

Начальник группы тепловизионного контроля ООО «Элегазэнергосервис» Еремин Геннадий Львович.

Опыт работы группы тепловизионного контроля по диагностике электрооборудования на энергопредприятиях ОАО «Мосэнерго» и ОАО «МОЭСК».

Все большую популярность получает использование инфракрасной аппаратуры в энергетике и это естественно. Электросопротивление и наличие тепла – два взаимосвязанных фактора. Электрический ток, протекающий через проводник или диэлектрик, создает определенное количество энергии или тепла. Поэтому при увеличении сопротивления увеличивается и тепловыделение.

Для выявления электрооборудования с повышенным тепловыделением и оценки его теплового состояния применяют инфракрасные приборы – тепловизоры. Это связано с очевидными преимуществами ИК-аппаратуры по сравнению с другими методами неразрушающего контроля.

Во-первых, дистанционность измерения, которая обеспечивает безопасность работающего персонала, не вносятся помехи на поверхность объекта контроля; диагностику проводят при работающем электрооборудовании без вмешательства в процесс выработки и распределения электроэнергии, то есть еще на ранней стадии развития дефекта.

Во-вторых, высокая температурная разрешающая способность в сотые доли градуса.

В-третьих, оперативность контроля – высокочастотная разрешающая способность, определяющая скоростью развертки.

В-четвертых, высокая пространственная способность – съемка объектов разных размеров от нескольких миллиметров до нескольких метров;

В-пятых, высокопрофессиональные прикладные программы обработки термограмм, составления протоколов и их редактирования и т.д., без которых сложно обойтись.

Правда имеются и недостатки ИК-аппаратуры:

- измеряется только температура поверхностных слоев объекта;
- значительное влияние окружающей среды;
- влияние теплорадиационных свойств объекта;

В зависимости от выбора инструмента диагностирования будет зависеть и достоверность измерения. В настоящий момент для термодиагностики используются различные марки зарубежных тепловизионных систем фирм: США (FLIR Systems, Mikron), Франции (CEDIP), Японии (NEC, Nippon Avionics) и других стран через посреднические компании "Пергам", "Диагност", "Термотест" и др., а также отечественных производителей тепловизионных систем: ООО «ИРТИС», Метрон, МНПП «Нейроком» и другие.

Любая из вышеперечисленных фирм выпускает инфракрасные системы, позволяющие решать почти все задачи тепловизионной диагностики электрооборудования. Однако, они существенно отличаются трудозатратами, качеством изображения и возможностями его регистрации и обработки.

У приборов, в которых используется неохлаждаемые детекторы излучения, имеется нестабильность чувствительности во времени, и она тем больше, чем дольше ведется съемка;

Чувствительность и обнаружительная способность выше у приборов с охлаждаемым детектором излучения.

С 1996 года мы применяем для диагностики электрооборудования тепловизионную систему «ИРТИС-200» с охлаждаемым детектором излучения, которая устраивает нас по всем показателям: от минимальной цены за такой класс ИК аппаратуры, которая ниже зарубежных более, чем в 3 раза, до основной задачи тепловизионной аппаратуры – выявление дефектного электрооборудования в том числе и с фарфоровыми крышками (ТТ, ТН, вводы и т.д.) в любых климатических условиях. Нам приходилось работать с ним даже в 25 градусный мороз и прибор сохранял свою работоспособность. К тому же наличие прикладных программ обработки термограмм, составления протоколов,

редактирования их и т.д., позволяет быстро, достоверно и наглядно составлять протоколы тепловизионного обследования.

В данной статье мне хочется поделиться накопленным опытом по диагностике электрооборудования и линий электропередач, полученными тепловизионной группой ООО «Элегазэнергосервис» на энергопредприятиях более чем за 10 лет. За период с 1996 по 2007 год нами обследовано более 56000 единиц (трехфазного) электрооборудования и около 1000 км воздушных линий электропередач. За этот период очень изменился подход к определению состоянию электрооборудования от тепловизионного контроля (выявления мест повышенных нагревов) до диагностирования (определения технического состояния объекта с определенной точностью, с выдачей заключения о нем). Это связано с развитием тепловизионной аппаратуры, которая становится уже не только качественной тепло-холодно, но и количественной, то есть измерительной, но и с тем, что на данный момент электрооборудование, в большей своей части, отработало свой ресурс и требуется проводить его проверку по техническому состоянию.

Далее привожу термограммы с наиболее типовыми дефектами, встреченными нами, при тепловизионном обследовании электрооборудования.

### Трансформаторы тока.

Для трансформатора тока тепловизионный контроль является вспомогательным методом и при оценке его состояния необходима комплексная диагностика для уточнения дефекта, так как нагревы ТТ могут быть вызваны по следующим причинам:

- 1) дополнительными потерями в стали магнитопровода ТТ.
- 2) увлажнением и загрязнением масла ТТ.
- 3) конструктивными или технологическими факторами.
- 4) витковыми замыканиями в обмотках.

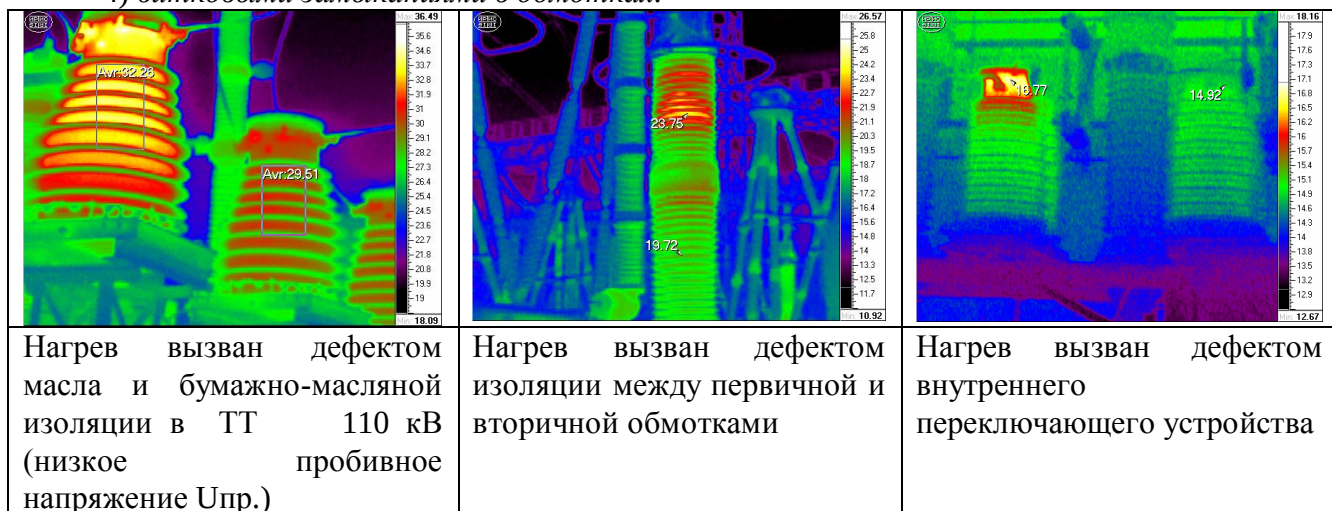


Рис.1.

