактных соединений обращают внимание на возникновение трещин, коррозии, механических повреждений, проверяют геометрические размеры опрессованных контактных соединений проводов и грозозащитных тросов ВЛ и шин распределительных устройств.



## **Тепловизионный контроль контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи**

В соответствии с требованиями РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3] тепловизионный контроль предусмотрен для оценки состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП. Для осуществления тепловизионного контроля контактов и контактных соединений рекомендовано применять тепловизоры с заданными техническими характеристиками.

В отличие от измерения переходного сопротивления, тепловизионный контроль контактов и контактных соединений необходимо проводить под нагрузкой, без отключения оборудования и ЛЭП.

Тепловизионный контроль контактов и контактных соединений с применением тепловизоров имеет значительный многолетний опыт применения, показавший целесообразность, определенную эффективность и необходимость применения данного метода для контроля состояния контактов и контактных соединений.

Тепловизионный контроль позволяет определять абсолютную температуру контактов (контактных соединений) в момент проведения измерений. При обнаружении факта достижения наибольшего допустимого значения температуры нагрева контакта (контактного соединения) следует констатировать наличие аварийного дефекта контакта (контактного соединения) и принятия мер по его устранению. При этом следует подчеркнуть, что возникновение недопустимого нагрева контакта (кон-

тактного соединения) зависит как от степени ухудшения переходного сопротивления контакта (контактного соединения), так и от значения протекающего тока, зависящего от нагрузки электроустановки, а также от температуры окружающего воздуха.

Максимальный нагрев контакта (контактного соединения) происходит при максимальной нагрузке электроустановки и максимальной температуре окружающего воздуха. Поскольку значения нагрузочного тока и температуры окружающей среды меняются при эксплуатации электроустановки, эти параметры должны обязательно учитываться при проведении тепловизионного контроля.

Методология тепловизионного контроля контактов и контактных соединений, установленная в соответствии с РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3], а также РД «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ» [5], подразумевает не только выявление на момент проведения тепловизионного контроля контактов (контактных соединений), которые имеют температуру нагрева выше установленной наибольшей допустимой, но и выявление контактов (контактных соединений), которые на момент проведения измерений имеют температуру нагрева ниже установленной наибольшей допустимой, но при увеличении тока нагрузки электроустановки могут достичь установленных наибольших допустимых значений.

В этих целях при проведении тепловизионного контроля контактов (контактных соединений) применяются соответствующие методики оценки состояния, а именно:

- по температуре превышения, при токах нагрузки  $(0,6 - 1)I_{\text{ном}}$ ;
- по избыточной температуре, при токах нагрузки  $(0,3 - 0,6)I_{\text{ном}}$ , где  $I_{\text{ном}}$  — номинальный ток нагрузки.

При этом определены:

- превышение температуры — разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха;
- избыточная температура — превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях.

Также указывается, что тепловизионный контроль электрооборудования и токоведущих частей при токах нагрузки  $0,3I_{\text{ном}}$

и ниже не способствует выявлению дефектов на ранней стадии их развития.

Таким образом, методология оценки состояния контактов и контактных соединений с применением тепловизора предполагает следующую последовательность действий:

1) измерение температуры диагностируемого элемента (контакта, контактного соединения);

2) измерение тока в цепи на момент проведения тепловизионного контроля для расчета отношения рабочего тока нагрузки электрооборудования к номинальному ( $I_{\text{раб}}/I_{\text{ном}}$ );

3) оценка теплового состояния контакта (контактного соединения), осуществляемая расчетным путем по температуре превышения, либо по избыточной температуре в зависимости от значений тока нагрузки на момент проведения измерений.

В соответствии с требованиями [3, 5], если на момент проведения тепловизионного контроля ток нагрузки превышает  $0,6I_{\text{ном}}$ , то:

- вычисляют температуру превышения диагностируемого элемента (разницу между температурой окружающего воздуха и температуры элемента);
- определяют ток нагрузки;
- рассчитывают температуру превышения при номинальной нагрузке исходя из соотношения:

$$\frac{\Delta T_{\text{ном}}}{\Delta T_{\text{раб}}} = \left( \frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{раб}}} \right)^2, \quad (3.1)$$

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

- сравнивают полученное значение с допустимыми температурами нагрева для указанных контролируемых узлов в соответствии установленными требованиями [3].

В случае, если на момент проведения тепловизионного обследования ток нагрузки находится в диапазоне  $(0,3 - 6) I_{\text{ном}}$  оценка степени развития дефекта проводится на основании сравнения температур идентичных контактов (контактных соединений) различных участков цепи, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации (как правило, сравнение температур со-

седних фаз). Вывод о наличии возможного дефекта делается расчетным путем с использованием соотношения

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{\text{раб}}} = \left( \frac{0,5I_{\text{ном}}}{I_{\text{раб}}} \right)^2, \quad (3.2)$$

где  $\Delta T_{0,5}$  — избыточная температура при  $0,5I_{\text{ном}}$ .

Метод выявления дефектов контактов и контактных соединений с помощью избыточной температуры при токах нагрузки менее  $0,6I_{\text{ном}}$  имеет низкую диагностическую ценность. В российских и зарубежных источниках имеется значительный разброс значений избыточной температуры, которые рекомендуется рассматривать в качестве критерия аварийного дефекта. Диапазон значений избыточных температур, требующий вывода оборудования в ремонт, варьируется от 5 до 40 °С, что приводит в ряде случаев как к пропуску дефектов, так и к выводу в ремонт исправного оборудования.

На рис. 3.1 приведена диаграмма, иллюстрирующая зависимость абсолютной температуры контактного соединения от тока нагрузки. Области применения соответствующей методики тепловизионного контроля:

по температуре превышения

$$T_{\text{деф}} > T_{\text{окр}} + (T_{\text{наиб.доп}} - T_{\text{окр}}) \left( \frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{ном}}} \right)^2;$$

по избыточной температуре

$$T_{\text{деф}} > T_{\text{окр}} + 30 \left( \frac{I_{\text{раб}}}{0,5I_{\text{ном}}} \right)^2.$$

Несмотря на эффективность применения тепловизоров для осуществления контроля состояния контактов и контактных соединений, данный метод является достаточно трудоемким, требует применения специального оборудования и специально подготовленного персонала. Кроме того, не все участки электрической цепи и узлы электроустановок являются доступными для проведения тепловизионного контроля.

Оценка состояния контакта (контактного соединения) проводится расчетным путем исходя из значений тока нагрузки и температуры, полученным только на момент выполнения измере-

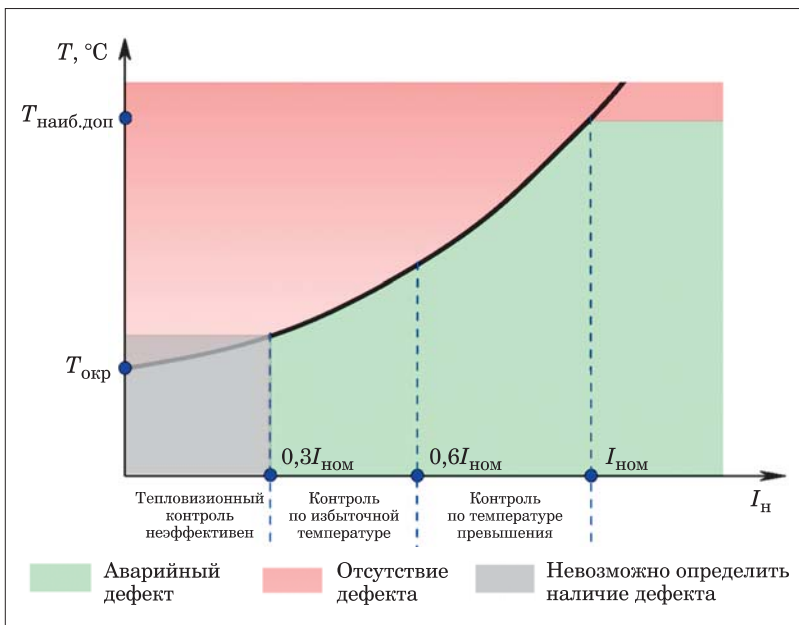


Рис. 3.1. Диаграмма, иллюстрирующая зависимость абсолютной температуры контактного соединения  $T$  от тока нагрузки  $I_n$

ний. При этом, в соответствии с требованиями [3] периодичность проведения тепловизионного контроля для электрооборудования распределительных устройств на напряжение 35 кВ и ниже составляет 1 раз в 3 года, а для напряжения 110 – 220 кВ — 1 раз в 2 года.

В этой связи следует отметить, что развитие дефектов контактов и контактных соединений до перехода в аварийный дефект может происходить быстрее, чем установленный срок периодичности тепловизионного контроля. При этом выявление возможного развития аварийного дефекта при токах нагрузки ниже  $0,6I_{\text{ном}}$  расчетным путем по избыточной температуре имеет достаточно невысокую диагностическую ценность, а при нагрузке  $0,3I_{\text{ном}}$  и ниже применение тепловизионного контроля для оценки состояния контактов (контактных соединений) в целом неэффективно.

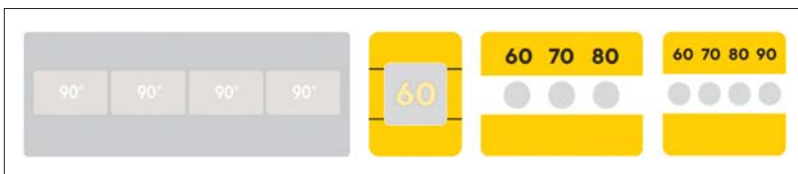
## **Применение термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок**

Термоиндикатор представляет собой специальную наклейку, изготовленную из композиционного материала, термочувствительные элементы которой изменяют окраску при достижении заданной температуры. При этом пороговое значение температуры срабатывания термоиндикатора (изменение цвета при достижении определенной температуры) обеспечивается при изготовлении.

