****

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**

**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

 **Методы диагностики изоляции высоковольтного электрооборудования**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

**по курсам**

**«Диагностика электрооборудования установок высокого напряжения» и «Организация диагностики электрооборудования электрических станций и подстанций»**

**Казань 2021**

УДК 621.316.027

ББК 31.29-5

|  |  |
| --- | --- |
|  | Методы диагностики изоляции высоковольтного электрооборудования: **:** лабораторные работы / Сост.: Д.К. Зарипов, В.М. Булатова. − Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. − 34 с. |
|  | Приведены содержание и порядок выполнения исследований в ходе лабораторных работ по диагностированию различных элементов высоковольтного оборудования. Предназначено для практического освоения студентами навыков технического обслуживания электроэнергетического оборудования. Предназначено для студентов всех форм обучения направления подготовки 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», изучающих курсы по диагностике электрооборудования.  |

УДК 621.316.027

ББК 31.29-5

© Казанский государственный энергетический университет, 2021.

# ВВЕДЕНИЕ

Курсы «Диагностика электрооборудования установок высокого напряжения» и «Организация диагностики электрооборудования электрических станций и подстанций» включают, помимо лекций и практических занятий, лабораторные работы.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способность самостоятельно проводить измерения;

- способность обрабатывать результаты экспериментов;

 - способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров оборудования.

Основная цель лабораторных работ - ознакомить студентов с особенностями эксплуатации высоковольтного оборудования, его электрическими характеристиками и методами контроля и испытаний.

В сборнике представлены общие методические указания к выполнению работ, описания лабораторных установок, требования к оформлению отчета. Теоретические сведения предлагается изучать по лекциям и рекомендованной в конце сборника литературе.

Каждая работа рассчитана на 4 часа занятий в лаборатории. В указаниях к лабораторным работам содержатся описания техники безопасности проведения исследований, перед выполнением работы обязательно производится инструктаж.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

# ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Цель работы: изучение методики электрического испытания трансформаторного масла, определение пригодности испытуемого образца для применения в высоковольтных установках.

Задачи работы:

1. Испытание трансформаторного масла на электрическую прочность.
2. Измерение tgδ трансформаторного масла.
3. Ответы на контрольные вопросы.

**Краткие теоретические сведения:**

Минеральное масло является необходимой принадлежностью каждого высоковольтного трансформатора, масляного выключа­теля, маслонаполненного изолятора. Благодаря высоким изоли­рующим свойствам минеральное масло является самым распрос­траненным жидким диэлектриком. В процессе эксплуатации при повышенной температуре масло стареет и его электрическая прочность снижается. Тепловое старение происходит вследствие возникновения или ускорения химических процессов. Оно выражается, прежде всего, в повышении проводимости и увеличении диэлектрических потерь. В минеральных маслах при повышении температуры раз­виваются окислительные процессы, в результате которых обра­зуются органические кислоты, альдегиды и смолы. Одновремен­но с увеличением проводимости и диэлектрических потерь сни­жается электрическая прочность масла. Увеличение проводимо­сти и диэлектрических потерь вызывает дополнительный нагрев изоляции и ускорение темпов старения.

Электрическая прочность масла зависит от многих причин, но наибольшее влияние на нее оказывает присутствие в масле влаги. Будучи гигроскопичным, масло само по себе содержит некоторое количество влаги, но, кроме того, в процессе про­изводства, транспортировки, хранения и эксплуатации оно может воспринять влагу в еще большем количестве.

С увеличением влажности возрастает скорость теплового старения. Это объясняется тем, что влага приводит к образо­ванию слабых электролитов из загрязнений. В них происходят диссоциация и образование ионов, что влечет за собой рост проводимости и диэлектрических потерь. Увлажнение сопровож­дается также значительным снижением кратковременной элект­рической прочности.

Снижение изоляционных свойств масла может привести к разного рода авариям в электрических установках. Для того чтобы предохранить электросиловое оборудование от повреждений и длительных простоев, необходимо периодически проверять электрическую прочность масла, находящегося в работающей аппаратуре, и масла, предназначенного для ее заполнения.