Рис.2.

Рис.3

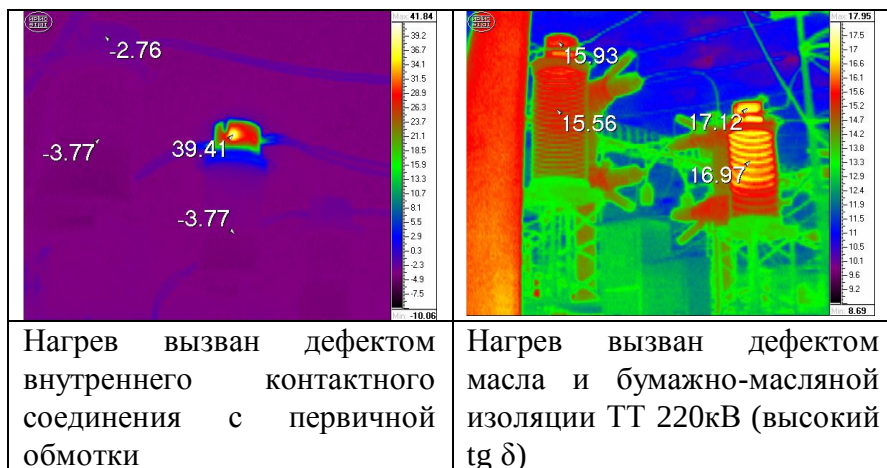


Рис.4.

Рис.5.

## Трансформаторы напряжения.

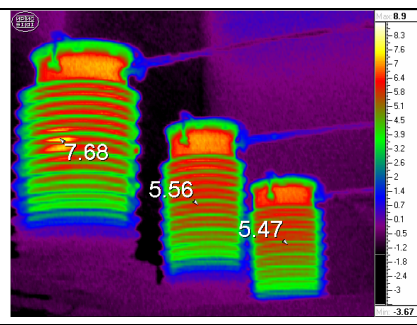
Нагревы ТН могут быть вызваны по следующим причинам:

- шламообразование на обмотках и магнитопроводе ТН, увлажнением и загрязнением масла, изоляционных стоек и маслобарьерной изоляции;
- дополнительные потери в стали магнитопровода, нарушение изоляции стяжных шпилек с образованием короткозамкнутых контуров;
- использование в ряде случаев при сборке ТН катушек обмотки ВН с заниженным сечением провода.;
- влияние внешних емкостных связей на распределение напряжения по каскадам.



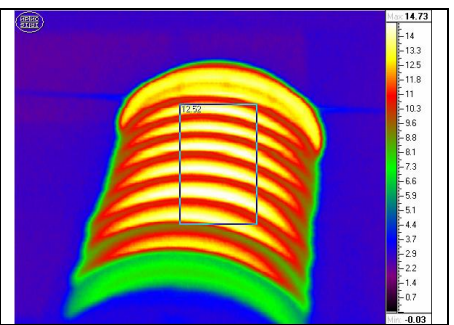
Нагрев вызван дефектом масла и бумажно-масляной изоляции (высокий  $\tan \delta$ )

Рис.6.



Нагрев вызван дефектом контактного соединения обмотки ВН

Рис.7.



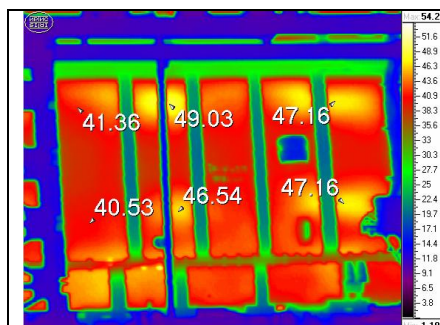
Нагрев вызван потерями в сердечнике магнитопровода из-за нарушения изоляции стяжных шпилек

Рис.8.

## Силовые трансформаторы

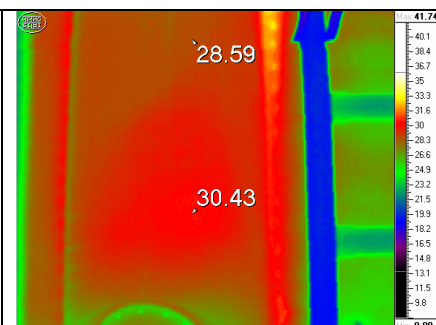
В них с помощью термографии можно определить наличие дефектов вызванных по следующим причинам:

- возникновение магнитных полей рассеяния вследствие нарушения изоляции элементов магнитопровода (консоли, шпильки и т.д.)
- нарушение в работе системы охлаждения трансформатора (маслонасосов, фильтров, вентиляторов, радиаторов и т.д.).
- изменение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора (образование застойных зон)
- нагрев внутренних контактов обмоток с выводами трансформатора
- витковые замыкания обмотки
- неправильно выполненное заземление магнитопровода или обрыв заземления.



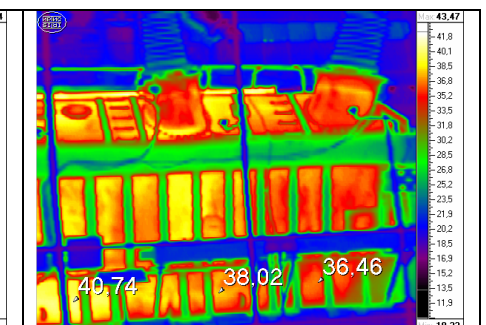
Локальные нагревы стенки бака трансформатора вызваны полями рассеяния

Рис.9.



Локальный нагрев стенки бака трансформатора вызван дефектом внутреннего контактного соединения ввода 500кВ с обмотками

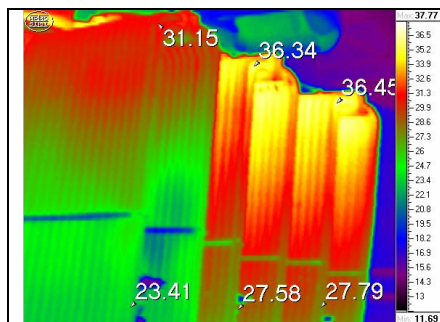
Рис.10.