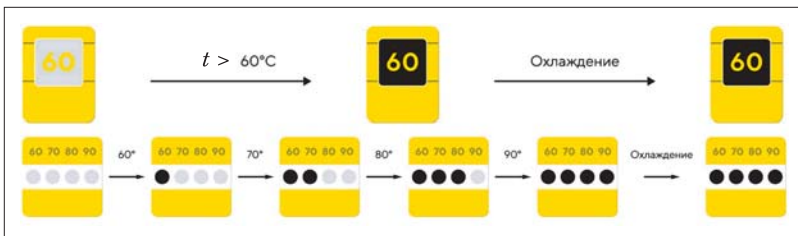
Различают два типа термоиндикаторов: обратимые (изменяющие окраску только в нагретом состоянии и возвращающие исходный цвет при охлаждении) и необратимые (изменяющие окраску после превышения заданной температуры и сохраняющие ее после охлаждения).

Также существует классификация термоиндикаторов по принципу действия:

- химические — индикаторы, в которых изменение цвета происходит за счет протекания химической реакции. Недостатком химических термоиндикаторов является возможность возврата цвета к исходному при длительной выдержке за счет обратимости реакций цветового перехода, а также зависимость температуры срабатывания от времени воздействия температуры в соответствии с законом Аррениуса;
- термоиндикаторы плавления — в которых цветовой переход связан с фазовым переходом (плавлением) одного из компонентов. Такие индикаторы обычно выполнены в форме наклеек, покрытых плавким веществом, преимущественно белого



*Рис. 4.1. Внешний вид однотемпературных и многотемпературных термоиндикаторных наклеек*



*Рис. 4.2. Принцип работы необратимых однотемпературных и многотемпературных термоиндикаторных наклеек*

цвета. При достижении заданной температуры термочувствительное вещество расплавляется и впитывается в полимерное связующее. Это приводит к цветовому переходу белый (исходное вещество) — прозрачный (твердый раствор термочувствительного вещества в полимере). В результате срабатывания белый цвет наклейки заменяется рисунком с проявлением заданного цвета, находящимся под термочувствительным материалом.

Для оценки состояния контактов и контактных соединений (контроля факта превышения температуры) используются только необратимые термоиндикаторы плавления. Необратимые термоиндикаторные наклейки могут быть выполнены в однотемпературном и многотемпературном вариантах.

На рис. 4.1 приведены примеры однотемпературных и многотемпературных термоиндикаторных наклеек. На рис. 4.2 показан принцип работы однотемпературных и многотемпературных термоиндикаторных наклеек.

Очевидными достоинствами применения термоиндикаторов являются [6, 7]:

- 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 электроустановок;
- оценка состояния контакта (контактного соединения) и выявление наличия и развития дефектов контактов и контактных соединений по результатам визуальной оценки срабатывания термоиндикатора.

В соответствии с требованиями п. 499 Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [8] установлена периодичность осмотра оборудования распределительных устройств без отключения от сети: на объектах с постоянным дежурным персоналом — не реже 1 раза в сутки, на объектах без постоянного дежурного персонала — не реже 1 раза в месяц, для трансформаторных и распределительных пунктов — не реже 1 раза в 6 мес. Также в зависимости от ряда факторов устанавливаются требования по проведению внеочередных осмотров. Применение термоиндикаторов позволяет осуществлять визуальный контроль состояния контактов (контактных соединений) при проведении плановых и внеплановых осмотров электроустановок оперативным персоналом, периодичность которых значительно чаще, чем установленная периодичность проведения тепловизионного контроля.

Применение термоиндикаторов также позволяет проводить оценку теплового состояния контактов (контактных соединений) в недоступных для тепловизионного обследования местах, в том числе при осмотре контактов (контактных соединений) при проведении работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, проводимых в соответствии с требованиями Правил организации технического обслуживания и ремонтов объектов энергетики [9].

Максимальный нагрев контакта (контактного соединения) происходит при максимальной нагрузке электроустановки и максимальной температуре окружающего воздуха. В этой связи подчеркнем, что термоиндикатор за счет непрерывности контроля теплового состояния и необратимости срабатывания позволяет при визуальном осмотре фиксировать факт достижения (либо недостижения) установленных пороговых значений температур, которые были в любой момент эксплуатации электро-



установки до предыдущего осмотра. Это является одним из значимых факторов целесообразности и эффективности применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок.

Применение термоиндикаторов для фиксации достижения контактом (контактным соединением) предельного значения допустимой температуры в процессе эксплуатации электроустановки имеет несомненные преимущества по сравнению с применением тепловизора, а именно, термоиндикатор фиксирует достижение максимальной установленной температуры в любой момент эксплуатации (если она достигалась), и в силу необратимости термоиндикатора при визуальном осмотре электроустановки данный факт будет установлен.

Преимущество необратимых многотемпературных термоиндикаторов заключается в том, что они позволяют определять степень развития дефекта, а также выявлять исправные контакты или контактные соединения.

## ГЛАВА ПЯТАЯ

# Требования к термоиндикаторам для контроля состояния контактов и контактных соединений

Применение термоиндикаторов не должно сказываться на надёжности и безопасности эксплуатации электроустановок, а также усложнять проведение их технического обслуживания. В этой связи отметим важность таких параметров термоиндикаторов, как:

- адгезия;
- электрическая прочность;
- эластичность;
- горючесть и воспламеняемость;
- срок службы.

Также к группе технических характеристик необходимо отнести толщину термоиндикаторной наклейки. Использование термоиндикаторов толщиной более 1 мм может негативно сказаться на отводе тепла от греющегося контакта и ускорить развитие дефекта. Окантовка термоиндикатора (цвет фона) должна совпадать с цветовой маркировкой фазы для исключения ошибки при проведении монтажа или ремонтных работ.

Необходимо различать требования к термоиндикаторам, предназначенным для применения в электроустановках в закрытых распределительных устройствах (ЗРУ), и термоиндикаторам для применения на открытых распределительных устройствах (ОРУ) и ВЛ.

Требования к функциональным характеристикам термочувствительного элемента должны обеспечивать необходимую точность и необратимость регистрации нагрева. Важно отметить, что температура элементов электрооборудования и ЛЭП зави-

сит от тока нагрузки, который может меняться во времени. Таким образом, температура контактов (контактных соединений) также может изменяться во времени, причем в достаточно широком диапазоне. В этой связи цветовой переход при достижении пороговой температуры должен происходить достаточно быстро, а термоиндикаторы должны быть устойчивы к множественным циклам нагрева или охлаждения, сохранять окраску при охлаждении после срабатывания, а также не изменять исходный цвет при длительной эксплуатации.

В полной мере таким требованиям отвечают только термоиндикаторы плавления, в основу работы которых положен принцип фазового перехода.

Анализ характеристик, предлагаемых предприятиями-изготовителями термоиндикаторов с учетом уровня применяемых материалов и технологий, а также результаты исследований и накопленный опыт применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок позволяет сформулировать основные требования к термоиндикаторам для контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП при эксплуатации электроустановок (табл. 5.1, 5.2) [10].

**Т а б л и ц а 5.1. Основные требования к многотемпературным индикаторам для применения в электроустановках ЗРУ**

Параметр/характеристики	Требуемое значение
Тип индикации	Необратимый
Цветовой переход	Белый — чёрный
Требования к термочувствительному элементу	Допустимый диапазон срабатывания установленного порогового значения $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Требования к клеевому слою и адгезии	Адгезия FINAT TM1 после 24 ч не менее 15 Н/25 мм
Окантовка термоиндикатора	Окантовка термоиндикаторов, предназначенных для установки на контакты и контактные соединения электрооборудования, должна соответствовать цветовой маркировке фаз
Пожароустойчивость	Термоиндикаторы не должны поддерживать горение и должны классифицироваться как трудногорючие вещества в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89

Параметр/характеристики	Требуемое значение
Электрическая прочность (ГОСТ 6433.3–71), кВ/мм, не менее	15
Толщина термоиндикатора, мм, не более	0,5
Классификация по степени воздействия на организм человека	Малоопасные согласно ГОСТ 12.1.007–76, в частности термоиндикаторы не должны выделять вредные вещества
Устойчивость к механическим воздействиям, органическим растворителям и смазочным материалам	Должны сохранять функциональные свойства при кратковременном воздействии уайт-спирита и смазочных материалов
Срок службы	Не менее 10 лет с даты изготовления

**Т а б л и ц а 5.2. Основные требования к однотемпературным термоиндикаторам для применения на ОРУ и ВЛ**

Параметр/характеристики	Требуемое значение
Тип индикации	Необратимый
Цветовой переход	Белый — чёрный
Требование к термочувствительному элементу	Допустимый диапазон срабатывания установленного порогового значения $\pm 2^\circ\text{C}$
Требования к клеевому слою	Клеевой слой термоиндикатора должен обеспечивать прочную фиксацию на всех элементах оборудования, необходимую для надежного функционирования термоиндикаторов на протяжении всего срока службы в условиях: <ul style="list-style-type: none"> <li>– температурного воздействия на термоиндикатор от <math>-50</math> до <math>+150^\circ\text{C}</math>;</li> <li>– устойчивость термочувствительного и клеевого слоя к морской воде (DINENISO 9227): отсутствие изменений при наклеивании на алюминий после 100 ч при <math>23^\circ\text{C}</math></li> </ul>
Температура монтажа, $^\circ\text{C}$ , не менее	+5
Требования к адгезии	Адгезия FINAT TM1 после 24 ч, нержавеющая сталь — не менее 15 Н/25 мм
Площадь термочувствительного слоя, $\text{мм}^2$ , не менее	3000
Размер термоиндикатора, мм, не менее	150 × 60