Трансформаторное масло обладает следующими свойствами:

- малая вязкость (слишком вязкое масло хуже отводит теплоту потерь от обмоток и сердечника трансформатора и хуже пропитывает пористую изоляцию);

- температура застывания -70о С (используется в аппаратах, работающих при низкой температуре окружающей среды);

- электрическая прочность Епр = 10 … 25 МВ/м (очень чувствительна к увлажнению, но при сушке восстанавливается);

- теплоемкость и теплопроводность масла увеличиваются с ростом температуры (при нормальной температуре удельная теплоемкость масла ср = 1,5 Дж/(кг К), коэффициент теплопроводности 1 Вт/(м К) , и данные характеристики выше, чем у воздуха в 25 – 30 раз.

- Стандартом нормировано также кислотное число, что важно для учета старения масла в процессе эксплуатации и для разных марок масла не должно превышать 0,03 … 0,1 г КОН на 1 кг.

- Значение tgδ определяется проводимостью и зависит от степени очистки масла ( при 50 Гц tgδ не должен превышать 0,003 ).

- Важной характеристикой масла является его электрическая прочность, которая очень чувствительна к увлажнению.

- Примесь воды в масле снижает значение пробивного напряжения Uпр. Если вода находится в масле в виде эмульсии, т.е. в виде мельчайших капель, которые втягиваются в места, где напряженность поля велика, то в этом месте может быть пробой.

Кроме воды на электрическую прочность трансформаторного масла влияет газ, содержащийся в виде пузырьков в жидкости. Начальной стадией пробоя технически очищенного, но недегазированного жидкого диэлектрика является ионизация находящихся в нем газовых объемов. В том месте, где началась ионизация газов, резко усиливается напряженность электрического поля – как бы возникают проводящие острые включения, усиливается газовыделение, что и приводит к пробою. Соответственно, существует зависимость электрической прочности жидкого диэлектрика от внешнего давления (увеличивается с повышением давления). В хорошо дегазированной жидкости такая зависимость отсутствует.

- Существует зависимость электрической прочности от температуры, особенно для жидких диэлектриков, содержащих эмульсионную воду. При повышении температуры выше комнатой эмульсионная вода переходит в молекулярно растворенное состояние, в котором вода слабее влияет на электрическую прочность. У сухого масла такая зависимость от температуры отсутствует.

- Правила технической эксплуатации предусматривают определенные нормы электрической прочности для чистого и сухого трансформаторного масла, приготовленного для заливки в аппарат, и для масла, находившегося в эксплуатации.

 Трансформаторное масло проверяется с помощью следующих испытаний.

1. Определение электрической прочности масла.

Определение электрической прочности изоляционного масла производится в стандартном сосуде с дисковыми электродами.

Сосуд наполняется минеральным маслом и вставляется через крышку в аппарат АИМ-80. Перед испытанием щупом 2,5 мм проверяют расстояние между электродами.

Проба масла должна быть выдержана в закрытом сосуде в помещении до тех пор, пока не примет комнатную температуру. Перед испытанием банку с пробой осторожно переворачивают несколько раз, чтобы перемешать масло, затем промываютэлектроды и сосуд испытательным маслом. После промывки сосуд заполняют маслом так, чтобы его слой над электродами был не менее 15 мм, дают маслу отстояться 10-15 минут, в течение которых имеющиеся в масле пузырьки воздуха всплывают на поверхность.

Испытание должно производиться при плавном подъеме напряжения со скоростью 2-5 кВ/с. Напряжение поднимается до тех пор, пока не происходит полный пробой масла. То наибольшее напряжение, которое было отмечено по вольтметру в момент пробоя, называется пробивным. Если пробоя не произошло при подъеме напряжения до 60 кВ, напряжение уменьшают до 0. Если при уменьшении напряжения произойдет пробой, то данное напряжение считается пробивным. Всего делается 6 пробоев. За пробивное напряжение пробы принимается среднее из пяти последовательно полученных пробивных напряжений при одном и том же масле в банке.

Среднее арифметическое значение пробивного напряжения:

 (1.1)

где Uпрi - величина, полученная при последовательных пробоях, кВ

n - число пробоев.

