

научно-практический журнал

ISSN 2074-9635

# ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ: эксплуатация и ремонт

№ 4/2012



Журнал входит в Перечень изданий ВАК  
в редакции от 19.02.2010 г.

**«Электрооборудование:  
эксплуатация и ремонт»  
№ 4/2012**

Журнал зарегистрирован Министерством  
Российской Федерации по делам печати,  
телерадиовещания и средств массовых  
коммуникаций.

Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-17876 от 08.04.2004 г.

ISSN 2074-9635

© ИД «Панорама»

Издательство «Промиздат»  
http://www.panor.ru

Адрес редакции:

Москва, Бумажный проезд, 14, стр. 2  
Для писем: 125040, Москва, а/я 1

Главный редактор издательства

**А.П. Шкирмонтов,**

канд. техн. наук

e-mail: aps@panor.ru

тел. (495) 664-27-46

Главный редактор

**Э.А. Киреева,**

канд. техн. наук, проф.

e-mail: eakireeva@mail.ru

Редакционный совет:

**С.И. Гамазин,** д-р техн. наук, проф. МЭИ (ТУ)

**А.Б. Кувалдин,** д-р техн. наук, проф. МЭИ (ТУ)

**М.С. Ершов,** д-р техн. наук, проф. Российского  
государственного университета нефти и газа  
им. И.М. Губкина, чл.-кор.

Академии электротехнических наук

**Б.В. Жилин,** д-р техн. наук, проф.

Новомосковского института Российского  
химико-технологического университета  
им. Д.И. Менделеева

**С.А. Цырук,** канд. техн. наук, проф.

Московского энергетического института (ТУ),  
заведующий кафедрой электроснабжения  
промышленных предприятий

Предложения и замечания:

e-mail: promizdat@panor.ru

тел. (495) 664-27-46

Журнал распространяется через каталоги  
ОАО «Агентство „Роспечать”», «Пресса России»

(индекс – 84817) и «Почта России»

(индекс – 12532), а также путем прямой

редакционной подписки:

e-mail: podpiska@panor.ru

тел. (495) 664-27-61

Учредитель:

ООО «ИНDEPENDЕНТ МАСС МЕДИА»,

121351, г. Москва,

ул. Молодогвардейская, д. 58, стр. 7

Отдел рекламы:

Тел.: (495) 664-27-94

reklama.panor@gmail.com

Подписано в печать 13.03.2012 г.



ГИЛЬДИЯ ИЗДАТЕЛЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

# СОДЕРЖАНИЕ

## НОВОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕХНИКИ.....7

### РЫНОК И ПЕРСПЕКТИВЫ

УДК 621.31

#### Применение современных троллейных шинопроводов E-Line ТВ повышает темпы монтажа линий.....11

С. В. Воронин, Н. Н. Курочкин, С. П. Мокринский

*Аннотация.* Рассмотрены основные виды перспективных шинопроводов,  
применяемых в системах электроснабжения промышленных предприятий.

*Ключевые слова:* шинопровод, троллейный, система электроснабжения.

УДК 621.3.04

#### Применение нового поколения гидравлических масел обеспечивает высокую износостойкость оборудования.....18

*Аннотация.* Компания «Газпромнефть – смазочные материалы» выпускает  
гидравлические масла нового поколения, отвечающие требованиям мировых  
стандартов.

*Ключевые слова:* смазочные материалы, гидравлические масла, высокие  
эксплуатационные характеристики.

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ SMARTGRID

УДК 621.311 (043.3):658.26

#### Новые способы защиты электрооборудования в питающих сетях предприятий при провалах напряжения .....22

В. М. Пупин, Д. С. Куфтин, Д. О. Сафонов

*Аннотация.* Показано, что проблема, связанная с воздействием  
кратковременных нарушений электроснабжения на работу потребителей  
электрической энергии, становится все более острой по мере усложнения  
технологических процессов предприятий и использования средств  
автоматизации. Для защиты электрооборудования, чувствительного  
к провалам напряжения, предложено быстродействующее устройство  
автоматического ввода резервного электропитания потребителей  
и использование математического моделирования переходных процессов  
в аварийных режимах сетей.

*Ключевые слова:* БАР, аварийные режимы, потери нефти, надежность.

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

УДК 620.9.001.12.18

#### Как правильно выбрать режим заземления нейтрали.....29

Э. А. Киреева

*Аннотация.* Рассматриваются режимы работы изолированной нейтрали  
сети (с ДГР, без ДГР, с активным сопротивлением), а также возможность  
перевода сетей в режим компенсированной или резистивной нейтрали.

*Ключевые слова:* нейтраль, режимы, реконструкция сети, ДГР, резистор.

### ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

УДК 620.9:658.2.016

#### Сухие трансформаторы обеспечивают пожаробезопасность, экологичность и экономию электроэнергии.....35

*Аннотация.* Рассматриваются пути модернизации и реконструкции  
производства по выпуску силовых трансформаторов и КРУ.