Параметр/характеристики	Требуемое значение
Видимость цветового перехода на расстоянии, м, не менее	50
Окантовка термоиндикатора	Окантовка должна иметь серебристую окраску и обладать световозвращающими свойствами
Пожароустойчивость	Термоиндикаторные наклейки не должны поддерживать горение и должны классифицироваться как трудногорючие вещества в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89
Электрическая прочность (ГОСТ 6433.3–71), кВ/мм, не менее	15
Толщина термоиндикаторной наклейки, мм, не более	0,5
Классификация по степени воздействия на организм человека	Малоопасные согласно ГОСТ 12.1.007–76, в частности термоиндикаторные наклейки не должны выделять вредные вещества
Срок службы	Не менее 10 лет с даты изготовления

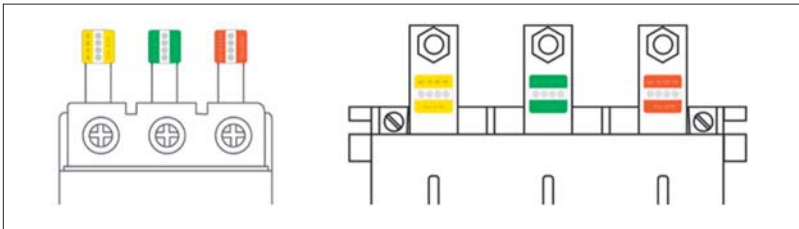
## ГЛАВА ШЕСТАЯ

# Установка термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи

Термоиндикаторные наклейки необходимо устанавливать с соблюдением действующих Правил охраны труда при эксплуатации электроустановок [11].

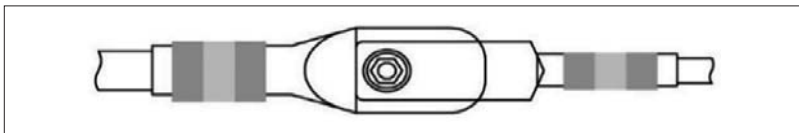
Установка должна проводиться со снятием напряжения с электроустановки. Возможна установка термоиндикаторных наклеек без снятия напряжения при условии включения данной работы в утвержденный техническим руководителем объекта перечень работ, выполняемых под напряжением и при условии выполнения других обязательных требований, установленных действующими Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок при выполнении работ под напряжением.

Термоиндикатор следует размещать максимально близко к контролируемым элементам таким образом, чтобы они не пре-

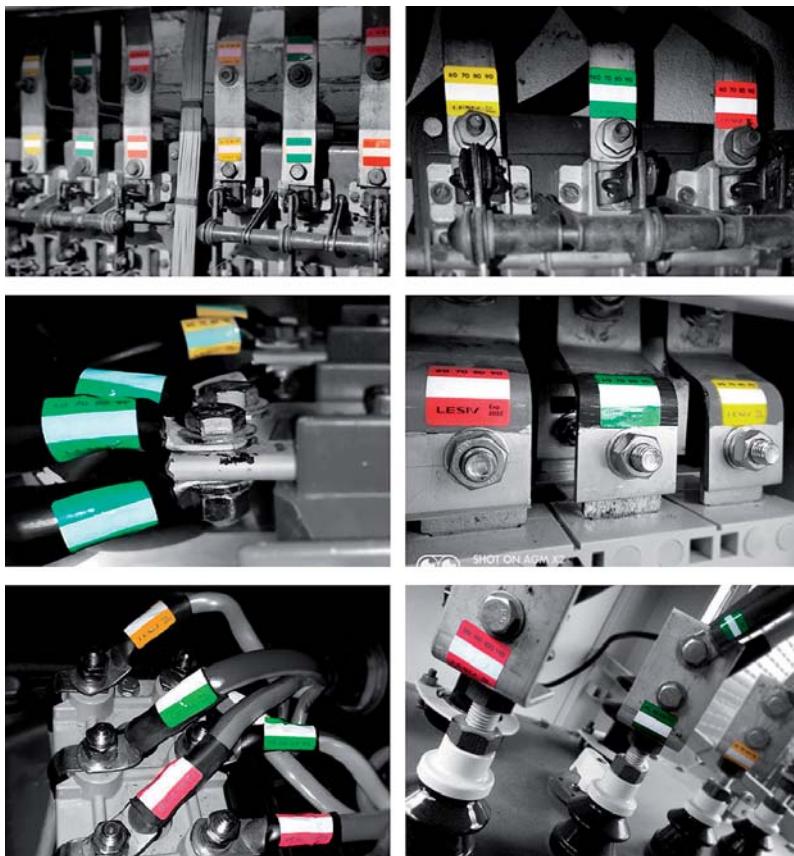


*Рис. 6.1. Способ установки термоиндикатора на поверхность элемента электрооборудования*

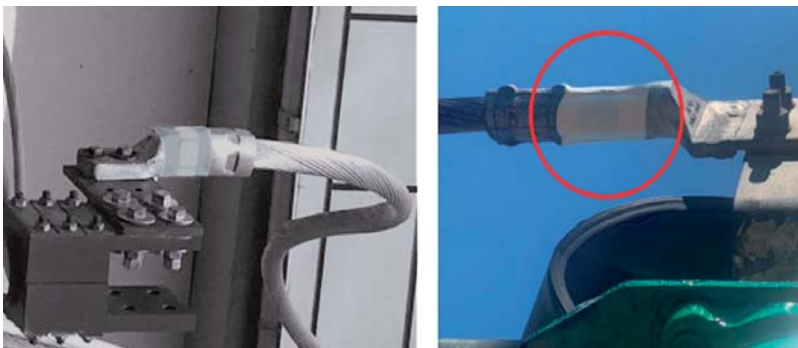
пятствовали работе электрооборудования, проведению технического обслуживания и ремонтных работ. При наличии термо-



*Рис. 6.2. Способ установки термоиндикатора на элементы электрооборудования и ЛЭП «в кольцо»*



*Рис. 6.3. Примеры установки многотемпературных термоиндикаторов*



*Рис. 6.4. Примеры установки однотемпературного термоиндикатора на аппаратных зажимах электрооборудования и элементов ЛЭП с установкой в «кольцо»*

усадочного изоляционного слоя термоиндикатор следует размещать поверх него.

Термоиндикатор необходимо устанавливать на элементы электрооборудования и ЛЭП таким образом, чтобы термочувствительный элемент был хорошо видимым при проведении визуального осмотра. Возможно два варианта установки термоиндикаторов (рис. 6.1, 6.2).

Поверхность, на которую устанавливаются термоиндикаторы, предварительно должна быть очищена от загрязнений и обезжирена.

Термоиндикаторы должны устанавливаться при температуре окружающего воздуха не менее  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Установка термоиндикатора на элементы ОРУ и ВЛ должна проводиться в отсутствие осадков (снега, дождя, росы).

При установке термоиндикатора не допускается:

- отклеивание и повторное наклеивание термоиндикатора;
- наклеивание термоиндикатора на неподготовленную поверхность;
- разрезание и повреждение термоиндикатора.

Примеры установки термоиндикаторов на элементах электрооборудования и ЛЭП показаны на рис. 6.3 и 6.4.



## **Выбор температурного диапазона термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений электроустановок ЗРУ**

Выбор температурного диапазона срабатывания термоиндикатора является важным и неотъемлемым элементом применения термоиндикаторов для оценки состояния контакта (контактного соединения).

В табл. 7.1 приведены предельные допустимые температуры нагрева и предельные температуры превышения для различных контактов и контактных соединений, применяемых в электроустановках [3].

В соответствии с требованиями [3] выход значений параметров за установленные границы (допустимые значения) следует рассматривать как признак наличия дефектов, которые могут привести к отказу оборудования.

При нагреве выше установленных наибольших допустимых температур может происходить оплавление и отгорание контакта (контактного соединения), повреждение изоляции, возгорание, пожар. Таким образом, при обнаружении факта достижения наибольшего допустимого значения температуры нагрева контакта (контактного соединения) следует констатировать наличие аварийного контакта и принятия мер по его устранению.

Из табл. 7.1 видно, что диапазон значений наибольших допустимых температур для контактов и контактных соединений в зависимости от применяемых материалов находится в пределах 75 – 120 °С. Современные термоиндикаторы, предлагаемые

**Т а б л и ц а 7.1. Наибольшие допустимые значения температуры нагрева и превышения температуры**

Контролируемые узлы	Наибольшее допустимое значение, °С	
	температуры нагрева	превышения температуры
1. Контакты из меди и медных сплавов: без покрытий, в воздухе	75	35
с накладными серебряными пластинами, в воздухе	120	80
с покрытием серебром или никелем, в воздухе	105	65
с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм	120	80
с покрытием оловом, в воздухе	90	50
2. Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей: без покрытия	90	50
с покрытием оловом, серебром или никелем	105	65
3. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: без покрытия, в воздухе	90	50
с покрытием оловом, в воздухе	105	65
с покрытием серебром или никелем, в воздухе	115	75
4. Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше (соединения из меди, алюминия и их сплавов в воздухе без покрытий/с покрытием оловом): с разъемным контактным соединением, осуществляемым пружинами	75/95	35/55
с разборным соединением (нажатие болтами или винтами), в том числе выводы предохранителя металлические части, используемые как пружины	90/105	50/65
из меди	75	35
из фосфористой бронзы и аналогичных сплавов	105	65

предприятиями-изготовителями, имеют точность срабатывания заданной температуры  $\pm 2^\circ\text{C}$ , что является достаточным для констатации факта наличия дефекта контакта (контактного соединения) при их применении.

