|  |  |
| --- | --- |
| К Г Э У | **МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» |

Кафедра электрические станции

Курсовой проект на тему:
«Тепловизионное диагностирование контактных соединений РУ и ВЛ»

Выполнил: Поздышев В.В.

Группа: ЗЭм-1-20

Проверил: Зарипов Д.К.

Казань-2021 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc90230800)

[1.Тепловизионный контроль контактных соединений РУ и ВЛ 7](#_Toc90230801)

[Спрессованные контактные соединения. 9](#_Toc90230802)

[Болтовые контактные соединения. 10](#_Toc90230803)

[Контактные соединения, выполненные скруткой. 12](#_Toc90230804)

[2.Расчет спектральной плотности излучения энергии нагретого тела при температуре 70 °С. 13](#_Toc90230805)

[Литературные источники 16](#_Toc90230806)

# Введение

Инфракрасная диагностика является наиболее перспективным и эффективным направлением развития в диагностике электрооборудования. Такая диагностика относится к тепловым методам контроля, основанным на измерении, оценке и анализе температуры контролируемых объектов. Главным условием применения диагностики является наличие в диагностируемом объекте тепловых потоков.

Температура — самое универсальное отражение состояния любого оборудования. При практически любом, отличном от нормального, режиме работы оборудования изменение температуры является самым первым показателем, указывающим на неисправное состояние. Температурные реакции при разных режимах работы в силу своей универсальности возникают на всех этапах эксплуатации электротехнического оборудования.

Части любого электрооборудования, находящегося под напряжением и/или нагрузкой, в той или иной мере нагреваются под их воздействием:

* токоведущие части электрооборудования (проводники) и контактных соединений (контактов) — Джоулевыми потерями;
* части электрооборудования, выполненные из ферромагнитных материалов - потерями на перемагничивание и вихревыми токами;
* части электрооборудования, выполненные из изоляционных материалов — диэлектрическими потерями в изоляции.

Совокупность нагретых токоведущих частей, контактных соединений (контактов), изоляционных, ферромагнитных материалов и конструктивных элементов электроустановки или ее части формирует температурное поле.

Энергия этого поля частично отводится в окружающую среду путем теплопроводности и конвекции, а оставшаяся часть вызывает изменение теплового состояния электроустановки или ее части и излучается в окружающее пространство поверхностью электрооборудования или контактных соединений (контактов) в виде инфракрасного излучения.

Вид (конфигурация) и параметры этого температурного поля могут служить диагностическими параметрами (признаками) исправности или неисправности электрооборудования и контактных соединений (контактов): при появлении неисправности или ненормальной работе, конфигурация и параметры температурного поля поверхности изменяются, в температурном поле появляются тепловые аномалии. Сопоставляя конфигурацию и параметры температурного поля исправного и диагностируемого электрооборудования или контактных соединений (контактов), эти тепловые аномалии можно зафиксировать и, таким образом, обнаружить и локализовать дефект.

Кроме того, при диагностировании контактных соединений (контактов), можно измерить его температурные параметры и сопоставив их с нормируемыми значениями, сделать вывод о его степени дефектности.

Инфракрасная диагностика обладает рядом достоинств и преимуществ по сравнению с традиционными методами испытаний, а именно:

1. достоверность, объективность и точность получаемых сведений;
2. безопасность персонала при проведении обследования оборудования;
3. отсутствие необходимости отключения оборудования;
4. отсутствие необходимости подготовки рабочего места;
5. большой объем выполняемых работ за единицу времени;
6. возможность определения дефектов на ранней стадии развития;
7. диагностика большинства типов подстанционного электрооборудования;
8. малые трудозатраты на производство измерений на единицу оборудования.

Инфракрасная термография использует в качестве диагностического параметра температурное поле объектов и связанный с ним процесс лучистого теплообмена между поверхностью объекта, окружающей средой и техническим средством диагностики путем улавливания, измерения и анализа ИК излучения, несущего информацию о конфигурации и количественных параметрах этого температурного поля.

Инфракрасное излучение характеризуется длинами волн в диапазоне от 0,78 мкм до 1 мм. Для целей технического диагностирования используются два участка этого диапазона — коротковолновый (2—6 мкм) и длинноволновый (8—12 мкм), в пределах этих участков атмосфера наиболее "прозрачна" для инфракрасного излучения.