*Ключевые слова:* силовые трансформаторы, ТМГ, ТСЗ, модернизация,  
расширение производства.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

УДК 621.31

## Автоматизированные системы управления электроэнергетикой города.....38

В. А. Шелест

*Аннотация.* Изложен опыт разработки и внедрения альтернативных автоматизированных систем управления электроэнергетикой города. Повышены качество и надежность обеспечения электрической энергией организаций и жителей города, троллейбусного транспорта и уличного освещения.

*Ключевые слова:* разработка, управление, электроэнергетика, город, транспорт, освещение.



# ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

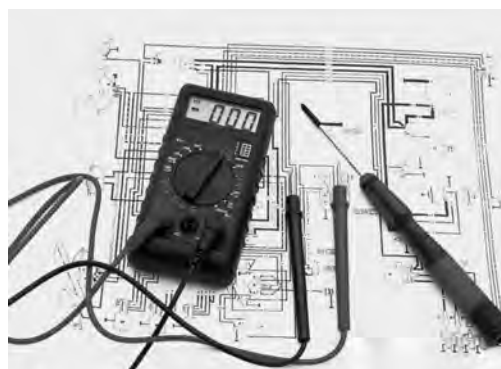
УДК 620.9.002.56

## Влияние качества электроэнергии на надежность работы цеховых электроприемников .....44

Э. А. Киреева

*Аннотация.* Показано влияние качества электроэнергии на отдельные категории электроприемников (электродвигатели, электротермические установки, осветительные приборы, ПК и др.).

*Ключевые слова:* качество электроэнергии, приемники, высшие гармоники, влияние.



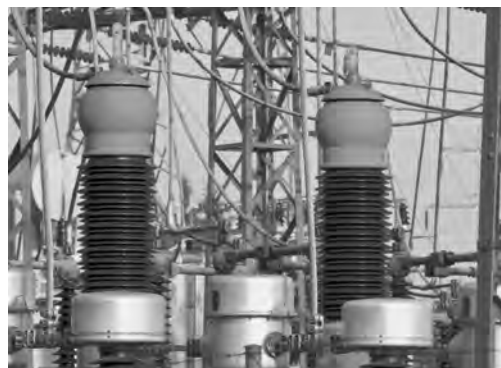
# ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

УДК 620.9:658.58

## Новая технология ремонта при использовании антикоррозионной защиты электрооборудования .....48

*Аннотация.* Основная проблема распределительного электросетевого комплекса – это изношенность основных фондов. Средний физический износ оборудования составляет 70%, среди которого 52% выработало нормативный срок, а более 7% – отработало его дважды.

*Ключевые слова:* износ оборудования, антикоррозионное покрытие, надежность, долговечность, экономичность.



# ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ

## Диагностика тепловым методом электротехнического оборудования .....51

*Аннотация.* Освещена проблема определения дефектных узлов электрооборудования с помощью инфракрасной диагностики. Указаны основные погрешности при инфракрасной съемке, критерии дефектности и даны рекомендации по выбору тепловизоров.

*Ключевые слова:* инфракрасная съемка, инфракрасная диагностика, тепловизор, превышение температуры, избыточная температура, коэффициент дефектности.



# АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 658.26:621.311

## Топливные элементы для электроснабжения.....59

И. М. Хевсуриани, А. Н. Ридзель

*Аннотация.* Рассмотрены топливные элементы, использующиеся для производства электроэнергии на электростанциях как источник аварийного или автономного электроснабжения на транспорте (автомобильный, морской, железнодорожный), в авиации, космосе.

*Ключевые слова:* топливный элемент (ТЭ), тип, постоянный ток, тепло, электрохимическая реакция, сравнение.



# ВОПРОС – ОТВЕТ

## Компактные люминесцентные лампы: достоинство и недостатки.....64

## CONTENTS № 4/2012

### NEWS IN POWER-ENGINEERING .....7

#### MARKET AND PERSPECTIVES

##### Application of E-Line TV trolley ducts increase the speed of lines' mounting .....11

*Lead.* Basic types of perspective bus ducts applied in power supply systems of industrial enterprises are considered.

*Key words:* bus ducts, trolley, power supply system.

##### Application of new generation of hydraulic oils provides high durability of equipment.....18

*Lead.* Company «Gazpromneft – lubricating materials» has launched a new generation of hydraulic oils which meet requirements of international standards and world's leading manufacturers of equipment.

*Key words:* lubricants, hydraulic oils, high performance characteristics.

#### INTELLECTUAL

#### NETWORKS SMARTGRID

##### New ways of protection of electrical equipment in supply mains of enterprises in case of voltage falls.....22

*Lead.* It is showed that the problem associated with the impact of short-term disturbances in power supply on operation of electric power consumers, becomes more acute as the complexity of technological processes of the enterprises and usage of automation means grows. For protection of electrical equipment which is sensitive to voltage falls, high-speed automatic transfer switch device and usage of mathematical modeling of transient processes in emergency mode of networks have been suggested.

#### IMPROVEMENT OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY

##### Correct selection of neutral grounding mode .....29

*Lead.* Modes of operation of network's insulated neutral (with arc-suppression coil, without arc-suppression coil, with active resistance) and possibility of change-over of networks to the mode of compensated or resistive neutral have been considered.