В этой связи подчеркнем, что термоиндикатор за счет непрерывности контроля теплового состояния и необратимости срабатывания позволяет при визуальном осмотре фиксировать факт достижения (либо недостижения) установленных поро-

вых значений температур в любой момент в процессе эксплуатации электроустановки.

Применение однотемпературного термоиндикатора, наклеенного на соответствующий узел, при визуальном осмотре по факту его срабатывания (изменения цвета) позволяет однозначно устанавливать факт достижения наибольшей допустимой температуры нагрева контакта (контактного соединения), что позволяет выявить наличие аварийного состояния контакта (контактного соединения). При этом необходимо подбирать термоиндикатор с соответствующей температурой срабатывания, значение которой должно соответствовать установленному наибольшему допустимому значению температуры нагрева для данного контакта (контактного соединения) в соответствии с табл. 7.1.

Задача контроля контактов и контактных соединений — своевременное выявление наличия дефектов контактов (контактных соединений). При этом следует подчеркнуть, что на температуру нагрева контакта (контактного соединения) влияет как степень ухудшения переходного сопротивления контакта (контактного соединения), так и значение протекающего тока, зависящего от нагрузки электроустановки, а также от температуры окружающего воздуха. В соответствии с п. 487 Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [8] температура воздуха внутри помещений ЗРУ в летнее время должна быть не выше 40 °С.

Преимущество многотемпературных термоиндикаторов заключается в том, что они дают возможность определять не только факт достижения одной установленной наибольшей допустимой температуры нагрева, но и фиксировать определенный диапазон температур, до которого нагревался контакт (контактное соединение) в период между осмотрами. Термоиндикаторы также позволяют оценить, что температура контакта (контактного соединения) не достигала определенных установленных значений за весь период эксплуатации электроустановки до ее осмотра, в том числе при любых значениях тока нагрузки и температуры окружающего воздуха, которые могли меняться в процессе эксплуатации.

Отсутствие срабатывания нижнего порогового значения термоиндикатора должно свидетельствовать об отсутствии развития дефекта контакта (контактного соединения). А именно, при увеличении нагрузки электроустановки вплоть до номинальной, температура контакта (контактного соединения) не должна превышать наибольшую допустимую температуру. Для оценки такой пороговой температуры, свидетельствующей об отсутствии развития дефекта контакта (контактного соединения), целесообразно использовать критерии оценки обнаружения развития дефектов по значениям превышения температуры, приведенным в [3]. При этом, как указано, для каждого конкретного вида контакта (контактного соединения), наибольшее допустимое значение превышения температуры на  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже установленного наибольшего допустимого значения температуры нагрева контакта (контактного соединения).

Зависимость для расчета температуры  $T_{\text{д}}$ , характеризующей развитие аварийного дефекта контакта (контактного соединения) по температуре превышения, представляется в виде [7]:

$$T_{\text{д}} > T_{\text{окр}} + (T_{\text{ном}} - 40) \left( \frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{ном}}} \right)^2,$$

где  $T_{\text{окр}}$  — температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{ном}}$  — нормированное наибольшее допустимое значение превышения температуры при номинальном токе нагрузки.

Выполненные расчеты с использованием указанной зависимости показывают, что температура контактов (контактных соединений), имеющих развивающийся дефект, оцениваемая по установленным наибольшим допустимым значениям превышения температуры, при токах нагрузки более  $0,6I_{\text{ном}}$  и при максимальной температуре окружающего воздуха  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  для контактов (контактных соединений) превышает  $52 - 69\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от типа контакта (контактного соединения).

Таким образом, недостижение контактом (контактным соединением) температуры нагрева, равной значению  $T_{\text{д}}$  можно считать достаточным критерием для оценки отсутствия развития дефекта контакта (контактного соединения). Поскольку значения верхней и нижней контролируемых температур для кон-

кредного контакта (контактного соединения) значительно различаются, целесообразно контролировать промежуточные значения температур, позволяющие оценить степень развития дефекта, а также динамику развития дефекта во времени.

На основании проведенного анализа и накопленного опыта эксплуатации термоиндикаторов представляется наиболее целесообразным проводить контроль состояния контактов (контактных соединений) по четырем температурам [10]. В определенных случаях, при ограниченном месте для размещения термоиндикатора, возможно применение трехтемпературного термоиндикатора. При этом нижнее и верхнее пороговые значения температур срабатывания должны соответствовать значениям четырехтемпературного термоиндикатора.

Предлагаемые различными предприятиями-изготовителями термоиндикаторы с четырьмя и тремя диапазонами температур срабатывания изготавливаются и предлагаются в различных вариантах исполнения.

Результаты проведенных исследований и обобщение опыта эксплуатации по тепловому контролю состояния контактов и контактных соединений позволяют оптимизировать выбор контролируемых диапазонов температур при применении тер-

**Таблица 7.2. Значения контролируемых с помощью термоиндикатора температур в зависимости от наибольшей допустимой температуры нагрева**

Наибольшая допустимая температура нагрева, °С	Контролируемые термоиндикатором температуры, °С
75	50 – 60 – 70 – 80
80	
85	60 – 70 – 80 – 90
90	
95	60 – 70 – 80 – 100
100	
105	60 – 80 – 90 – 110
110	
115	70 – 90 – 100 – 120
120	

**Т а б л и ц а 7.3. Значения контролируемых с помощью термоиндикатора температур для разлчных узлов электрооборудования**

Контролируемые узлы	Наибольшая допустимая температура нагрева, °С	Контролируемые термоиндикатором температуры, °С
<p>1. Контакты из меди и медных сплавов: без покрытий, в воздухе с накладными серебряными пластинами, в воздухе</p> <p>с покрытием серебром или никелем, в воздухе</p> <p>с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм</p> <p>с покрытием оловом, в воздухе</p>	<p>75</p> <p>120</p> <p>105</p> <p>120</p> <p>90</p>	<p>50 – 60 – 70 – 80</p> <p>70 – 90 – 100 – 120</p> <p>60 – 80 – 90 – 110</p> <p>70 – 90 – 100 – 120</p> <p>60 – 70 – 80 – 90</p>
<p>2. Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей: без покрытия</p> <p>с покрытием оловом, серебром или никелем</p>	<p>90</p> <p>105</p>	<p>60 – 70 – 80 – 90</p> <p>60 – 80 – 90 – 110</p>
<p>3. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: без покрытия, в воздухе</p> <p>с покрытием оловом, в воздухе</p> <p>с покрытием серебром или никелем, в воздухе</p>	<p>90</p> <p>105</p> <p>115</p>	<p>60 – 70 – 80 – 90</p> <p>60 – 80 – 90 – 110</p> <p>70 – 90 – 100 – 120</p>
<p>4. Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше (соединения из меди, алюминия и их сплавов в воздухе без покрытий/с покрытием оловом): с разъемным контактным соединением, осуществляемым пружинами</p> <p>с разборным соединением (нажатие болтами или винтами), в том числе выводы предохранителя</p> <p>металлические части, используемые как пружины из меди</p> <p>из фосфористой бронзы и аналогичных сплавов</p>	<p>75/95</p> <p>90/105</p> <p>75</p> <p>105</p>	<p>50 – 60 – 70 – 80/60 – 70 – 80 – 100</p> <p>60 – 70 – 80 – 90/60 – 80 – 90 – 110</p> <p>50 – 60 – 70 – 80</p> <p>60 – 80 – 90 – 110</p>

моиндикаторов в зависимости от установленных значений наибольшей допустимой температуры нагрева.

В табл. 7.2 приведены рекомендуемые диапазоны контролируемых термоиндикатором температур контактов (контактных соединений) в зависимости от установленной наибольшей допустимой температуры нагрева, в табл. 7.3 — рекомендуемые контролируемые термоиндикатором температуры для различных узлов электрооборудования, а также установленная наибольшая допустимая температура нагрева.

## **Оценка состояния контактов и контактных соединений электроустановок ЗРУ при применении термоиндикаторов**

Результаты проведенных исследований и накопленный опыт применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений электроустановок позволяет построить методологию оценки состояния по результатам визуального осмотра (табл. 8.1) [7, 10].



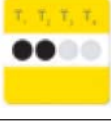
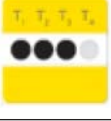

Диапазон температур срабатывания термоиндикатора выбирается в зависимости от установленной наибольшей допустимой температуры нагрева контакта (контактного соединения) в соответствии с табл. 7.3.

При оценке состояния контактов (контактных соединений) по результатам визуального осмотра термоиндикаторов следует отметить:

- температура срабатывания верхнего порогового значения термоиндикатора должна соответствовать установленной наибольшей допустимой температуре нагрева контакта (контактного соединения);
- наличие срабатывания всех пороговых значений термоиндикатора однозначно свидетельствует о наличии аварийного дефекта контакта (контактного соединения), так как максимальное (четвертое) пороговое значение срабатывания термоиндикатора свидетельствует о достижении установленной наибольшей температуры нагрева;
- при срабатывании термоиндикатора в 1 – 3-м диапазонах температур при наличии данных о максимальной нагрузке с момента предыдущего осмотра можно оценить степень развития



Т а б л и ц а 8.1. Оценка состояния контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторов

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

Примечание:

*Начальная степень развития дефекта.* Следует держать под контролем и принимать меры по устранению во время проведения технического обслуживания или ремонта.

*Развившийся дефект.* Принять меры по устранению дефекта при ближайшем выводе электрооборудования из работы.

*Аварийный дефект.* Требуется немедленного устранения.

дефекта и при необходимости провести внеочередной контроль с помощью тепловизора;

- при визуальном осмотре термоиндикаторов целесообразно проводить сравнение состояния термоиндикаторов с соседними фазами.

Применение необратимых термоиндикаторов позволяет визуально определять факт достижения/недостижения контактом установленных пороговых значений температуры в процессе эксплуатации, в том числе при любых изменениях нагрузки электроустановки, и изменениях температуры окружающего воздуха.