 Трансформаторное масло должно удовлетворять значениям, приведенным в таблице 1.1.

Предельно допустимые значения показателей качества

трансформаторного масла

Таблица 1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ПоказательКачества масла | Свежее сухое масло передзаливкой в оборудование | Масло непосредственнопосле заливки в оборудование |
| Электрическаяпрочность масла,кВопределяется в стандартном сосуде для трансформаторови изоляторовнапряжением: | ПоГОСТ982 – 80 \*маркиТКи | ПоГОСТ10121-76\* | ПоТУ38-1-182-68 | ПоТУ38-1-239-69 | ПоГОСТ982-80\*маркиТКи | ПоГОСТ10121-76\* | ПоТУ38-1-182-68 | ПоТУ38-1-239-69 |
| до 15 кВ |  30 |  30 |  30 |  - |  25 |  25 |  25 | - |
| от 15 до 35 кВ |  35 |  35 |  35 |  - |  30 |  30 |  30 | - |
| от 60 до 220 кВ |  45 |  45 |  45 |  - |  40 |  40 |  40 | - |
| от 330 до 500 кВ |  55 |  - |  55 |  55 |  50 |  50 |  50 | 50 |

 Значение пробивного напряжения жидкого диэлектрика является основным критерием надежности его работы по обеспечению требуемой изоляции в электрических аппаратах.

Если полученное значение не соответствует установленной норме (предельно допустимому), качество диэлектрика считают неудовлетворительным. В этом случае в протоколе испытаний указывается необходимость замены или очистки электроизоляционного материала.

Для выявления причин неудовлетворительных результатов испытания проба диэлектрика испытывается на влагосодержание, содержание механических примесей, содержание растворенного шлама.

По результатам испытаний составляется протокол.

2. Измерение tgδ изоляционного масла.

Диэлектрическими потерями называют энергию, рассеиваемую в электроизоляционном материале под воздействием на него электрического поля.

Старение и разрушение изоляции или воздействие влаги увеличивает потери энергии, которая рассеивается в изоляционном материале в виде теплоты. Величину этого рассеивания обычно выражают в виде тангенса угла диэлектрических потерь. При испытании диэлектрик рассматривается как диэлектрик конденсатора, у которого измеряется емкость и угол δ, дополняющий до 90° угол сдвига фаз между током и напряжением в емкостной цепи. Этот угол называется углом диэлектрических потерь.



Рисунок 1.1. Поясняющая векторная диаграмма

Тангенс угла диэлектрических потерь масла (tgδ масла) характеризует свойства трансформаторного масла как диэлектрика. Диэлектрические потери для свежего масла характеризуют его качество и степень очистки, а в эксплуатации - степень загрязнения и старения масла. Ухудшение диэлектрических свойств (увеличение tgδ) приводит к снижению изоляционных характеристик трансформатора в целом.

Измерение диэлектрических потерь трансформаторного масла производится автоматизированной установкой «Тангенс-3М». Установка предназначена для определения тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторного масла по ГОСТ 6581-75 при частоте 50 Гц. Измерения в установке проводятся по мостовой схеме (рис. 1.2) в автоматическом режиме. Масло заливается в кювету, которая устанавливается в термостат. Измерения проводятся при фиксированных температурах масла.



Рис. 1.2.

Полученные значения *U*пр и tgδ сравнивают c величинами, установленными в документе «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

Описание лабораторного оборудования и методика проведения измерений

Лабораторное оборудование состоит из аппарата АИМ-80 для определения пробивного напряжения трансформаторного масла и установки «Тангенс-3М», предназначенной для измерения величины tgδ. Источником питания приборов является сеть 220 В. Приборы снабжены необходимой защитной автоматикой и блокировкой. Объект испытания - трансформаторное масло.

Предварительная подготовка

1. Изучить лабораторное оборудование и инструкции по технике безопасности для работающих с высоким напряжением.

2. Подготовить таблицы для записи экспериментальных данных.

3. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности при работе на лабораторном оборудовании.

Проведение исследований

1. Определить пробивное напряжение масла *U*пр при *f* = 50 Гц.

2. Измерить tgδ.