*Key words:* neutral, modes, network reconstruction, arc-suppression coil, resistor.

#### ELECTRICAL EQUIPMENT AND DEVICES

##### Dry-type transformers provide fire safety and economy of electrical energy .....35

*Lead.* Ways of modernization and reconstruction of manufacture on production of power transformers and switchgear and control gears have been considered.

*Key words:* power transformers, three-phase oil transformers, power dry-type transformers, modernization, expansion of manufacture.

#### POWER SUPPLY AUTOMATION

##### Automated control systems of city power supply .....38

*Lead.* Experience of development and implementation of alternative automated control systems of city power supply has been stated. Quality and reliability of power supply of organizations and residents of the city, trolleybus transport and street lighting have been increased.

*Key words:* development, management, electric power, city, transportation, lighting.

#### IMPROVEMENT OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY

##### Influence of the quality of electrical energy on reliability of work of shop electrical receiver.....44

*Lead.* Influence of the quality of electrical energy on separate categories of electrical receivers (electrical motors, electro-thermal plants, lighting devices, PCs etc.)

*Key words:* quality of electrical energy, receivers, high harmonics, influence.

#### EXPLOITATION AND REPAIR

##### About new technology of repair with the usage of anticorrosion protection of electrical equipment .....48

*Lead.* Key problem of distributive electricity supply network complex is worn-out state of main funds. Average physical wear of equipment is 70%, among which 52% worked out normative term and more than 7% – worked it out twice.

*Key words:* wear of equipment, anticorrosion coating, reliability, durability, cost-effectiveness.

#### DIAGNOSTICS AND TESTING

##### Diagnostics by thermal method of electrical equipment .....51

*Lead.* Problem of determination of defective nodes of electrical equipment using infrared diagnostics has been highlighted. Main errors during infrared survey, criteria of defectiveness and recommendations on selection of thermal imagers have been stated.

*Key words:* infrared survey, infrared diagnostics, thermal imaging device, temperature rise, excessive temperature, ratio of defectiveness.

#### ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

##### Fuel elements for power supply .....59

*Lead.* fuel elements used for power generation at electric power plants as a source of emergency or autonomous power supply, at the transport (automobiles, marine, railway transport), in aviation, in space have been considered.

*Key words:* fuel element, type, DC, heat, electrochemical reaction, comparison.

#### QUESTION-ANSWER

##### Compact fluorescent lamps: advantages and disadvantages .....64

## ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**С. Г. Конесев**, канд. техн. наук,  
ФГБОУ ВПО «УГНТУ» г.Уфа,  
e-mail: KonesevSG@yandex.ru

**П. А. Хлюпин**, ассистент,  
e-mail: Mazai83@list.ru

**Аннотация.** Освещена проблема определения дефектных узлов электрооборудования с помощью инфракрасной диагностики. Указаны основные погрешности при инфракрасной съемке, критерии дефектности и даны рекомендации по выбору тепловизоров.

**Ключевые слова:** инфракрасная съемка, инфракрасная диагностика, тепловизор, превышение температуры, избыточная температура, коэффициент дефектности.

### DIAGNOSTICS BY THERMAL METHOD OF ELECTRICAL EQUIPMENT

**Lead.** Problem of determination of defective nodes of electrical equipment using infrared diagnostics has been highlighted. Main errors during infrared survey, criteria of defectiveness and recommendations on selection of thermal imagers have been stated.

**Key words:** infrared survey, infrared diagnostics, thermal imaging device, temperature rise, excessive temperature, ratio of defectiveness.

Тепловой режим работы электрооборудования является важным контролируемым параметром в процессе эксплуатации. При повышенных температурах ухудшается качество изоляции, растет удельное сопротивление проводников, ускоряется процесс старения изоляции и происходит ее частичное разрушение, что, в свою очередь, может привести к пробое и выходу из строя оборудования. Выявление тепловых дефектов на ранней стадии способствует рациональному подходу к планированию ремонта и устранению дефектов. Большая часть фонда электрооборудования в нашей стране выработала свой ресурс, а потому преждевременная локализация дефектов позволяет экономить на полной замене оборудования, ограничиваясь лишь обновлением его отдельных узлов [7].

Совершенствование производителями аппаратуры, регистрирующей инфракрасное (ИК) излучение, позволяет обеспечивать контроль тепловых режимов электротехнического оборудования все более широкого спектра отраслей. Авторами рассматривалась тема ИК-обследования оборудования для добычи и подготовки нефти и нефтяной эмульсии с целью выявления зон асфальто-смолопарафинистых отложений (АСПО) и нарушения качества теплоизоляции [2]. Предложена методика по диагностике ИК-методом трубчатых печей с выявлением застойных зон и нарушением толщины жаропрочных труб [6].

Благодаря возможности не только фиксировать инфракрасное излучение, но и получать и обрабатывать снимки, ИК-диагностика из вспомогательного становится отдельным само-

стоятельным видом диагностики оборудования различных сфер деятельности человека, как бытовых, так и промышленных.