Термоиндикатор необратимо фиксирует максимальный нагрев контакта (контактного соединения) при максимальной нагрузке электроустановки и/или максимальной температуре окружающего воздуха. Это является одним из значимых факторов целесообразности и эффективности применения термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений.

Термоиндикаторный контроль контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторных наклеек позволяет осуществлять контроль их состояния при каждом визуальном осмотре без применения специальных средств измерений, при этом реализовывать методологию оценки состояния контактов и контактных соединений в соответствии с требованиями [3].

## ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

# Контроль теплового состояния контактных соединений ОРУ и ВЛ

Для теплового контроля контактных соединений ОРУ и ВЛ целесообразно использовать однотемпературные термоиндикаторы. При этом термоиндикаторные наклейки должны удовлетворять требованиям в соответствии с табл. 9.1.

Для теплового контроля контактных соединений ОРУ и ВЛ целесообразно использовать однотемпературные термоиндикаторы с пороговыми температурами 60 или 90 °С в зависимости от условий эксплуатации. Факт срабатывания термоиндикатора является основанием для проведения внеочередного тепловизионного контроля элемента (элементов) ОРУ и ВЛ или проведения ремонтных работ.

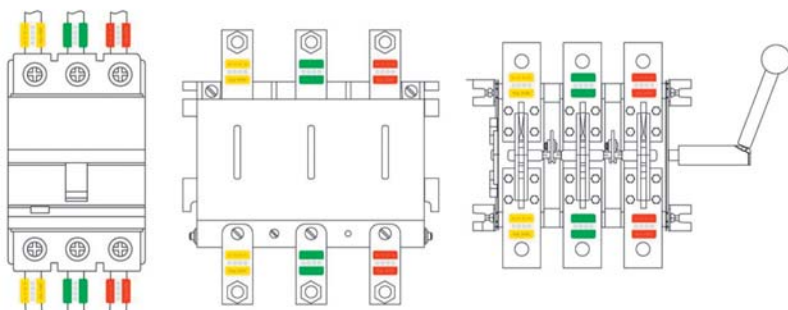
**Таблица 9.1. Допустимые температуры нагрева элементов ОРУ и ВЛ и рекомендуемые температуры контроля**

Контролируемый элемент	Наибольшая допустимая температура, °С
Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: без покрытия с покрытием оловом с покрытием серебром или никелем	90
	105
	115
Контактные соединения на аппаратных зажимах съемных (разборных) вводов ВН, СН, НН силовых трансформаторов (автотрансформаторов), регулировочных и заземляющих трансформаторов, шунтирующих реакторов. Контактные соединения на аппаратных зажимах съемных линейных вводов	105

## ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

# Примеры применения термоиндикаторов на элементах электрооборудования и линий электропередачи

**Контактные соединения шин и проводов на выводах электротехнических устройств до 1000 В (выключателей, разъединителей, магнитных пускателей, контакторов и пр.)**



Тип контактного соединения/контакта	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
Проводники из меди и алюминия без защитных покрытий	95	60 – 70 – 80 – 100
Проводники из меди и алюминия с защитными покрытиями	110	60 – 80 – 90 – 110
Проводники (провода) с поливинилхлоридной изоляцией	70	50 – 55 – 60 – 70

## Наконечники и разделки концевых кабельных муфт до и выше 1000 В

Для концевых кабельных муфт отсутствуют нормируемые наибольшие допустимые значения нагрева, также они отсутствуют в инструкциях заводов-изготовителей.

Следует указать, что метод контроля теплового состояния концевых кабельных муфт для оценки их состояния имеет ограниченную диагностическую ценность. Основными причинами повреждения концевых муфт при эксплуатации являются проявление скрытых заводских дефектов и дефекты монтажа. При этом развитие повреждения концевой муфты в ряде случаев может сопровождаться нагревом, а иногда развитие дефекта до повреждения — частичными разрядами без распределенного повышенного нагрева.

Вместе с тем, при развитии дефектов концевых муфт сопровождающихся повышенным нагревом, применение контроля с помощью термоиндикаторов позволяет выявлять развитие аварийного дефекта.

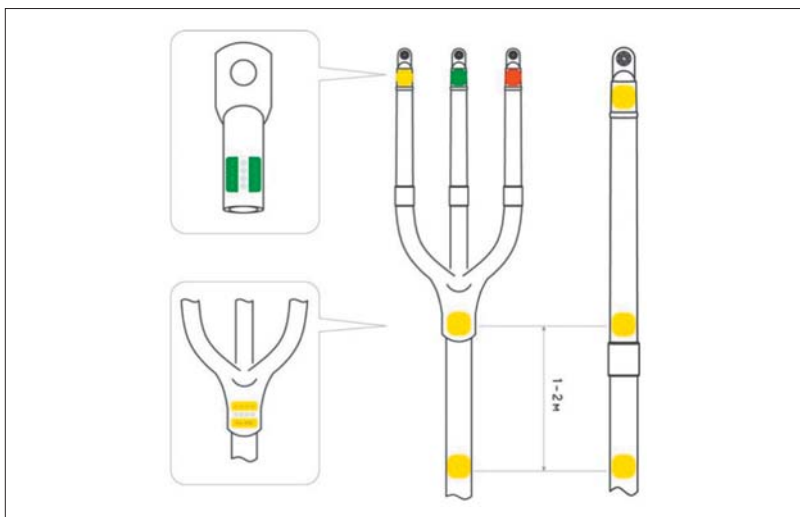
При установке термоиндикаторных наклеек на кабельные муфты следует учитывать следующее:

- запрещается устанавливать термоиндикаторы непосредственно на изоляторы кабельной муфты;
- установку термоиндикаторов следует проводить в двух местах — либо выше изоляторов на кабельных наконечниках, либо ниже изоляторов в месте начала разделки кабеля и с отступлением от этого места приблизительно на 1 м.

Примеры установки термоиндикаторов на концевых кабельных муфтах отражены на рисунке.

В таблице приведены наибольшие допустимые и контролируемые с применением термоиндикаторов температуры нагрева контактных соединений концевых кабельных муфт 6 – 20 кВ.

Тип изоляции кабеля	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
ПВХ	70	50 – 55 – 60 – 70
Из вулканизирующегося (сшитого) полиэтилена	90	60 – 70 – 80 – 90
С пропитанной бумажной изоляцией	65	50 – 55 – 60 – 70



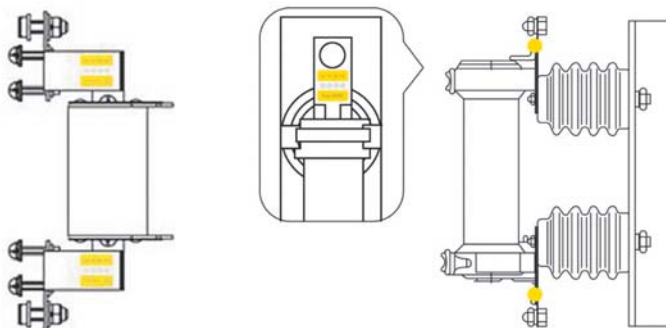
Полное срабатывание всех нанесенных на термоиндикатор температурных точек свидетельствует о наличии аварийного дефекта.

По превышению температуры в месте разделки муфты над температурой в другом месте (выше или ниже контролируемой точки) можно сделать вывод о наличии дефекта в муфте, а именно: чем выше превышение температуры, тем больше вероятность наличия дефекта. При этом следует учитывать, что при наклейке термоиндикатора близко к кабельным наконечникам последние могут также срабатывать при наличии дефекта непосредственно в контактном соединении кабельного наконечника или болтовом контактном соединении (в месте присоединения кабельного наконечника к выводам от шин или аппаратных выводов).

Контактные соединения в кабельных наконечниках кабелей 0,4 – 20 кВ выполняются методом обжатия или пайки, при этом кабельные наконечники выполняются из меди, алюминия или их сплавов. Данные типы контактных соединений не имеют нормированных наибольших допустимых температур нагрева. Поскольку наконечники кабельных линий присоединяются в электроустановках непосредственно к отводам шин или аппаратных выводов (зажимов) электрооборудования через болтовые контактные соединения, следует учитывать следующее:

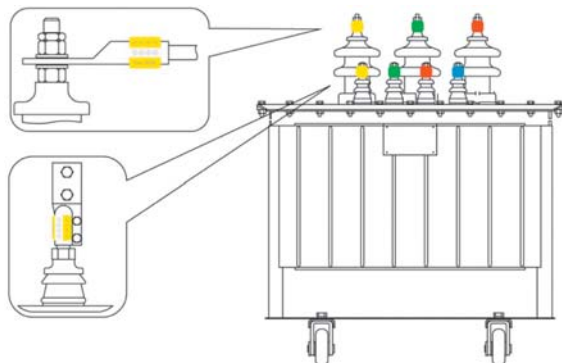
- срабатывание термоиндикатора, установленного непосредственно на кабельный наконечник, может свидетельствовать о наличии дефекта как в контактном соединении кабельного наконечника, так и в болтовом контактном соединении;
- при установке термоиндикатора поверх термоусадочного изоляционного слоя на наконечнике следует учитывать тепло-рассеяние, что может уменьшать температуру на 10 – 20 °С (в зависимости от толщины);
- срабатывание термоиндикатора показывает на наличие дефекта либо в болтовом контактном соединении, либо непосредственно в контактном соединении кабельного наконечника.