Пониженная температура бака трансформатора вызвана образованием застойных зон в баке трансформатора из-за зашламления поддона трансформатора

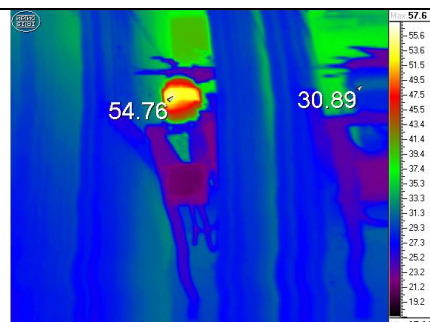
Рис.11.





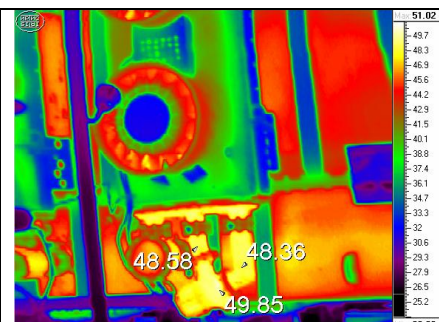
Пониженный нагрев радиатора вызван нарушением работы системы охлаждения из-за не полного открытия плоского крана радиатора.

Рис.12



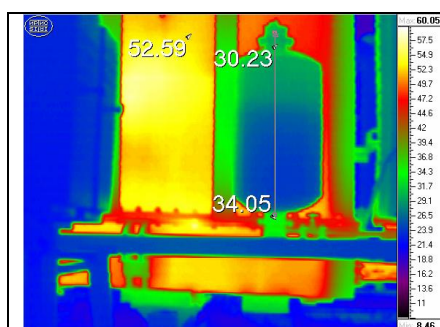
Перегрев двигателя вентилятора вызван неполнофазной работой электродвигателя вентилятора

Рис.13



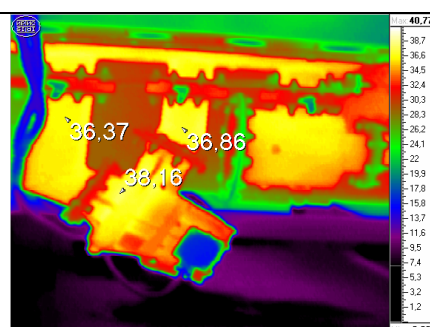
Локальный нагрев улитки маслонасоса вызван трением крыльчатки маслонасоса

Рис.14.



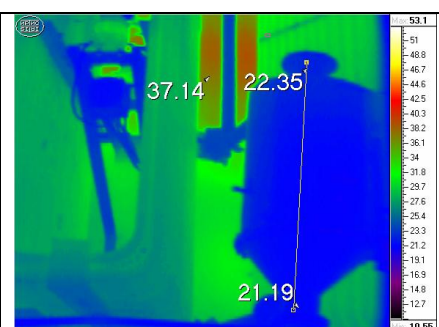
Силикагель в термосифонном фильтре зашламлен

Рис.15.



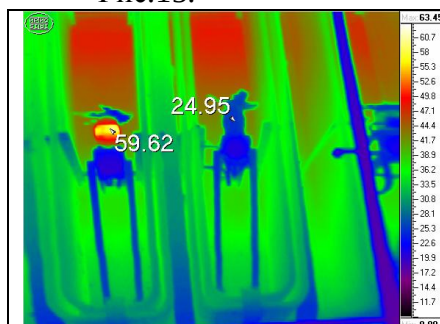
Нагрев маслонасоса вызван дефектом подшипника маслонасоса

Рис.16.



Закрыт кран на термосифонном фильтре

№17.



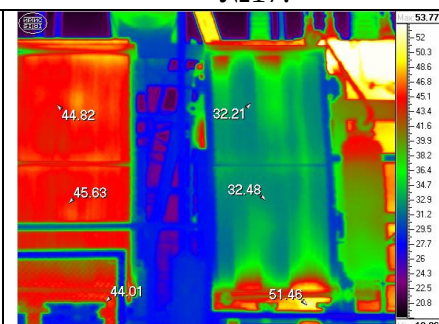
Перегрев двигателя вентилятора вызван витковым замыканием обмотки

Рис.18.



Нагрев улитки и двигателя маслонасоса вызваны трением крыльчатки и перегрузкой обмотки электродвигателя

Рис.19.



Пониженный нагрев радиатора охладителя вызван загрязнением (зашламлением) трубок радиатора охладителя правого (уменьшение проходного сечения трубок)

Рис.20.

|                                                                                            |                                                                                         |                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                            |                                                                                         |                                                                      |
| <p>Пониженный нагрев радиаторов охл.2 и 3 вызван загрязнением межтрубного пространства</p> | <p>Нагрев двигателя маслососа вызван дефектом электродвигателя (витковое замыкание)</p> | <p>Определение уровня масла в расширительном баке трансформатора</p> |

Рис.22.

Рис.23.

Рис.23.

|                                                                                                                                                                 |                                                                                |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                                                 |                                                                                |                                  |
| <p>Пониженный нагрев радиатора охладителя вызван уменьшением проходного сечения труб радиатора за счет зашламления их продуктами разложения масла и бумаги.</p> | <p>Нагрев двигателя маслососа вызван витковым замыканием обмотки двигателя</p> | <p>нормальная работа фильтра</p> |

Рис.24.

Рис.25.

Рис.26.

### Выключатели

Бак выключателя или его поверхность нагреваются из-за ухудшения состояния контактов и повышения температуры тепловыделения в этих местах.