С этой целью многие организации на сегодняшний день расширили свой парк приборов контроля инфракрасными (ИК) камерами, с помощью которых можно получить наглядную картину теплового поля любого объекта. Но наличие современных ИК-камер, при отсутствии квалифицированного персонала, не способствует качественной и количественной оценке объекта, поскольку по термоизображению определяется сам факт присутствия холодных и горячих участков узлов и деталей электроустановок.

Однако области нагрева на поверхности электрооборудования и его узлов могут свидетельствовать как о дефектном состоянии узла или объекта в целом, так и о нормальном температурном режиме работы.

Главным достоинством ИК-диагностики является наглядность полученных данных. К примеру, кабельная разделка (рис. 1) в видимом спектре электромагнитных волн (рис. 1а) несет меньше информации, чем при взгляде на нее в ИК-спектре (рис. 1б). На термоизображении показана трещина в изоляции, которая соответствует зарождающемуся дефекту. Важно, что дефект выявлен без нарушения технологического режима и отключения оборудования.



а)

Авторы статьи стремились в сжатой форме ознакомить эксплуатационный персонал предприятий, имеющих свое электрохозяйство, с теоретической, правовой и практической стороной теплового метода диагностики.

Известно, что тепловидение начало развиваться в середине XVIII в. благодаря исследованиям в области астрономии. Еще М. В. Ломоносов, занимаясь проблемой ночного обнаружения предметов, в 1758 г. изобрел телескоп для ночного видения (*tubo noctoptico*). У. Гершель в процессе исследования разработал защиту своих глаз от солнца и наблюдал при этом нагрев ртутного термометра за красной полосой спектра [3].

Все тела, обладающие температурой выше  $-273,15$  °С, излучают спектр тепловых волн в инфракрасном диапазоне, незаметном человеческому глазу. ИК-камеры способны воспринимать эти излучения и преобразовывать их в читаемую для человеческого глаза картину. Первым запатентованным устройством в области теплового контроля стал в 1914 г. ИК-детектор айсбергов Р. Паркера.

Для качественной оценки полученных данных ИК-камер необходимо знать строение объекта, особенности тепловых процессов, которые протекают внутри объекта, условия проведения ИК-контроля, нормативные документы.

Основными нормативными документами, которыми руководствуются при проведении ИК-диагностики электрооборудования, являются:



б)

Рис. 1. Кабельная разделка: (а) внешний вид, (б) фото в ИК-спектре

- РД 34.45–51.300–97 «Объемы и нормы испытаний электрооборудования» с изменениями от 2000 г. Разработчик – РАО Энергетики и электрификации «ЕЭС России»;
- РД 153–34.0–20.363–99 «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ» от 2000 г. Разработчик – ОАО «Фирма по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС».

Помимо существующих регламентов, действует разработанный в 1979 г. в Советском Союзе ГОСТ 23483–79 «Контроль неразушающий. Методы теплового вида. Общие требования». Стандарт охватывает методы теплового контроля, устанавливает области применения, предъявляет общие требования к аппаратуре и стандартным образцам, порядку подготовки и проведения контроля, оформления результатов и требования безопасности.

В соответствии с перечисленными выше нормативными документами существует несколько критериев, по которым определяется дефектное состояние оборудования.

К ним относятся:

- **избыточная температура** – превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях;
- **превышение температуры** – разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха;
- **коэффициент дефектности** – отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры, измеренному на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.

Каждый критерий выбирается исходя из типа обследуемого объекта. Энергосистема и потребители электрической энергии рассчитаны на трехфазный переменный ток, и при равномерной нагрузке ток в каждой из фаз, а следовательно, и их нагрев будут одинаковыми. Поэтому критерием оценки трехфазных соединений и систем является **избыточная**

**температура**. Оценка состояния электрооборудования по критерию **превышение температуры** применяется для однофазных систем и в случае определения общего состояния электрооборудования. Нормами для оценки дефектности объекта служат табличные данные для различных материалов, приведенные в [4, 5]. Критерий **превышения температуры** может применяться в комплексе с **избыточной температурой**, так как все три фазы могут быть равномерно нагреты, но превышать допустимые температуры. **Коэффициент дефектности** применяется сравнительно реже, например при оценке теплового состояния сварных контактных соединений или в тех случаях, когда диагностируются протяженные участки шин.

Перечисленные выше критерии относятся к общим случаям ИК-диагностики, и зачастую их достаточно для описания дефектов. Но бывают случаи, которые не попадают ни под один из перечисленных критериев.

К примеру, силовой трансформатор состоит из большого числа вспомогательных узлов, оценку функционирования которых можно осуществлять по тепловому полю. При неправильном функционировании панельных радиаторов охлаждения или термосифонных фильтров трансформаторное масло через них не протекает (рис. 2).