### Контакты плавких предохранителей до и выше 1000 В



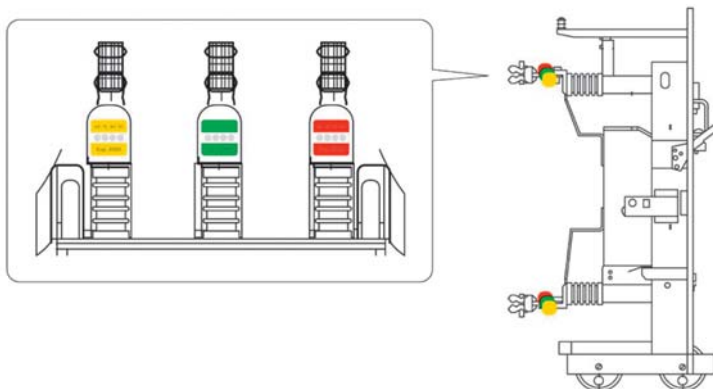
Тип контактного соединения/контакта	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
Пружинные контакты предохранителей до 1 кВ без оболочки:		
медные без покрытия	80	50 – 60 – 70 – 80
латунные без покрытия	85	60 – 70 – 80 – 90
луженые	95	60 – 70 – 80 – 100
никелированные	110	60 – 80 – 90 – 110
Пружинные контакты из меди и медных сплавов предохранителей 6 кВ и выше:		
без покрытия	75	50 – 60 – 70 – 80
с покрытием серебром или никелем	105	60 – 80 – 90 – 110
с покрытием оловом	95	60 – 70 – 80 – 100

## Контактные соединения на аппаратных зажимах вводов ВН, СН, НН силовых трансформаторов 6 – 20 кВ ЗРУ



Тип контактного соединения/контакта	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
Аппаратный зажим	105	60 – 80 – 110
Наконечник кабеля с изоляцией из ПВХ	70	50 – 55 – 60 – 70
Наконечник кабеля с изоляцией из вулканизирующегося (сшитого) полиэтилена	90	60 – 70 – 80 – 90

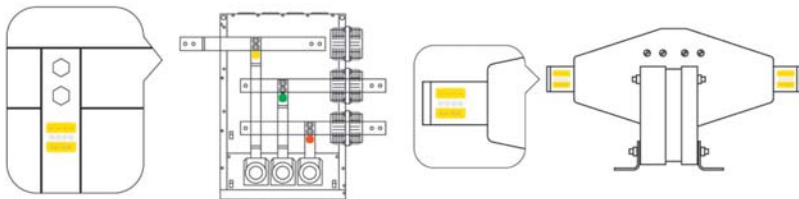
## Втычные контакты выкатных элементов ячеек КРУ 6 – 35 кВ (с выключателями, предохранителями, ТН, ТСН, разъединителями)





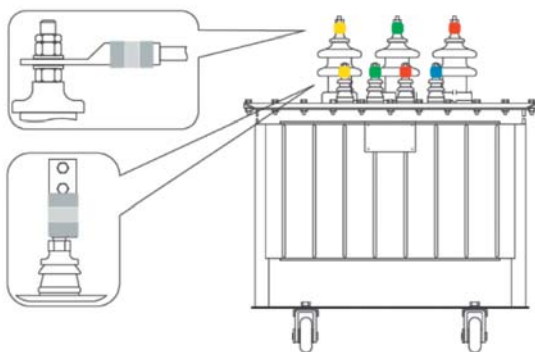
Тип контактного соединения/контакта	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
Без покрытия в воздухе	75	50 – 60 – 70 – 80
С покрытием серебром или никелем в воздухе	105	60 – 70 – 80 – 100
С покрытием оловом в воздухе	90	60 – 70 – 80 – 90

**Разборные контактные соединения сборных и соединительных шин, шин с выводами аппаратов выше 1000 В (выключателей, трансформаторов тока, предохранителей и т. д.)**



Тип контактного соединения/контакта	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
Контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: без покрытий с покрытием оловом	90	60 – 70 – 80 – 90
	105	60 – 70 – 80 – 100

## Контактные соединения сборных и соединительных шин, проводов и на аппаратных зажимах электрооборудования ОРУ и ВЛ выше 1000 В



Выводы силовых трансформаторов



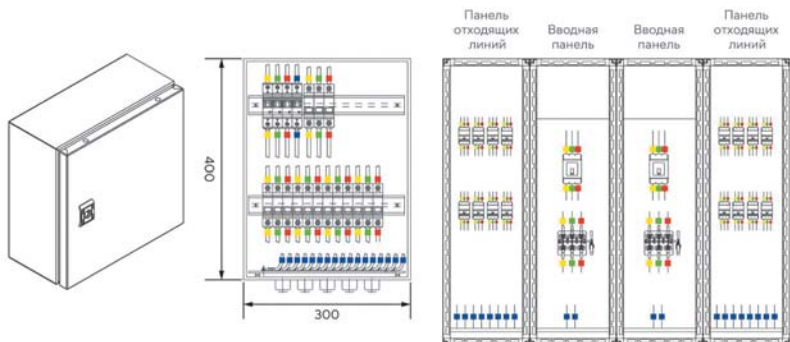
Зажимы переходные



Соединитель проводов (гильзы)

Тип контактного соединения/контакта	Наибольшая допустимая температура, °С	Контролируемые температуры, °С
Контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов: без покрытий с покрытием оловом	90 105	90
Контактные соединения на аппаратных зажимах съемных (разборных) вводов ВН, СН, НН силовых трансформаторов (автотрансформаторов), регулировочных и заземляющих трансформаторов, шунтирующих реакторов. Контактные соединения на аппаратных зажимах съемных линейных вводов	105	90

## Контактные соединения элементов распределительных щитов 220/380 В до 100 А



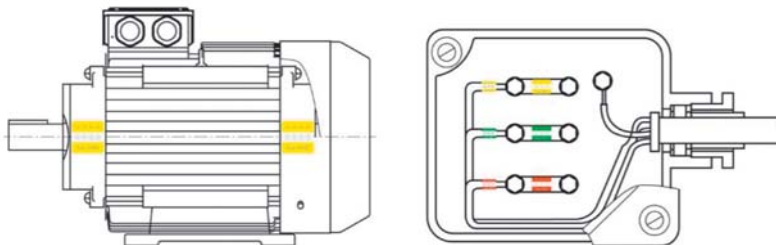
Тип проводника	Наибольшая допустимая температура нагрева, °С	Диапазон сечения проводника, мм <sup>2</sup>	Контролируемые температуры, °С
Медные и алюминиевые токоведущие жилы силовых кабелей при наличии изоляции из поливинилхлоридного пластика и полиэтилена: АВВГ, АВВГЭ, АВББШв, АПВ, АППВ, ВВГ, ВВГЭ, ВВГ-П, ВББШв, НУМ-Ж, НУМ-О, ПВ1, ПВ2, ПВ3, ПВ4, ПВС, ПУВ, ПуГВ, ПуГНП, ППВ и т.д.	70	2 – 10	60
		Более 10	50 – 60 – 70
Контактные соединения выводов аппаратов, контактных зажимов с внутренними и внешними проводниками. неизолированные сборные шины	90	2 – 10	80
		Более 10	70 – 80 – 90

## Электродвигатели

Тепловой контроль электродвигателей следует выполнять в следующем объеме:

- контроль теплового состояния подшипников;
- контроль нагрева контактных соединений в клеммных коробках или аппаратных выводах.

Примеры установки термоиндикаторов на электродвигатели приведены на рисунках.



Контролируемый элемент	Тип подшипника/ контактного соединения/ тип изоляции проводника	Наибольшая допустимая температура, °С	Шкала трехтемпературных термоиндикаторов, °С	
			на передний подшипник и задний подшипник электродвигателей без крыльчатки (обдува)	на задний подшипник электродвигателей с крыльчаткой (обдувом)**
Подшипники*	Качения	100	70 – 80 – 90	50 – 60 – 70
Разборные и неразборные контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов проводов и кабелей на выводах в клеммных коробках электродвигателей	Без защитных покрытий рабочих поверхностей	95	70 – 80 – 100	

Контролируемый элемент	Тип подшипника/ контактного соединения/ тип изоляции проводника	Наибольшая допустимая температура, °С	Шкала трехтемпературных термоиндикаторов, °С	
			на передний подшипник и задний подшипник электродвигателей без крыльчатки (обдува)	на задний подшипник электродвигателей с крыльчаткой (обдувом)**
	С защитными покрытиями рабочих поверхностей рабочих поверхностей неблагородными металлами	110	80 – 90 – 110	
	Проводники (провода) с поливинилхлоридной изоляцией*: без защитного покрытия; с защитным покрытием	95	50 – 60 – 80	
		110	60 – 70 – 90	

\* При наклейке термоиндикатора на изолированные проводники, подключенные к контактному соединению.

\*\* При наклейке термоиндикатора на крышку крыльчатки (обдува).

Рабочей, длительно допустимой температурой нагрева подшипника качения, является 60 – 65 °С. Превышение данной температуры свидетельствует о появлении следующих дефектов:

- отсутствие или недостаточное количество смазки подшипника;
- загрязнение подшипника;
- неправильная установка подшипника (перекос);
- механический износ/повреждение подшипника.

Максимальные температуры срабатывания термоиндикатора, указанные в таблице выбраны с учетом следующих факторов:

- при нагреве подшипника качения до значения 100 °С подшипник переходит в критическое (аварийное) состояние с последующим разрушением;
- учтена теплопроводность воздуха при установке термоиндикатора на крышку крыльчатки 20 °С;
- учтена теплопроводность материала (стали) 5 — 10 °С;
- учтена теплопроводность изоляционного материала проводника (провода) 20 °С.

При осмотрах наклеенных термоиндикаторов необходимо следить за динамикой срабатывания температурной шкалы и не допускать дальнейшую длительную работу электродвигателя при срабатывании всех температурных точек.

Оценка состояния контактных соединений на клеммах электродвигателей проводится визуальным способом по срабатыванию температурных точек температурной шкалы.