С помощью термографии можно определить наличие дефектов в выключателях вызванных по следующим причинам:

|                                                                                       |                                                                                                      |                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       |                                                                                                      |                                                                                                     |
| <p>Нагрев бака выключателя вызван дефектом контактной системы выключателя ВМП-220</p> | <p>Нагрев полюса выключателя со стороны линейного вывода и со стороны профиля выключателя вызван</p> | <p>Нагрев полюса выключателя со стороны линейного вывода вызван дефектом в резьбовом соединении</p> |



|         |                                                    |                                                                      |
|---------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|         | дефектом между подвижным и неподвижными контактами | штулки с фланцем дугогасительной камеры в зоне контактного токосъема |
| Рис.27. | Рис.28.                                            | Рис.29.                                                              |

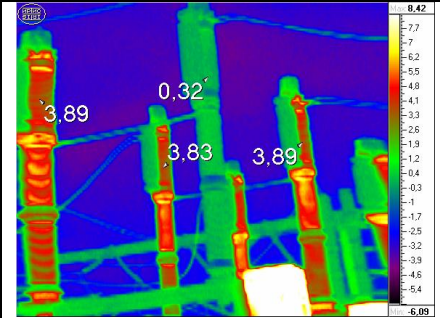
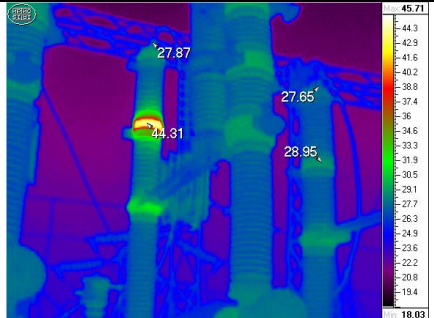
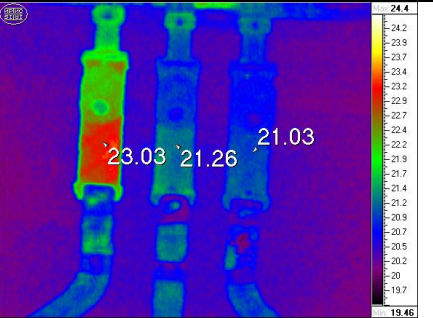
|                                                                                          |                                                                                                         |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|         |                       |  |
| Пониженный нагрев отдельных выключателей вызван отключением обогрева выключателя ВМТ-220 | Нагрев фланца на отдельной колонке воздушного выключателя вызван дефектом контактной системы отделителя | Нагрев бака выключателя вызван дефектом контактной системы (розетки)                |

Рис.30.

Рис.31.

Рис.32.

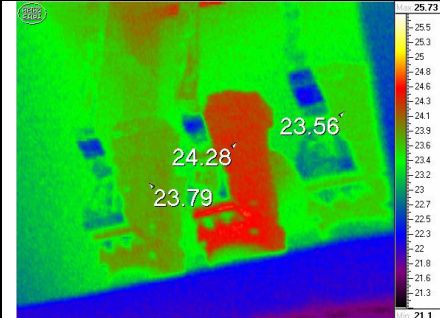
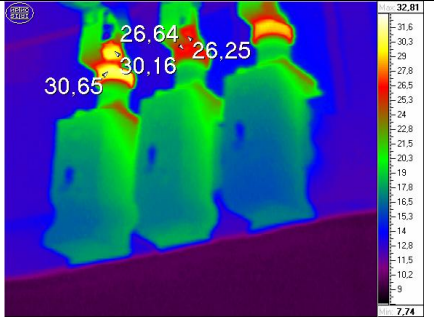
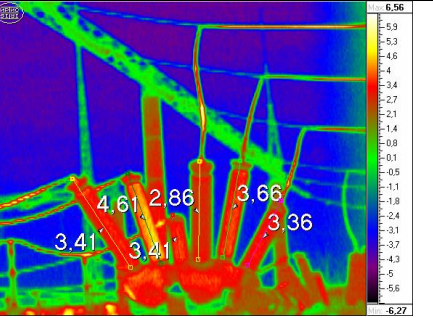
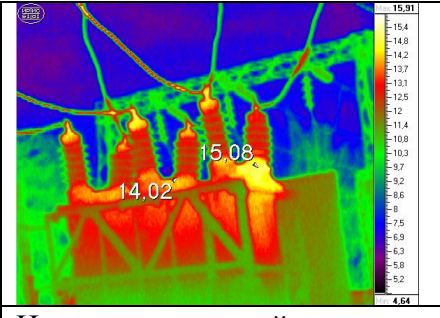
|                                                                                     |                                                                                                                 |                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                             |        |
| Нагрев бака выключателя вызван дефектом контактной системы (роликовом токосъемом)   | Нагрев фланца, контактного угольника и свечи выключателя вызваны дефектом контактной системы и вихревыми токами | Нагрев вводов средней (ф.3) фаза вызван дефектом контактной системы элегазового выключателя |

Рис.33.

Рис.34

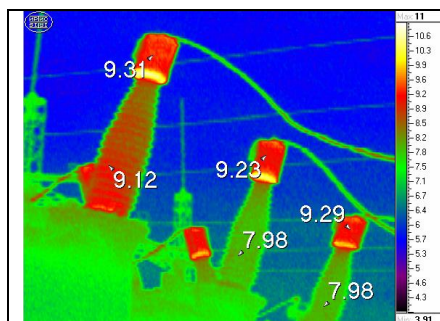
Рис.35.

|                                                                                     |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  |  |
| Нагрев нижней части                                                                 |  |  |

выключателя 35кВ вызван  
дефектом встроенного  
трансформатора тока

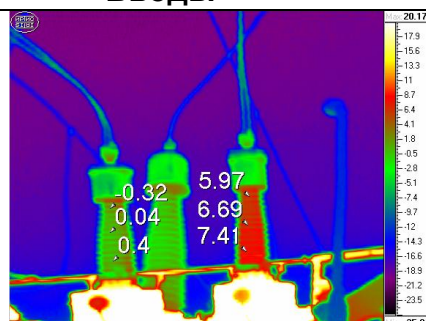
Рис.36.

## Вводы



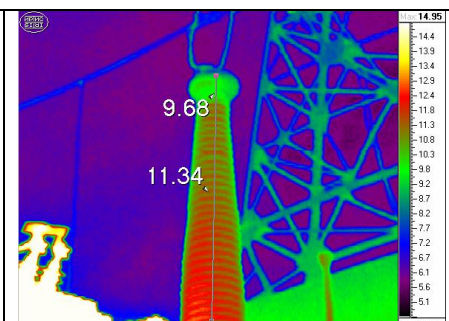
Нагрев крышки ввода  
масляного выключателя  
220кВ вызван полным  
отсутствием в нем масла

Рис.37.



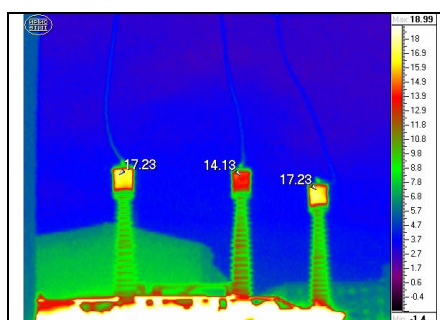
Нагрев крышки  
трансформаторного ввода  
110кВ вызван дефектом  
изоляции ввода – бурый  
налет на внутренней  
поверхности фарфоровой  
крышки ввода

Рис.38.