Изменение интенсивности инфракрасного излучения регистрируется тепловизионными приборами, к ним относятся тепловизоры и пирометры.

Тепловизор — оптико-электронный прибор, предназначенный для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственного/пространственно-временного распределения радиа­ционной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, путем формирования временной последовательности термограмм и определения температуры поверхности объекта по известным коэффициентам излучения и параметрам съемки (температура окружающей среды, пропускание атмосферы, дистанция наблюдения и т. п.). Иначе говоря, тепловизор — это своего рода телекамера, снимающая объекты в ИК-излучении, позволяющая в реальном времени получить картину распределения теплоты (разницы температур) на поверхности.

Тепловизоры бывают различных модификаций, но принцип работы и конструкции у них примерно одинаковы.

Диапазон измеряемых температур, в зависимости от марки и типа тепловизора, может быть от –40 до +2000 °C.

Принцип работы тепловизора основан том, что все физические тела нагреты неравномерно, вследствие чего складывается картина распределения ИК-излучения. Другими словами, действие всех тепловизоров основано на фиксировании температурной разницы «объект/фон» и на преобразовании полученной информации в изображение (термограмму), видимое глазом.

Термограмма — это многоэлементное двухмерное изображение, каждому элементу которого приписывается цвет, или градация одного цвета, или градация яркости экрана, определяемые в соответствии с условной температурной шкалой. То есть температурные поля объектов рассматриваются в виде цветового изображения, где градации цвета соответствуют градации температур.

Все цвета на термограммах достаточно условны и не соответствуют реальным цветам. ИК-термограммы визуализируются в одной из цветовых палитр. Связь палитры цветов с температурой на термограмме задается самим оператором, т. е. тепловые изображения являются псевдоцветовыми. Выбор цветовой палитры термограммы зависит от диапазона используемых температур.

Пирометр – прибор для бесконтактного измерения температуры, принцип действия которого основан на измерении мощности теплового излучения объекта. Принципиальное отличие пирометров от тепловизоров заключается в том, что пирометры измеряют температуру в конкретной точке (до 1 см), а тепловизоры анализируют весь объект целиком, показывая всю разность и колебания температур в любой его точке.

Диапазон измеряемых температур, в зависимости от марки и типа пирометра, может быть от –100 до +3000 °C.

# 1.ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ





Как известно, в зависимости от конструкции, назначения, способа соединения материалов, области применения и других факторов различают болтовые, сварные, паяные и выполненные обжатием (спрессованные и скрученные) контактные соединения. К контактным соединениям можно отнести также дистанционные распорки проводов.
Сварные контактные соединения. При эксплуатации в контактных соединениях, выполненных сваркой, причинами возникновения дефектов могут являться: отклонения от заданных параметров, подрезы, пузыри, каверны, непровары, наплывы, трещины, шлаковые и газовые включения (раковины), незаделанные кратеры, пережог проволок жилы, несоосность соединенных проводников, неправильный выбор наконечников, отсутствие защитных покрытий на соединениях и т.п.

Технология термической сварки не обеспечивала надежную работу сварных соединителей проводов больших сечений (240 мм2 и более). Это связано с тем, что из-за недостаточного разогрева в процессе сварки соединяемых проводов и неравномерного сближения их концов происходит пережог наружных повивов, непровар, в месте сварки появляются усадочные раковины и шлаки. В результате снижается механическая прочность сварного соединения, приводящая при механических нагрузках, менее расчетных, к обрыву (перегоранию) провода в петле анкерной опоры.
Дефекты сварки в петлях анкерных опор приводили к аварийным отключениям BЛ при малом сроке их эксплуатации. Если в сварном соединении происходит обрыв отдельных проводников, то это приводит к повышению переходного сопротивления контакта и его температуры. Скорость развития дефекта в этом случае будет существенно зависеть от ряда факторов: значения тока нагрузки, тяжения провода, ветровых и вибрационных воздействий и т.п.
На основании проведенных экспериментов было установлено, что:
уменьшение активного сечения провода на 20 - 25 % за счет обрыва отдельных проводников может быть не выявлено при проведении тепловизионного контроля с вертолета, что связано с малым коэффициентом излучения провода, удаленностью тепловизора от трассы на 50 - 80 м, влиянием ветра, солнечной радиацией и другими факторами;
при отбраковке дефектных контактных соединений, выполненных сваркой, с помощью тепловизора или пирометра необходимо иметь в виду, что скорость развития дефекта у этих соединений намного выше, чем у болтовых контактных соединений с нажатием;
дефекты контактных соединений, выполненных сваркой при избыточной температуре около 5 выявленные тепловизором при обследовании с вертолета BJI, необходимо классифицировать как опасные;
стальные втулки, не удаленные со сварного участка проводов, могут создавать ложное впечатление о возможном нагреве, за счет высокого коэффициента излучения отожженной поверхности.