Нагрев контактных соединений на клеммах электродвигателя, помимо общих видов дефектов, перечисленных выше, дополнительно может свидетельствовать:

- о перегрузке электродвигателя;
- о наличии внутренних витковых замыканий в обмотке электродвигателя.

Развитие дефектов подшипников электродвигателей от момента появления дефекта до отказа может протекать очень быстро. Поэтому необходимо принимать меры по устранению дефекта при появлении его первых признаков.

## Заключение

1. Повышение эффективности своевременного обнаружения развития дефектов контактов и контактных соединений обеспечивает повышение надежности и безопасности эксплуатации электроустановок, снижает риск возгораний и пожаров.

2. Тепловой контроль контактов и контактных соединений с применением термоиндикаторных наклеек позволяет осуществлять контроль их состояния без применения специальных средств измерений, при этом реализовывать методологию оценки состояния контактов и контактных соединений в соответствии с требованиями РД 34.15-51.300–97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

3. Применение термоиндикаторов позволяет обеспечивать эффективный контроль состояния контактов и контактных соединений за счет непрерывного контроля теплового состояния и наличия необратимости срабатывания установленных пороговых значений, определяемых по результатам визуального осмотра.

4. 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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ. ДОПУСТИМЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТОВ И КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (ПО УМОЛЧАНИЮ В ВОЗДУХЕ)

П/п	Элементы (узлы) электроустановок	Наибольшее допустимое (предельное) значение, °С		Нормативный документ, устанавливающий значения температуры
		температуры нагрева	превышения температуры $\Delta T_{\text{ном}}$	
<b>Раздел 1. Контактные соединения, контакты, токопроводящие и токопроводящие части электроустановок класса напряжения выше 1000 В</b>				
1.1	Контакты из меди и медных сплавов коммутационных аппаратов, в том числе: 1) втычные контакты выкатных элементов ячеек КРУ и КТП (выкатные выключатели, выкатные предохранители, выкатные ТН, выкатные ТСН, выкатные разъединители); 2) внутренние контакты выключателей:			ГОСТ 8024-90
	• без покрытия в воздухе	75	35	
	• с накладными серебряными пластинами в воздухе	120	80	
	• с покрытием серебром или никелем в воздухе	105	65	
	• с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм в воздухе, стыковые	120	80	
	• с покрытием оловом в воздухе	90	50	
1.2	Контактные соединения аппаратных выводов электрооборудования (на аппаратных зажимах) из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей:			ГОСТ 8024-90; РД 34.45-51.300-97
	• без покрытия	90	50	
	• с покрытием оловом, серебром или никелем * <i>Указанное значение температуры относится только к случаю отсутствия серебряного покрытия на контактной части внешнего проводника. При наличии на контактной поверхности внешнего проводника серебряного покрытия наибольшую допустимую температуру нагрева вывода принимают равной 120 °С</i>	105*	65	
1.3	Контактные соединения (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);			ГОСТ 8024-90; РД 34.45-51.300-97



1.4	• из меди, алюминия и их сплавов:				ГОСТ 10693-81	
	без покрытия		90	50		
	с покрытием оловом		105	65		
	с покрытием серебром или никелем		115	75		
	• из алюминия и его сплавов с покрытием серебром или никелем		115	75		
1.4	<p>Контактные соединения 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• без покрытия оловом</li> <li>• с покрытием оловом</li> </ul>				80	45
1.5	Контакты и контактные соединения предохранителей переменного тока на напряжение 6 кВ и выше:		100	65	ГОСТ 2213-79; РД 34.45- 51.300-97; РД 153- 34.020.363-99	
	• пружинные контакты из меди и медных сплавов: <i>Примечание. Если контакт-детали имеют разные покрытия, допустимые температуры прижимают по той детали, для которой нормы нагрева имеют меньшие значения</i>					
	без покрытия		75	35		
	с покрытием серебром или никелем <i>Примечание. Нормы нагрева заданы для условия, когда слой покрытия на контактных поверхностях (хотя бы тончайший) сохраняется после испытания на механическую износостойкость. Если условие не выполняется, то контакты следует рассматривать как не имеющие покрытия</i>		105	65		
	с покрытием оловом <i>Примечание. Нормы нагрева заданы для условия, когда слой покрытия на контактных поверхностях (хотя бы тончайший) сохраняется после испытания на механическую износостойкость. Если условие не выполняется, то контакты следует рассматривать как не имеющие покрытия</i>		95	55		

Цпд	Элементы (узлы) электроустановок	Наибольшее допустимое (предельное) значение, °С		Нормативный документ, устанавливающий значения температуры
		температуры нагрева	превышения температуры $\Delta T$ ном	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• контактные соединения (в том числе нажатие болтами или винтами) из меди, алюминия и их сплавов, включая выводы предохранителя: <i>Примечание. Если контакт-детали имеют разные покрытия, то допустимые температуры контактные соединения принимают по той детали, для которой нормы нагрева имеют большие значения</i></li> </ul>			
	без покрытия;	90	50	
	с покрытием серебром или никелем;	115	75	
	с покрытием оловом	105	65	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• металлические части, используемые как пружины:</li> </ul>			
	из меди	75	35	
	из фосфористой бронзы и аналогичных ей сплавов	105	65	
<b>Раздел 2. Контактные соединения, контакты и токоведущие части электрооборудования класса напряжения до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока</b>				
2.1	<p>Разборные и неразборные контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов шин, проводов и кабелей на выводах электротехнических устройств (в том числе в клеммных коробках электродвигателей и генераторов, трансформаторов тока и напряжения), а также контактные соединения проводников между собой на токи от 2,5 А (в том числе на ответвительных зажимах в покое опоры наружного освещения):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов без защитных покрытий рабочих поверхностей</li> <li>• проводники из меди, алюмомеди, алюминия и его сплавов с защитными покрытиями рабочих поверхностей неблагородными металлами</li> <li>• проводники из меди и ее сплавов без изоляции или с изоляцией класса В, F и H по ГОСТ 8865–93 с защитным покрытием рабочих поверхностей серебром</li> </ul>	95	—	ГОСТ 10434–82
		110	—	
		135	—	

2.2	Контактные соединения на выводах и контакты плавких предохранителей, оснащенных токограничивающими за- крытыми плавкими вставками с номинальной отключающей способностью не ниже 6 кА, предназначенные для за- щиты цепей переменного тока промышленной частоты с номинальным напряжением не выше 1000 В или цепей по- стоянного тока с номинальным напряжением не выше 1500 В:	ГОСТ ИЕС 60269-1-2016
	• пружинные контакты без оболочки/в оболочке:	
	медные без покрытия	80/85
	латунные без покрытия	85/90
	луженые	95/100
	никелированные	110/115
	посеребренные	Ограничивается только необхо- димость предотвратить повреж- дение соседних частей
	• резьбовые контакты без оболочки/в оболочке:	
	медные без покрытия	95/100
	латунные без покрытия	100/105
	луженые	105/105
	никелированные	120/125
	посеребренные	Ограничивается только необхо- димость предотвратить повреж- дение соседних частей
	• Контактные соединения на выводах без оболочки/в оболочке:	
	медные без покрытия	95/105
	латунные без покрытия	100/105
	луженые	105/105
	посеребренные или никелированные	110/110
	<i>Примечание. Этот раздел обуславливается применением проводников с поли- винилхлоридной изоляцией</i>	70/70

П/п	Элементы (узлы) электроустановок	Наибольшее допустимое (предельное) значение, °С		Нормативный документ, устанавливающий значения температуры
		температуры нагрева	превышения температуры, $\Delta T_{\text{ном}}$	
2.3	Контактные соединения на выводах пакетных переключателей (выключателей) с номинальным напряжением до 660 В переменного тока и до 400 В постоянного тока <i>Примечание. Превышение температуры выводов переключателей, прошедших испытание на коммутационную износостойкость, допускается 75 °С.</i>	105	65	ГОСТ 16708-84
2.4	Контакты и контактные соединения коммутационных аппаратов (выключателей-разъединителей и др.) постоянного тока: <ul style="list-style-type: none"> <li>• массивные медные размыкаемые контакты</li> <li>• массивные размыкаемые контакты с припаянными пластинками из серебра</li> <li>• контактные соединения, не защищенные от коррозии в местах контактов, с нажатием, осуществляемым болтами или другими способами, обеспечивающими жесткость соединений</li> <li>• контактные соединения, защищенные от коррозии в местах контактов слоем олова или кадмия, с нажатием, осуществляемым болтами или другими способами, обеспечивающими жесткость соединений</li> <li>• контактные соединения главной цепи с нажатием осуществляемым болтами или другими способами, обеспечивающими жесткость соединений, защищенные в местах контактов слоем серебра</li> <li>• контактные зажимы для присоединения внешних проводников защищенные в местах контактов слоем олова или кадмия</li> </ul>	110	70	ГОСТ 25885-81
		90	50	
		105	65	
		170	130	
		105	65	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• контактные зажимы для присоединения внешних проводников с гальваническим покрытием серебром в местах контактов (по согласованию между производителем и потребителем)</li> </ul>	130	65	ГОСТ 32397–2020
2.5	Контактные соединения выводов коммутационных аппаратов, контактных зажимов присоединенными с внутренними и внешними проводниками, неизолированные сборные шины	95	55	ГОСТ 32397–2020
2.6	Контакты и контактные соединения коммутационных аппаратов (выключателей, рубильников, разъединителей, магнитных пускателей, контакторов, переключателей и др.):			РД 34.45- 51.300-97
	• контакты:			
	из меди без покрытия	75	35	
	с накладными серебряными пластинами	120	80	
	с покрытием серебром или никелем	105	65	
	с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм	120	80	
	с покрытием оловом	90	50	
	• контактные соединения, разборные и неразборные, кроме паяных и сварных:			
	из меди, алюминия и их сплавов без покрытия	90	50	
	из меди, алюминия и их сплавов с покрытием оловом	105	65	
	из меди, алюминия и их сплавов с покрытием серебром или никелем	115	75	
	• контактные соединения, паяные мягкими оловянистыми припоями, когда пайка является главным способом, обеспечивающим механическую прочность соединения	100	60	ГОСТ 403–73
2.7	Контакты, контактные соединения, встроенные элементы, средства ручного управления, оболочки и элементы оболочек НКУ:			ГОСТ ИЕС 61439-1-2013; ГОСТ Р 51321.1-2007
	• зажимы для присоединения внешних изолированных проводников	105	70	