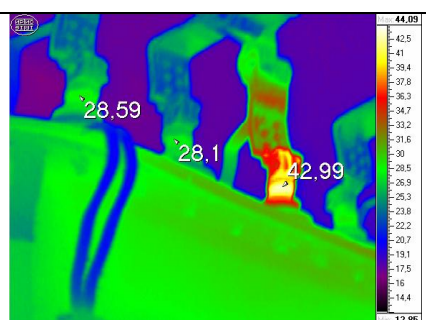
Пониженная температура  
верхней части трансформаторного  
ввода 500кВ в районе 1-3  
ребра вызвана понижением в  
нем уровня масла

Рис.39.



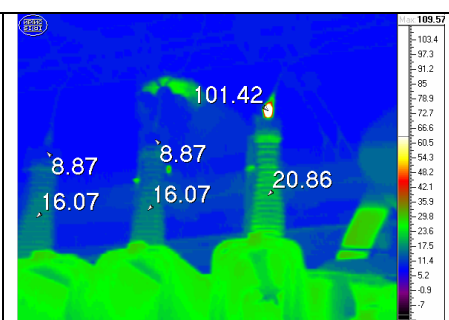
Кажущийся нагрев верхней  
части ввода вызван разной  
излучательной способностью  
верхних частей вводов

Рис.40.



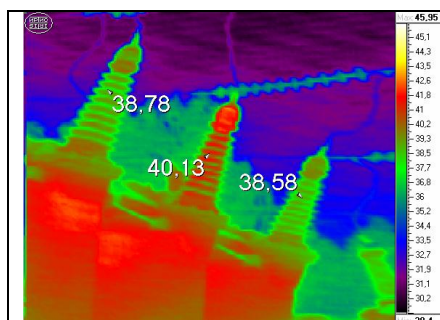
Нагрев ввода  
регулирующего  
трансформатора вызван  
дефектом внутреннего  
контактного соединения  
ввода с обмоткой

Рис.41.

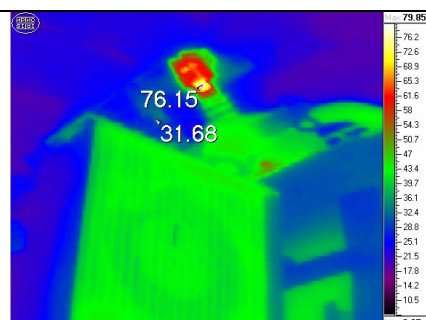


Нагрев крышки ввода и  
лопатки вызваны дефектом  
пайки остова ввода к лопатке

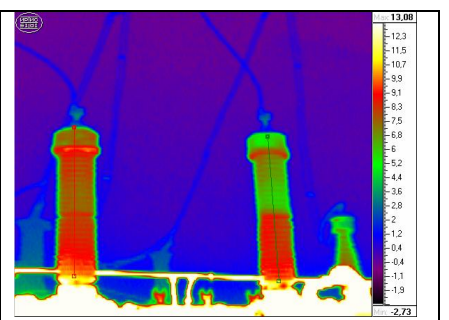
Рис.42.



Нагрев ввода вызван  
дефектом изоляции  
(повышенный tgδ)



Нагрев ввода 19кВ вызван  
дефектом соединения  
шпилька ) контактного  
(провернута)



Неравномерный нагрев  
крышки ввода 220кВ

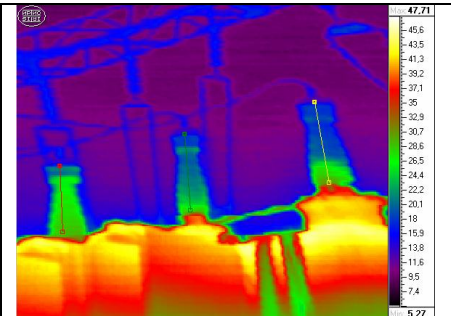
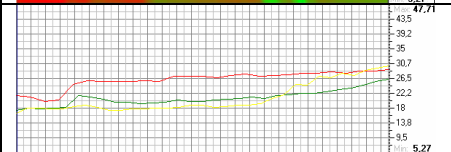


|  |  |                                                                         |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------|
|  |  | вызван плохой циркуляцией в нем масла из-за разбухшей бумажной изоляции |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------|

Рис.43.

Рис.44.

Рис.45

|                                                                                                  |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|                 |  |  |
|                 |  |  |
| <p>Неравномерный нагрев<br/>покрышки вводов вызван<br/>частичной отсутствием в них<br/>масла</p> |  |  |

№46

### Конденсаторы связи и делительные

Конденсатор связи и делительные конденсаторы воздушных выключателей состоят из фарфоровой покрышки, внутри которой располагается пакет с секциями рулонного типа, соединенных последовательно, а сами пакеты соединены параллельно.

Локальный нагрев фарфоровой покрышки происходит в результате частичного пробоя секции пакета.

Нагрев всей поверхности фарфоровой покрышки происходит в результате полного пробоя секции или нескольких секций пакета, что приводит к увеличению емкости пакета и протеканию по нему тока. Наиболее нагретая зона в месте пробоя.

|                                                                                     |                                                                                      |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  |
| <p>Нагрев вызван пробоем секции<br/>пакета конденсатора связи</p>                   | <p>Нагрев вызван частичным<br/>пробоем секции пакета<br/>конденсатора связи</p>      |  |

№47

№48

### Разрядники.

Неравномерный нагрев разрядников может быть вызван по следующим причинам:



Обрыв шунтирующего резистора или его увлажнение в элементе, элемент имеет более низкую температуру по сравнению с соответствующими элементами остальных фаз и температура его сравнима с окружающей средой

Замыкание искровых промежутков в элементе разрядника вызывает закорачивание имми шунтирующего резистора. При этом сопротивление элемента и всей фазы разрядника уменьшается, а ток проводимости увеличивается и сильнее нагревает незакороченные шунтирующие резисторы.