## Спрессованные контактные соединения.



В контактных соединениях, выполненных опрессовкой, наблюдается неправильный подбор наконечников или гильз, неполный ввод жилы в наконечник, недостаточная степень опрессовки, смещение стального сердечника в соединителе провода и т.п. Как известно, одним из способов контроля спрессованных соединителей является измерение их сопротивления постоянному току.
Критерием минимального контактного соединения служит сопротивление эквивалентного участка целого провода. Спрессованный соединитель считается пригодным к эксплуатации, если его сопротивление не более чем в 1,2 раза превышает эквивалентный участок целого провода.

При опрессовании соединителя, его сопротивление резко падает, но с увеличением давления оно стабилизируется и изменяется незначительно. Сопротивление соединителя весьма чувствительно к состоянию контактной поверхности прессуемых проводов. Появление оксида алюминия на контактных поверхностях ведет к резкому увеличению контактного сопротивления соединителя и повышенному тепловыделению.
Незначительные изменения переходного сопротивления контактного соединения в процессе опрессования, а также связанное с этим малое тепловыделение в нем показывает на недостаточную эффективность выявления в них дефектов непосредственно после монтажа с помощью приборов инфракрасной техники.
В процессе эксплуатации спрессованных контактных соединений, наличие в них дефектов будет способствовать более интенсивному образованию оксидных пленок с повышением переходного сопротивления и появлению локальных перегревов. Поэтому можно считать, что ИК-контроль новых спрессованных контактных соединений не позволяет выявлять дефекты опрессовки и должен проводиться для соединителей, проработавших в эксплуатации определенный срок (1 год и более).
Основными характеристиками спрессованных соединителей являются степень опрессовки и механическая прочность. С увеличением механической прочности соединителя его контактное сопротивление уменьшается. Максимум механической прочности соединителя соответствует минимуму электрического контактного сопротивления.

## Болтовые контактные соединения.



Контактные соединители, выполненные с помощью болтов, чаще всего имеют дефекты из-за отсутствия шайб при соединении медной жилы с плоским выводом из меди или сплава алюминия, отсутствия тарельчатых пружин, из-за непосредственного подсоединения алюминиевого наконечника к медным выводам оборудования в помещениях с агрессивной или влажной средой, в результате недостаточного усилия затяжки болтов и др.
Болтовые контактные соединения алюминиевых шин на большие токи (3000 А и выше) имеют недостаточную стабильность в эксплуатации. Если контактные соединения на токи до 1500 А требуют подтяжки болтов один раз в 1 — 2 года, то аналогичные соединения на токи 3000 А и выше нуждаются в ежегодной переборке, с непременной зачисткой контактных поверхностей. Необходимость в такой операции связана с тем, что в шинопроводах на большие токи (сборные шины электростанций и т.п.), выполненных из алюминия, более интенсивно протекает процесс образования оксидных пленок на поверхности контактных соединений.