Областью 1 (рис. 2) выделен неработающий термосифонный фильтр, так как температура на входе и выходе фильтра практически одинакова. У работающего фильтра температура на входе соответствует температуре масла в

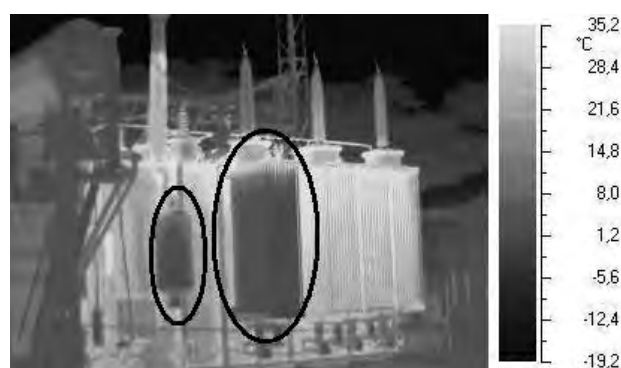


Рис. 2. Термоизображение силового трансформатора

верхних слоях бака; проходя через сорбенты фильтра, масло охлаждается. Областью 2 выделена неработающая панель охлаждения силового трансформатора, температура которой ниже температуры других панелей. В обоих случаях низкая температура термосифонного фильтра и навесной панели радиатора охлаждения свидетельствует о том, что масло через них не протекает.

Для качественной оценки состояния электрооборудования требуется организовать режим работы исследуемого объекта, близкий к номинальному. При этом следует помнить, что если рабочий ток меньше  $0,3I_{ном}$ , то ИК-диагностика не способствует выявлению дефектов на ранней стадии.

ИК-контроль осуществляется активным и пассивным методами. Активные методы квалифицируются по типу источника тепловой стимуляции, по взаимному расположению теплового стимулятора и регистратора температуры, по форме и размерам зоны тепловой стимуляции и регистратора температуры.

ИК-диагностика электрического оборудования в основном осуществляется пассивным методом, когда на объект не оказывает влияния постороннее тепловое поле, а его нагрев происходит в процессе работы, что способствует проведению ИК-контроля без нарушения технологического режима и вывода оборудования из эксплуатации.

В процессе подготовки к проведению ИК-диагностики нужно обратить внимание

на факторы, негативно отражающиеся на качестве полученных данных, важнейшим из которых является солнечная радиация. Она искажает истинную картину теплового поля оборудования, что мешает качественно оценить его состояние.

На рис. 3 выделены зоны солнечного воздействия на объекты (рис. 3а – силовой трансформатор 35 кВ, рис. 3б – разъединитель 110 кВ), которые могут быть охарактеризованы как зоны дефектных аномалий и стать причиной сокрытия реальных дефектов. Чтобы не допустить ошибок при ИК-диагностике, рекомендуется проводить ее ночью, ранним утром либо в облачную погоду.

К другому, не менее важному, фактору отрицательного влияния относится ветер, если обследования проходят на открытом воздухе. Чем выше скорость ветра, тем интенсивнее происходит потеря тепла с поверхности исследуемого объекта, а значит, ИК-диагностика не позволит выявить дефектные зоны. Если же влияние ветра невозможно исключить, то следует воспользоваться поправочным коэффициентом, значения которого приведены в [2], либо формулой:

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0,448}, \quad (1)$$

где:  $\Delta T_i$  – превышение температуры при скорости ветра  $V_i$ ;

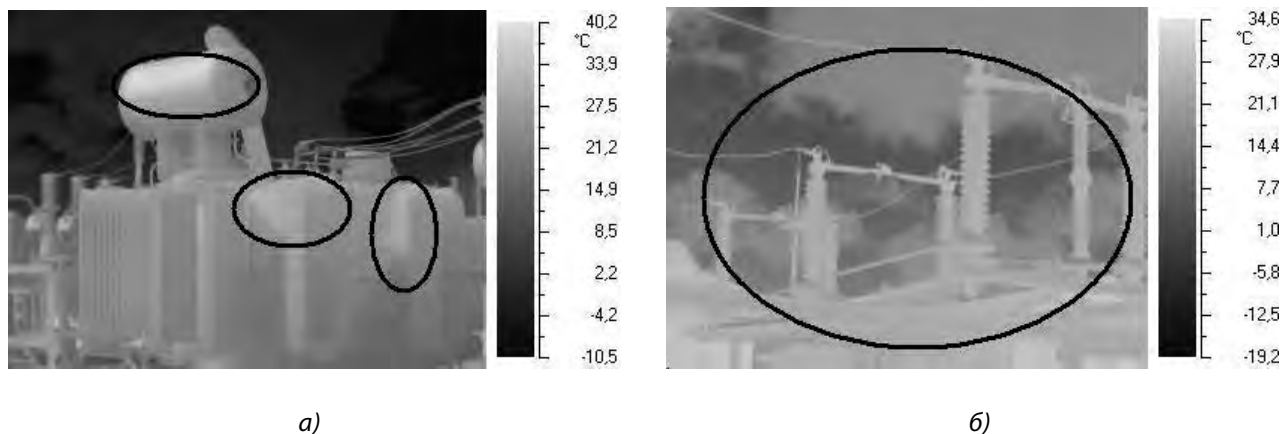


Рис. 3. Результаты ИК-съемки при воздействии солнечной радиации: силовой трансформатор (а) и разъединитель высоковольтной линии (б)



$\Delta T_2$  – превышение температуры при скорости ветра  $V_2$ .