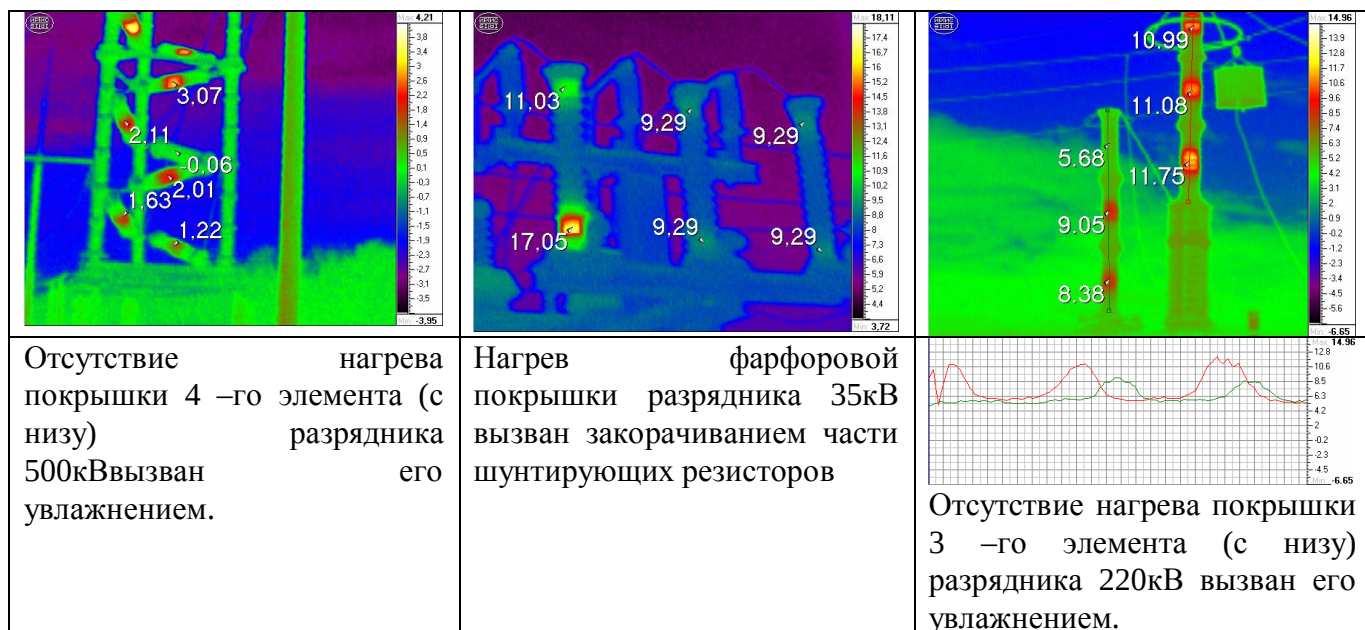


Рис.49.

Рис.50.

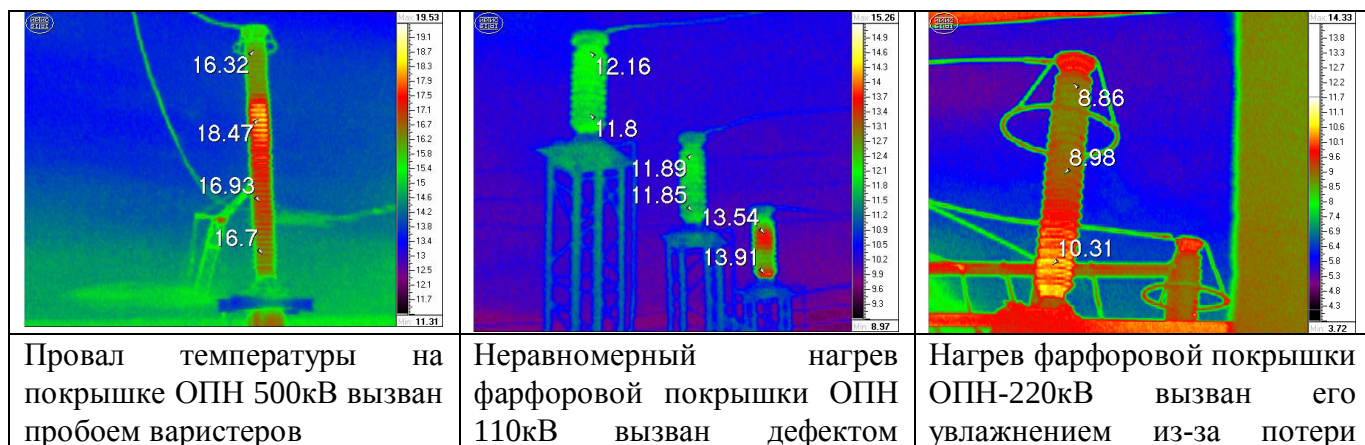
Рис.51.

### Ограничители перенапряжений

ОПН состоит из большого количества последовательно-параллельно соединенных высоколинейных варисторов, помещенных в фарфоровую рубашку и засыпанных кварцевым песком.

Нагрев покрышки ОПН происходит при увлажнении песка, в результате нарушения герметичности, следствием чего увеличивается ток проводимости.

Провал температуры на покрышке ОПН происходит в месте пробоя варисторов.

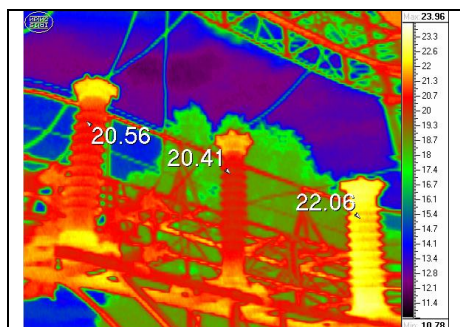


|  |            |                         |         |
|--|------------|-------------------------|---------|
|  | варистеров | герметичности<br>фланца | нижнего |
|--|------------|-------------------------|---------|

Рис.52.

Рис.53.

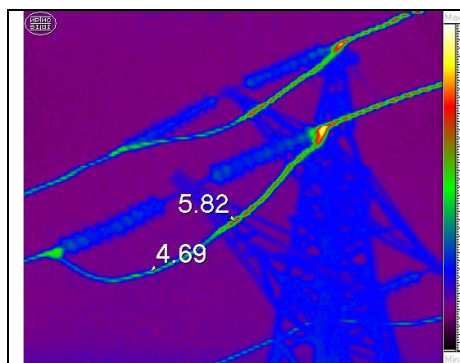
Рис.54.