Цп	Элементы (узлы) электроустановок	Наибольшее допустимое (предельное) значение, °С		Нормативный документ, устанавливающий значения температуры
		температура нагрева	превышения температуры, $\Delta T_{\text{ном}}$	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• втычные контакты выдвигаемых или съёмных частей, соединяющихся шинами</li> </ul> <p><i>Примечание. Если предположить, что для перечисленных ниже критериев это допустимо, максимальное превышение температуры для неизолированных медных шин и проводников не должно быть выше 105 °С. Это температура, выше которой происходит снижение прочности меди</i></p>	<p>Ограничено:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механической прочностью проводящего материала*;</li> <li>– возможным воздействием на находящуюся рядом аппаратуру;</li> <li>– предельной допустимой температурой для изоляционных материалов, находящихся в контакте с проводником;</li> <li>– воздействием температуры проводника на части, к которым он присоединен;</li> <li>– свойствами и обработкой поверхности контактного материала (для втычных контактов)</li> </ul>		
2.8	Контактные соединения осветительных шинопроводов переменного тока напряжением до 660 В, а также магистральных и распределительных шинопроводов переменного тока на напряжение до 1000 В;			ГОСТ 26346–84; ГОСТ 6815–79
	• разборные и неразборные	см. п. 2.1	—	
	• разъемные	100	—	

**Примечания.**

1. Наибольшее допустимые значения температур нагрева указаны для нагрузочного тока электроустановки (ЭУ) равного  $I_{\text{ном}} \text{ ЭУ}$ ;
2. Нормируемые значения превышения температуры для элементов ЭУ приведены для эффективного значения температуры окружающего воздуха 40 °С согласно приведенным ГОСТ и НТД, за исключением п. 1.5 и 2.8, где нормируемые значения превышения температуры приведены для эффективного значения температуры окружающего воздуха 35 °С согласно ГОСТ 10693–81, ГОСТ ИЕС 61439-1-2013, ГОСТ Р 51321.1–2007.
3. Нормируемое значение наибольшей допустимой температуры нагрева для элементов ЭУ является суммой значений превышения температуры и эффективного значения температуры окружающего воздуха согласно приведенным ГОСТ и НТД, за исключением тех пунктов, где согласно ГОСТ и НТД определяется только наибольшая допустимая температура нагрева.
4. В п. 2.5 нормируемые значения превышения температуры и нормируемые значения наибольшей допустимой температуры нагрева для проводников с поливинилхлоридной изоляцией и органов ручного управления указаны в соответствии с отдельными указаниями ГОСТ 32397–2020.

## Список нормативных документов, приведенных в приложении

1. **РД 34.45-51.300-97.** Объем и нормы испытаний электрооборудования. — 6-е изд., с изм. и доп. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004.
2. **РД 153-34.0-20.363-99.** Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. М.: СПО ОРГРЭС, 2001.
3. **Т 8024-90.** Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990.
4. **ГОСТ 10693-81.** Вводы конденсаторные герметичные на номинальные напряжения 110 кВ и выше. Общие технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989.
5. **ГОСТ 2213-79.** Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1979.
6. **ГОСТ 10434-82.** Соединения контактные электрические классификация. Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2007.
7. **ГОСТ ИЕС 60269-1-2016.** Предохранители плавкие низковольтные. Ч. 1. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2017.
8. **ГОСТ 16708-84.** Переключатели (выключатели) пакетные. Общие технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, Изд-во стандартов, 1987.
9. **ГОСТ 2585-81.** Выключатели автоматические быстродействующие постоянного тока. Общие технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, Изд-во стандартов, 1988.
10. **ГОСТ 32397-2020.** Щитки распределительные для производственных и общественных зданий. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2020.
11. **ГОСТ 403-73.** Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов. М.: Изд-во стандартов, 1973.
12. **ГОСТ ИЕС 61439-1-2013.** Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Ч. 1. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2015.
13. **ГОСТ Р 51321.1-2007.** Устройства комплектные низковольтные распределения и управления Ч. 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2007.
14. **ГОСТ 26346-84.** Шинопроводы осветительные напряжением до 660 В переменного тока. Общие технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985.
15. **ГОСТ 6815-79.** Шинопроводы магистральные и распределительные переменного тока на напряжение до 1000 В. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1979.

## Список литературы

1. **ГОСТ 14312–79.** Контакты электрические. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1980.
2. **ОСТ 17441–84.** Соединения контактные электрические. Правила приемки и методы испытаний. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984.
3. **РД 34.45-51.300–97.** Объем и нормы испытаний электрооборудования. — 6-е изд., с изм. и доп. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004.
4. **ГОСТ Р 53698–2009.** Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2010.
5. **РД 153-34.0-20.363–99.** Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. М.: СПО ОРГРЭС, 2001.
6. **Иноземцев В. Е., Львов М. Ю., Лесив А. В.** Оценка состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП с применением термоиндикаторов // Электроэнергия. Передача и распределение, 2022. № 5 (74). С. 102 – 108.
7. **Львов М. Ю., Никитина С. Д., Лесив А. В.** Применение термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электрооборудования // Электрические станции. 2023. № 2. С. 44 – 51.
8. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: утв. Приказом Минэнерго России от 4.10.2022 № 1070.
9. **Правила** организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики: утв. Приказом Минэнерго России от 25.10.2017 № 1013.
10. **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. 67 – 74.
11. **Правила** по охране труда при эксплуатации электроустановок: утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903н.



## Оглавление

Предисловие . . . . .	7
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Физические аспекты нагрева контактов и контактных соединений . . . . .	9
ГЛАВА ВТОРАЯ. Нормативные требования контроля контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи . . . . .	12
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Тепловизионный контроль контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи . . . . .	15
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Применение термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электроустановок . . . . .	20
ГЛАВА ПЯТАЯ. Требования к термоиндикаторам для контроля состояния контактов и контактных соединений . . . . .	24
ГЛАВА ШЕСТАЯ. Установка термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и линий электропередачи . . . . .	28
ГЛАВА СЕДЬМАЯ. Выбор температурного диапазона термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений электроустановок ЗРУ . . . . .	31
ГЛАВА ВОСЬМАЯ. Оценка состояния контактов и контактных соединений электроустановок ЗРУ при применении термоиндикаторов . . . . .	37
ГЛАВА ДЕВЯТАЯ. Контроль теплового состояния контактных соединений ОРУ и ВЛ . . . . .	40
ГЛАВА ДЕСЯТАЯ. Примеры применения термоиндикаторов на элементах электрооборудования и линий электропередачи . . . . .	41
Заключение . . . . .	52
Приложение . . . . .	
Список литературы . . . . .	61

**Библиотечка электротехника**

*Приложение к производственно-массовому журналу «Энергетик»*

**ЛЬВОВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ  
ЛЕСИВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**

**Термоиндикаторный контроль контактов  
и контактных соединений электрооборудования  
и линий электропередачи**

**А Д Р Е С Р Е Д А К Ц И И:**  
129090, Москва, ул. Щепкина, 8  
Тел. +7 495 234 74 21

---

**Редактор Н. В. Ольшанская**

---

Сдано в набор 30.07.23. Подписано в печать 20.08.23.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать офсетная.

Печ. л. 4,0. Заказ БЭТ/8 (296)-2023.

Макет выполнен издательством «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 157.  
Отпечатано типографией издательства «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 157.

Журнал  
**«Энергетика за рубежом»**  
Приложение к журналу «Энергетик»

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу «Энергетик» — **«Энергетика за рубежом»**. Это приложение выходит **один раз в два месяца**.

Журнал «Энергетика за рубежом» знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики:

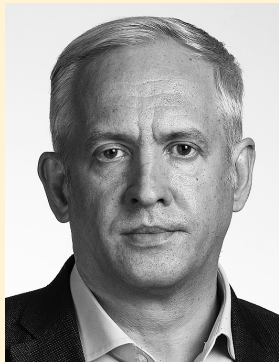
- развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;
- особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;
- опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;
- модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;
- распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **«ПРЕССА РОССИИ»**.

**Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.**

**Подписной индекс журнала  
«Энергетика за рубежом» —  
приложения к журналу «Энергетик»**

**87261**



**Львов Михаил Юрьевич —**

директор по технической политике и аудиту АО «Объединенная энергетическая компания», доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетических систем ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Автор и соавтор более 100 публикаций в научно-технических журналах в России и за рубежом по вопросам повышения надежности и безопасности эксплуатации электротехнического оборудования.



**Лесив Алексей Валерьевич —**

генеральный директор ООО «ТермоЭлектрика».

Соавтор более 50 публикаций в научно-технических журналах в России и за рубежом в области органической химии, материаловедения и эксплуатации электротехнического оборудования. Автор и соавтор 26 изобретений в области изготовления и использования термоиндикаторов, а также других инновационных решений для предупреждения пожаров.

Своевременное выявление развития дефектов контактов и контактных соединений в процессе эксплуатации электроустановок позволяет предотвратить развитие аварийных ситуаций, которые могут приводить к повреждению оборудования, возгораниям и пожарам