Измерения tgδ осуществляются в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора «Тангенс-3М». Масло считается пригодным к эксплуатации, если выдерживается соотношение

tgδ *≤* tgδдоп.

Значение tgδдоп определяется по нормам.

По результатам испытания масла нужно дать заключение о его пригодности для эксплуатации, для чего полученные результаты испытания необходимо сравнить с величинами, указанными в нормах на изоляционные трансформаторные масла.

Содержание отчета

1. Предварительная подготовка, таблицы.

2. Результаты исследований.

3. Заключение о пригодности масла.

4. Технические характеристики оборудования и приборов.

Контрольные вопросы

1.1. Для чего используется трансформаторное масло в трансформаторах и реакторах?

1.2. Какой показатель масла характеризует его качество и степень очистки свежего масла, а в процессе эксплуатации — степень его загрязнения и старения?

1.3. Каким должно быть пробивное напряжение свежего масла?

1.4. Какой должна быть электрическая прочность свежего сухого масла перед заливкой в силовой трансформатор 220кВ?

1.5. Можно ли проводить испытания трансформаторного масла, если температура масла составляет 30оС, а в помещении на момент испытания 22оС? Ответ обоснуйте

1.6. Сколько пробоев должно быть проведено для одной пробы жидкого диэлектрика?

1.7. Что называется углом диэлектрических потерь?

1.8. Что характеризуют диэлектрические потери для свежего масла?

1.9. Как изменяется tgδ при ухудшении диэлектрических свойств трансформаторного масла?

1.10. Как распределяются токи в диэлектрике при приложении к нему переменного напряжения?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

# ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

**Цель работы:** изучение методики испытаний высоковольтного оборудования повышенным напряжением.

Задачи работы

1. Ознакомление со схемой установки, с инструкцией по технике безопасности и инструкциями по пользованию приборами.

2. Изучение метоики испытания внешней изоляции объекта в сухом состоянии при напряжении промышленной частоты.

3. Испытание изоляции кабеля выпрямленным напряжением с измерением тока утечки.

Общие теоретические сведения

Для обнаружения сосредоточенных дефектов изоляции высоковольтного оборудования необходимо применение специальных методов. Иногда дефект может быть обнаружен только приложением повышенного напряжения. Испытание повышенным напряжением является обязательным после выхода изоляции из ремонта. Испытаниям повышенным напряжением подвергается каждый вновь разработанный тип электрооборудования, а также каждое изделие при выпуске его заводом изготовителем. Величины испытательных напряжений и длительности их приложений нормируются.

Описание лабораторной установки

Установка для испытаний изоляции напряжением переменного тока

(рисунок 2.1) состоит из регулировочного устройства испытательного транс-

форматора, контрольно-измерительных приборов и средств защиты.

Схема установки должна включать автоматический выключатель 1, регулировочное устройство 2, измерительные приборы 3, 4 и 7 для контроля режима установки, выключатель (рубильник) 5 для создания видимого разрыва в цепи питания, испытательный трансформатор 6, защитный разрядник 8 и ограничительный резистор R.



Рис. 2.1 Схема испытательной установки

Уставка срабатывания автоматического выключателя не должна пре-

вышать ток потребления из сети при полном испытательном напряжении на

объекте не более чем в 2 раза.

Установка для испытания изоляции выпрямленным напряжением со-стоит из регулировочного и выпрямляющего устройств, а также контрольно- измерительных приборов и средств защиты. Схема измерения приведена на рисунке 2.2.



Рис. 2.2. Схема установки для испытания изоляции напряжением

постоянного тока

Выпрямительное устройство содержит испытательный трансформатор

и выпрямитель с фильтром.

Схема установки включает автоматический выключатель 1, регулиро- вочное устройство 2, амперметр 3, вольтметр 4, выключатель (рубильник) для создания видимого разрыва в цепи питания 5, испытательный трансфор- матор 6, выпрямитель 7 с фильтром 8, а также устройство для измерения ис- пытательного напряжения 9 и разрядное устройство 10, состоящее из сопро- тивления R и коммутационного аппарата.