Кажущийся нагрев покрышки правого ОПН вызвана разной излучательной способностью ОПН (правый ОПН-35кВ имеет коричневый цвет фарфоровой покрышки, два других белый цвет)

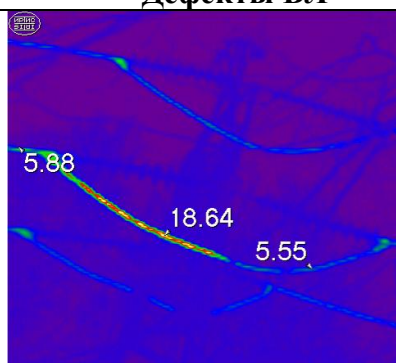
Рис.55.

### Дефекты ВЛ



Нагрев шлейфа провода вызван разной теплопроводностью материалов проводов (алюминий и медь)

Рис.56.



Нагрев шлейфа провода вызван распушенностью (обрыва нескольких жил) провода

Рис.57.



Нагрев шлейфа провода вызван дефектом термической сварки шлейфа ВЛ 220кВ

Рис.58.



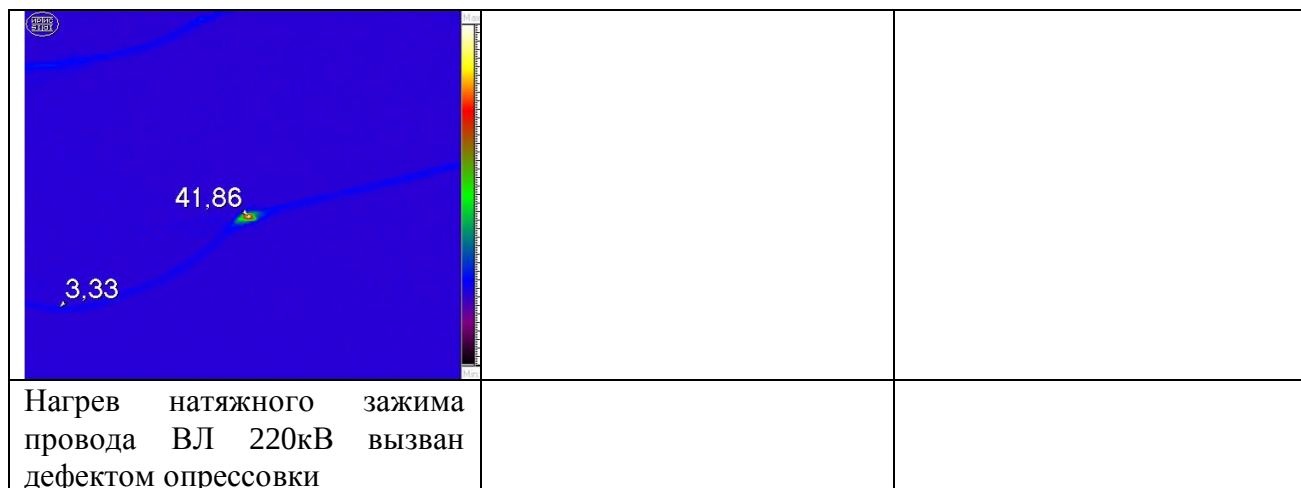


Рис.59

### Пассивные элементы и изоляторы

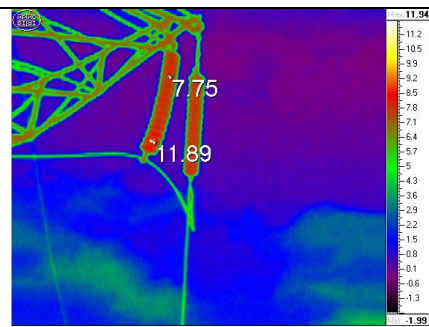
Подвесные тарельчатые изоляторы применяются в виде последовательно соединенных изоляционных конструкций (гирлянд), характер распределения рабочего напряжения по которым имеет U-образный характер. При пробое одного или нескольких изоляторов в гирлянде характер распределения рабочего напряжения в ней изменяется и большая его часть ложится на исправные изоляторы.

Такой же характер носит распределение температур по изоляторам гирлянды. Наибольшее значение температуры приходится на изоляторы, примыкающие к фазному проводу ВЛ, наименьшее, равное температуре окружающей среды, — на пробитые изоляторы.



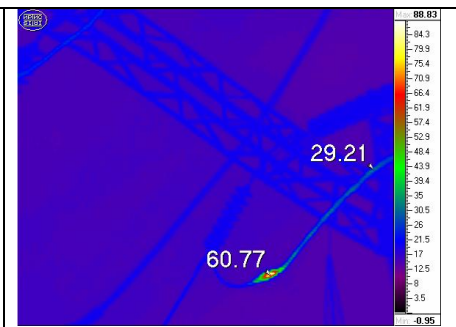
Нагрев стяжных болтов бака трансформатора вызван вихревыми токами возникающими в поддоне трансформатора из-за поля рассеяния

Рис.60.



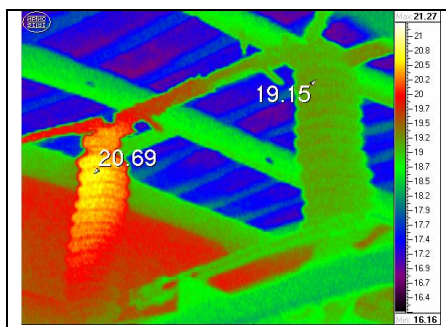
Нагрев фарфорового изолятора вызван дефектом изолятора (пробой секций)

Рис.61.



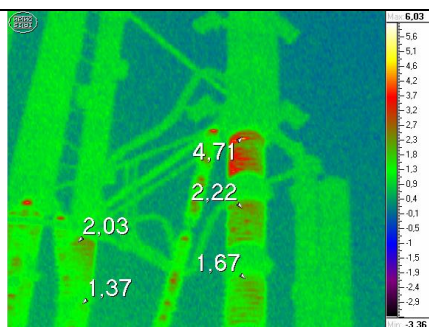
Нагрев шлефа провода в центральной его части вызван дефектом контактной сварки шлейфа

Рис.62



Нагрев изолятора разъединителя вызван дефектом изолятора (ионизация внутри изолятора)

Рис.63.



Нагрев опорного изолятора ВВ-500кВ вызван дефектом изолятора (ионизация внутри изолятора)

Рис.64.

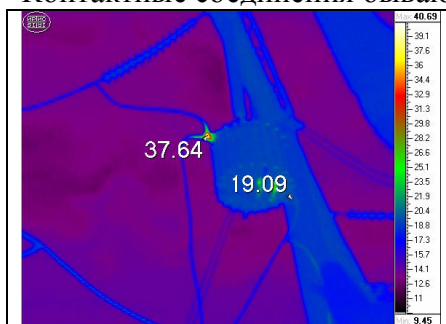


Нагрев верхней части опорного изолятора разъединителя 35кВ вызван дефектом изолятора (трещина в фарфоре)

Рис.65.