Процессу образования оксидных пленок на поверхности болтовых контактных соединений способствуют различные температурные коэффициенты линейного расширения стальных болтов и алюминиевой шины. При прохождении по шинопроводу тока КЗ или переменной токовой нагрузки возникает вибрация, особенно при большой протяженности шинопровода и происходит деформация (уплотнение) контактной поверхности алюминиевой шины. В этом случае усилие, стягивающее две контактные поверхности ошиновки, ослабевает, имевшийся между ними слой смазки испаряется. В результате образования оксидных пленок площадь соприкосновения контактов, т.е. число и величина контактных площадок (точек), через которые проходит ток, уменьшается, и вместе с тем увеличивается плотность тока в них. Она может достигать тысяч ампер на квадратный сантиметр, вследствие чего сильно растет нагрев этих точек.
Температура последней точки достигает температуры плавления материалов контакта и между контактными поверхностями образуется капля жидкого металла. Температура капли, повышаясь, доходит до кипения, пространство вокруг контактного соединения ионизируется, может образоваться многофазное замыкание в РУ. Под действием магнитных сил дуга может перемещаться вдоль шин РУ со всеми вытекающими отсюда последствиями.
Опыт эксплуатации показывает, что наряду с шинопроводами на большие токи недостаточной надежностью обладают одноболтовые контактные соединения. Последние, в соответствии с ГОСТ 21242-75, допускаются к применению на номинальный ток до 1000 А, однако повреждаются уже при токах 400 - 630 А. Повышение надежности одноболтовых контактных соединений требует ряда технических мероприятий по стабилизации их электрического сопротивления.
Процесс развития дефекта в болтовом контактном соединении, как правило, протекает достаточно длительно и зависит от ряда факторов: тока нагрузки, режима работы (стабильная нагрузка или переменная), воздействия химических реагентов, ветровых нагрузок, усилий затяжки болтов, наличия стабилизации давления контактов и др.
Постепенное повышение переходного сопротивления контактного соединения происходит до определенного момента времени, после чего происходит резкое ухудшение контактной поверхности с интенсивным тепловыделением, характеризующим аварийное состояние контактного соединения

Аналогичные результаты были получены специалистами фирмы "Инфраметрикс" (США) при тепловых испытаниях болтовых контактных соединений. Повышение температуры нагрева в процессе испытаний носило постепенный характер в течение года, а затем наступал период резкого повышения тепловыделения.

## Контактные соединения, выполненные скруткой.



Отказы контактных соединений, выполненных скруткой, возникают, в основном, из-за дефектов монтажа. Неполная скрутка проводов в овальных соединителях (менее 4,5 витков) приводит к вытягиванию провода из соединителя и его обрыву. Неочищенные провода создают высокое переходное сопротивление, в результате чего происходит перегрев провода в соединителе с его возможным выгоранием. Отмечались случаи неоднократного выдергивания грозозащитного троса типа АЖС-70/39 из овального соединителя марки СО- АС-95-3 воздушных линий 220 кВ, скрученного на меньшее количество оборотов.

# 2.Расчет спектральной плотности излучения энергии нагретого тела при температуре 70 °С.

Для того, чтобы рассчитать спектральную плотность излучения энергии нагретого тела необходим знать несколько величин, а именно:

T – абсолютная температура, К. Для этого берём температуру, которая дана в исходных данных (в нашем случае это 70 °C) и переводим её в градусы по Кельвину по следующей формуле: К = С + 273, следовательно

70 °C = 343 °K

Далее по формуле Вина находим длину волны максимального излучения(λmax):

λmax=2898/Т, мкм

 λmax= $\frac{2898}{343}$ = 8,44 мкм

Затем для постройки графика берём 17 точек, где пиком будем длина волны максимального излучения 8,44 мкм, а остальные для остальных точек с разницей (шагом) на 0,5 мкм будем находить спектральную мощность излучения (L) для каждой токи по формуле Планка. Результаты расчётов занесены в таблицу ниже.

Таблица. Значения полученные по формуле Планка

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| , мкм | L,Вт/(м2·ср·мкм) | , мкм | L,Вт/(м2·ср·мкм) |
| 4,44 | 5.445 | 8,94 | 19.298 |
| 4,94 | 8.311 | 9,44 | 18.897 |
| 5,44 | 11.203 | 9,94 | 18.310 |
| 5,94 | 13.819 | 10,44 | 17.593 |
| 6,44 | 15.972 | 10,94 | 16.793 |
| 6,94 | 17.587 | 11,44 | 15.945 |
| 7,44 | 18.666 | 11,94 | 15.076 |
| 7,94 | 19.260 | 12,44 | 14.209 |
| 8,44 | 19.444 |   |   |

График по полученным значениям

# Литературные источники

1. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ РД 153-34.0-20.363-99;
2. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: ИД Спектр, 2009;
3. Гобрей, Р. Диагностирование электрооборудования 0,4-750 кВ средствами инфракрасной техники / В. Чернов, Э.Удод. – Киев: "КВІЦ", 2007;
4. Диагностика электрооборудования и электрических станций и подстанций: учебное пособие/ А.И. Хальясмаа, С.А. Дмитриев, С.Е. Кокин, Д.А. Глушков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015.