При скорости ветра более 8 м/с следует отказаться от ИК-съемки и провести ее при более благоприятных условиях.

Влияние оказывают также атмосферные осадки в виде дождя, снега, тумана, которые охлаждают исследуемый объект и влияют на качество ИК-диагностики. При этом сильно влияет местоположение оператора, так как осадки не только охлаждают объект, но и рассеивают его тепловое поле.

Помимо перечисленных факторов, влияющих на погрешность ИК-съемки, немаловажным фактором является излучательная способность исследуемого объекта. Коэффициент излучения зависит от длины волны, угла наблюдения к поверхности и температуры объекта. Если нет возможности измерить действительное значение коэффициента излучения, то приблизительные данные по коэффициентам излучения различных металлов приведены в [5]. Следует учитывать, что один и тот же металл с разным покрытием имеет разный коэффициент излучения, что сказывается на результатах диагностики. Алюминиевая шина с блестящей поверхностью обладает более высокой отражающей способностью и низким коэффициентом излучения, чем та же шина, но покрашенная краской. Современные тепловизоры позволяют отстроить коэффициент излучения в соответствии с коэффициентом исследуемого объекта и тем самым повысить точность ИК-съемки.

Тепловизор регистрирует излучаемое и отражаемое тепло. При ИК-диагностике следует учитывать только излучаемое тепло и исключить влияние отражаемого тепла, источниками которого могут быть соседние нагретые объекты, лампы или любой другой источник тепла. Исключить влияние стороннего источника тепла позволит расположение оператора под правильным углом, для исключения влияния отражения.

Специалисты сталкиваются с отражаемыми источниками тепла, когда ИК-съемку приходится проводить в ограниченном пространстве, при этом учитываются как соседние объекты,

так и температура собственного тела, тепло которого отражается от поверхности исследуемого оборудования.

На рис. 4 даны фотоизображения и термоизображения вводных выключателей 0,4 кВ в КТП.

На термоизображениях (рис. 4а, 4в) медные шины отражают тепло, исходящее от оператора, которое ошибочно можно принять за дефект. Смена угла съемки позволит избежать погрешности в измерениях (рис. 4б, 4г).

В электроустановках, помимо перечисленных видов погрешностей, оказывающих влияние на ИК-съемку, имеет место влияние индукционных токов, наводимых переменным электрическим полем в теле ферромагнетиков. Поэтому может возникать ложное впечатление о дефектных областях нагрева. Исключить влияние магнитного поля невозможно, поэтому следует знать об этих особенностях и принимать их во внимание.

Учитывая перечисленные погрешности, оказывающие влияние на результаты ИК-съемки, создатели тепловизоров разрабатывают все новые функции, позволяющие учитывать все эти факторы в процессе съемки. На данный момент рынок насыщен тепловизорами различных марок и качества. При этом допустить ошибку в выборе тепловизора легко, так как не всегда дорогой тепловизор – качественный.

Тепловизоры бывают с охлаждаемыми и неохлаждаемыми матрицами. В тепловизорах с охлаждаемой матрицей большая часть энергии тратится на охлаждение, при этом уровень шума очень высок; такие тепловизоры сравнительно дороже тепловизоров с неохлаждаемой матрицей. Поэтому для диагностики чаще применяют тепловизоры с неохлаждаемой матрицей с меньшими массогабаритными показателями и стоимостью.

Инфракрасное электромагнитное излучение расположено в спектральной области между видимым светом и коротковолновым радиоизлучением от 0,74 до 2000 мкм. При этом ИК-область условно разделяют на коротковолновую (от 0,74 до 2,5 мкм), средневолновую (от 2,5 до 50 мкм) и длинноволновую (от 50 до 2000 мкм). Качественное определение теплового