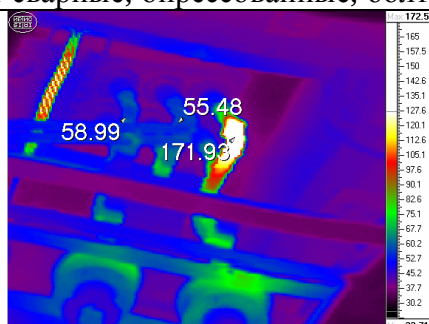
### Контактные соединения

Обнаружение нагрева контактных соединений это один из основных наиболее просто выявляемых дефектов. Нагрев происходит из-за большого активного сопротивления контактного соединения. Контактные соединения бывают сварные, опрессованные, болтовые и выполненные скруткой.



Дефект верхнего болтового контактного соединения высокочастотного заградителя

Рис.66.



дефект контактного соединения вывода генератора 10кВ с ошиновкой

Рис.67.



Дефект контактного соединения выполненного опрессовкой на разъединителе

Рис.68.

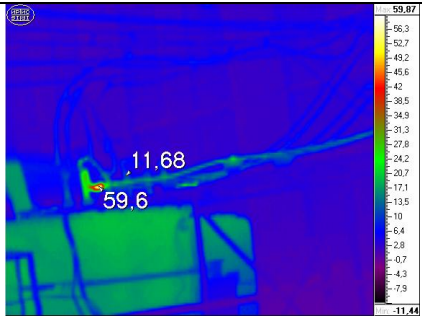
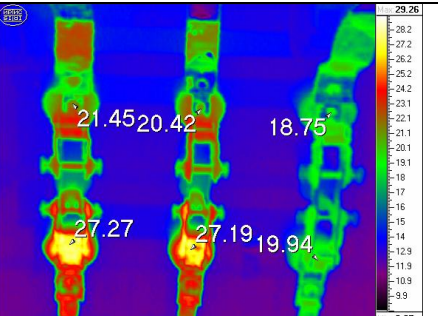
|                                                                                  |                                                                                   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  |
| Дефект контактного соединения опрессовкой                                        | Дефект болтового контактного соединения разъединителя                             |  |

Рис.69.

Рис.70.

### Экранированные токопроводы.

Дефекты в поддерживающих токоведущие шаны изоляторах приводят к их пробою. Быстро выявить такой дефект может тепловизионный метод.

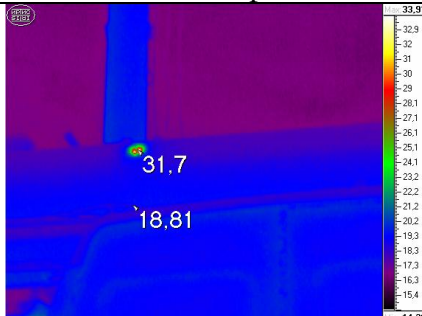
|                                                                                   |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Дефект токопровода 10кВ |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|

Рис.71.

### Силовые кабельные линии.

Нагрев происходит за счет перегрева кабеля, ионизационного износа изоляции кабеля в месте разделки, местной ионизации с наибольшей напряженностью электрического поля.

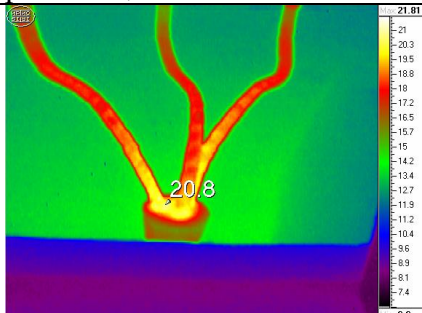
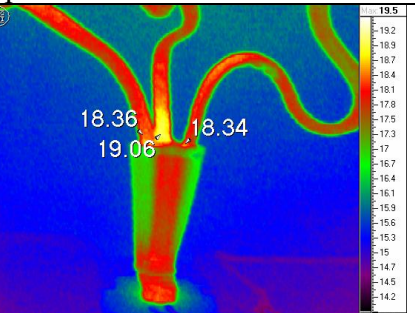
|                                                                                    |                                                                                     |                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Нагрев мастики кабельной воронки вызван местной ионизацией                         | Нагрев жилы кабельной воронки вызван повышенной нагрузкой                           | Нагрев жилы кабельной воронки вызван ее изломом                                       |

Рис.72.

Рис.73.

Рис.74.



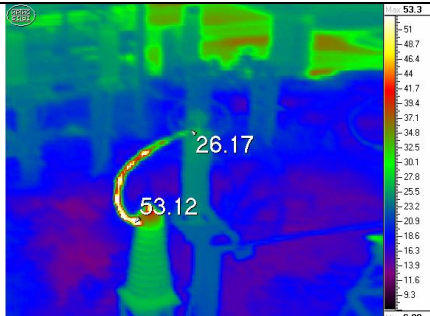
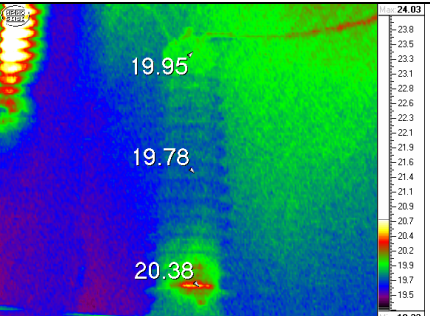
|                                                                                  |                                                                                   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  |
| Нагрев шлейфа<br>муфты вызван<br>нескольких жил обрывом<br>провода               | Дефект концевой<br>муфты вызван дефектом изоляции                                 |  |

Рис.75.

Рис.76.

Подводя итоги, можно сказать, что своевременно выявленные дефекты электрооборудования позволили предотвратить возможные аварии. Хочется поблагодарить коллектив фирмы «ИРТИС» и ее руководителя Щербакова Михаила Ивановича за создание прекрасной инфракрасной аппаратуры с чувствительностью 0.05°C, которая позволяет выявлять дефекты в начальной их стадии, и теперь с уверенностью можно смотреть в будущее электроэнергетики.

Надеюсь, что приведенные примеры помогут начинающим термографистам в их нелегком труде.

### Список литературы

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. — М.: Мир, 1988.
2. РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования», Изд.седьмое. — М.: ЭНАС. 2002.
3. Божанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств, М. «Энергопрогресс», «Энергетик», 2000