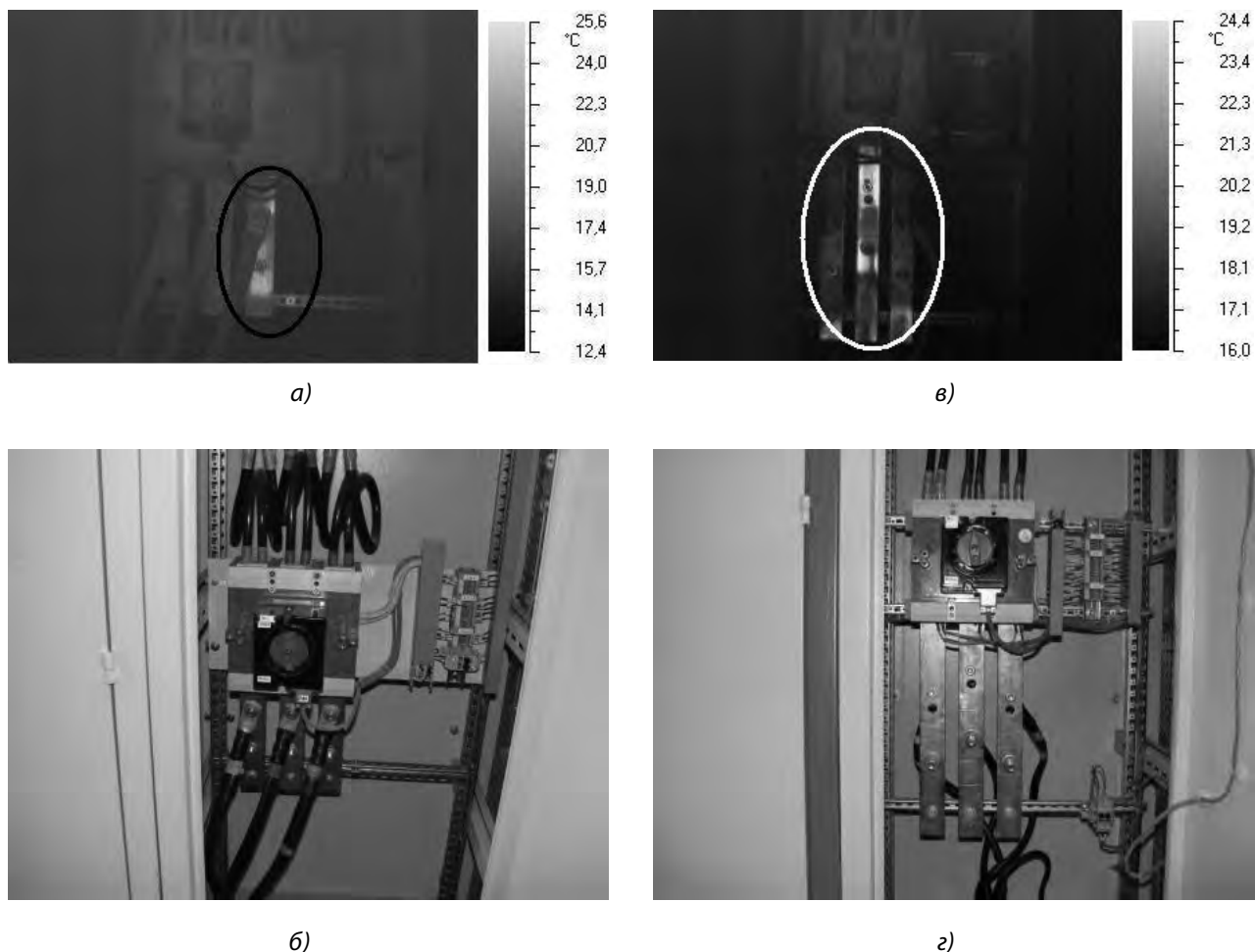


Рис. 4. Влияние теплового отражения на качество ИК-съемки

поля объекта и дефектов позволяет определить тепловизоры с диапазоном от 8–14 мкм.

При выборе тепловизора следует ориентироваться на область предполагаемого применения, а также на требуемый температурный режим эксплуатации. Для диагностики электрооборудования достаточно применять тепловизоры с температурным диапазоном от –20 до 250 °С, так как даже при аварийных режимах температура нагрева редко превышает 200 °С.

Качественную картину обеспечивает разрешение матрицы детектора тепловизора. Качество снимков характеризует количество чувствительных элементов по горизонтали и вертикали матрицы и позволяет более четко идентифицировать горячие и холодные точки. Высокое качество матрицы сказывается при диагностике малогабаритного электрооборудования,

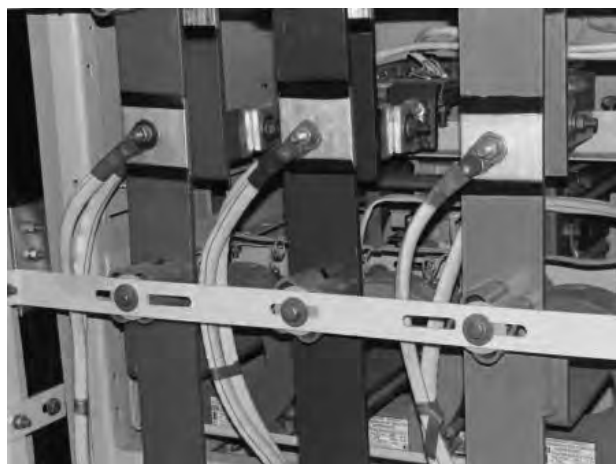
например при обследовании элементов релейной защиты и автоматики. Если же при тепловом контроле не требуется четкой детализации по температуре, то можно использовать матрицу с меньшим разрешением, так как это позволит сэкономить на цене тепловизора.

Следует также обратить внимание на фокусное расстояние тепловизора, позволяющее получить качественное изображение объекта на определенном расстоянии. В паспортных данных эти параметры описываются полем зрения (FOV) и пространственным разрешением (iFOV). Поле зрения – это угловое пространство, в котором тепловизор может «видеть» на определенном рабочем расстоянии, исходя из габаритов объекта. При этом чем дальше расположен объект, тем меньше должно быть угловое пространство. Пространственное разрешение, наоборот, показывает, какой

наименьший объект может отобразить тепловизор. Подбирая тепловизор по оптическим данным, следует ориентироваться на более широкое угловое пространство с минимально возможным отображением объекта.

Для определения дефектных зон следует выбирать тепловизоры с температурной чувствительностью (NETD) не более чем 0,1 °С. Этот показатель характеризует наименьшую разницу температур, выявляемых в пределах одного пикселя.

Каждый тепловизор поставляется в комплекте с программой для возможности обработки полученных изображений, корректировки, определения областей и точек нагрева. Программы современных тепловизоров позволяют устранять вредные влияния и некоторые погрешности оператора при съемке с помощью корректирующих приложений.



а)

Подводя итоги, следует отметить эффективность применения ИК-диагностики как самостоятельного метода неразрушающего контроля, благодаря которому можно сэкономить на замене оборудования, предотвратить выход оборудования из строя и следовательно, устранить вероятность технологической аварии.

На рис. 5а представлено фото объекта, диагностика которого осуществлялась с помощью ИК-съемки. При термографическом обследовании выявлен и локализован дефект системы шин (фаза В) в ячейке комплектной трансформаторной подстанции (рис. 5б). То, что источником нагрева является болтовое соединение, а не плохой контакт губок автомата, удалось выяснить в процессе обработки полученных данных на компьютере. После устранения неисправности путем зачистки места контактов двух шин и протяжки болтового соединения проведена повторная ИК-съемка, которая показала, что неисправность устранена и оборудование работает в нормальном режиме (рис. 5в).

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ 23483-79 «Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования»
2. Конесев С. Г., Хлюпин П. А. Тепловизионный контроль оборудования цеха подготовки нефти НГДУ. Сборник научных трудов III Всероссийской научно-технической



б)

Рис. 5. Влияние теплового отражения на качество ИК-съемки

конференции (с международным участием) «Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий» / Редкол.: В. А. Шабанов и др. – Уфа: ИД «Чурагул», 2011. – 282 с. С. 127–138.

3. **Неразрушающий контроль:** Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 5: В 2 кн. Кн. 1: В. П. Вавилов. Тепловой контроль. Кн. 2: К. В. Подмастерьев, Ф. Р. Соснин, С. Ф. Корндорф, Т. И. Ногачева, Е. В. Пахолкин, Л. А. Бондарева, В. Ф. Мужицкий. Электрический контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 688 с.: илл. и цветная вкладка 24 с.

4. **РД 153–34.0–20.363–99** «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ», разработано ОАО «Фирма по наладке, совершенствованию

технологии и эксплуатации электростанций и сетей ОРГРЭС» от 2000 г.

5. **РД 34.45–51.300–97** «Объемы и нормы испытаний электрооборудования», разработано РАО Энергетики и электрификации «ЕЭС России» с изменениями от 2000 г.

6. **Хлюпин П. А.** Диагностика оборудования нефтегазового комплекса тепловым методом. Семнадцатая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Тезисы докладов. В 3 Т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 488 с. С. 483–484.

7. **Эффективность** применения тепловизионного обследования электрооборудования подстанций // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2010. – № 1. – С. 42–45.

### **ФСК ЕЭС ввела в строй экспериментальную цифровую ПС нового поколения**

*ОАО «ФСК ЕЭС» ввело в строй первый пусковой комплекс экспериментальной цифровой подстанции. В торжественной церемонии запуска программно-аппаратного комплекса цифровой подстанции, прошедшей в Москве на испытательном полигоне ОАО «НТЦ электроэнергетики», принял участие заместитель Председателя Правления Федеральной сетевой компании Роман Бердников.*

*Основное назначение экспериментальной цифровой подстанции – отработка различных инновационных технологий перед их внедрением в работу на действующих энергообъектах ЕНЭС, в том числе – определение основных технических решений и требований, которым должны удовлетворять создаваемые сегодня подстанции.*

*В отличие от традиционных энергообъектов, на подстанции нового поколения организация потоков информации при решении задач мониторинга, анализа и управления осуществляется в цифровой форме. Это обеспечивает высокую точность и единообразие всех измерений.*

*Автоматизация позволяет снизить влияние человеческого фактора на работу сети, повысить ее надежность и снизить потери при транспортировке электроэнергии. Также в числе основных преимуществ подобных энергообъектов – снижение себестоимости, сокращение объема технического обслуживания и затрат на эксплуатацию.*

*Экспериментальная цифровая подстанция укомплектована интеллектуальным вторичным оборудованием, работающим на едином стандартном протоколе обмена информацией – IEC 61850.*

*В частности, на подстанции установлены высоковольтные цифровые измерительные оптические трансформаторы тока и напряжения, многофункциональные приборы измерений и учета, станционная шина и шина процесса, система синхронизации, новая система отображения и управления подстанцией (SCADA).*

*Использование волоконно-оптических кабелей позволяет отказаться от использования дорогостоящих медных проводов и повысить надежность соединений.*

*Разработка цифровой подстанции ОАО «ФСК ЕЭС» осуществляется в рамках реализации проекта по созданию интеллектуальной электрической сети, который позволит существенно повысить надежность электроснабжения потребителей, а также снизить энергопотери и расход энергоресурсов.*

**ОАО «ФСК ЕЭС»**