Ток проводимости, протекающий через изоляцию объекта при испыта- ниях, обычно не превышает 10 мА. Это и определяет мощность трансформа- тора 6. Ток регулировочного устройства 2 согласуется с током холостого хода испытательного трансформатора.

Вентили (диоды) выпрямителя 7 должны выбираться исходя от ожи- даемого тока проводимости и обратного напряжения. По условиям выдерживаемого обратного напряжения требуется последовательное соединение диодов. Значение обратного напряжения зависит от схемы выпрямителя. В рекомендуемых схемах оно равно удвоенному испытательному напряжению.

Напряжение на выходе выпрямительного устройства имеет пульсации. Для выделения постоянной составляющей применяется фильтр – согласующий (накопительный) конденсатор. Конденсатор фильтра заряжается через выпрямитель током испытательного трансформатора и разряжается током проводимости объекта.

Предварительная подготовка

1. Изучить следующие теоретические вопросы:

а) методика испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты;

б) испытание изоляции повышенным выпрямленным напряжением;

в) испытательные напряжения электрооборудования.

2. Для заданного объекта (подвесной изолятор, проходной изолятор, опорный изолятор, кабель) по нормативным документам определить величину испытательного напряжения промышленной частоты при нормальных атмосферных условиях.

3. Ознакомиться со схемой установки, с инструкцией по технике безопасности и инструкциями по пользованию отдельными приборами.

Проведение исследований

При испытаниях повышенным напряжением необходимо соблюдать следующие правила:

а) не включать высокое напряжение до проверки схемы преподавателем;

б) проходить за ограждение для производства присоединений, лишь предварительно убедившись в том, что трансформатор Тр отключен автоматом, регулировочное устройство находится в нулевом положении и цепь блокировки разомкнута, объект заземлен. В цепи питания должен быть видимый разрыв.

Перед диагностикой повышенным напряжением переменного тока должны быть выполнены следующие работы:

а) произведен осмотр внешнего состояния изоляции,

б) измерено Rиз, Кабс,

 в) измерены характеристики изоляции, позволяющие сделать заключение о возможности включения электрических машин в работу.

1. Испытать внешнюю изоляцию объекта в сухом состоянии при напряжении промышленной частоты. Определить сухоразрядное напряжение. При измерении разрядных напряжений скорость повышения приложенного напряжения до 50 % нормированного напряжения может быть произвольна. В дальнейшем скорость повышения напряжения должна равняться примерно 2% в секунду от нормированного разрядного.

Объектом испытания повышенным напряжением промышленной частоты служит изоляция подвесных, проходных и опорных изоляторов. Испытываются опорные и проходные изоляторы нескольких типов рабочими напряжениями от 6 до 20 кВ.

При испытаниях разрядное напряжение определяется как среднее из трех наблюдений.

2. Испытать междуфазную изоляцию кабеля выпрямленным повышенным напряжением, измеряя поминутно ток утечки.

Объект считается выдержавшим испытания, если не произошло пробоя

или перекрытия изоляции. Допускается возникновение слабых скользящих разрядов по поверхности фарфоровой или аналогичной изоляции.

Если не были отмечены местные нагревы с измерением тока проводимости , браковочным фактором является рост тока проводимости.

После испытаний снять испытательное напряжение до нуля и отключить установку. Поднести стержень заземляющей штанги к высоковольтному выводу, снять остаточный заряд, оставшийся на кабеле, оставив его заземленным на несколько минут.

Дать заключение о состоянии изоляции на основании испытаний.

Содержание отчета

1. Экспериментальные данные.

2. Эскизы изоляторов.

3. Технические характеристики применяемого оборудования и приборов.

4. Заключения о состоянии изоляции объектов испытаний.

**Контрольные вопросы**

2.1. Какие дефекты возможно выявить при испытаниях повышенным напряжением?

2.2. В каких случаях применяются испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты?

2.3. В каких случаях применяются испытания изоляции повышенным выпрямленным напряжением?

2.4. Какую функцию выполняет испытательный трансформатор в схеме испытания повышенным напряжением промышленной частоты?

2.5. Как обеспечивается безопасность работы на испытательной установке?

2.6. Для чего необходимо поднести стержень заземляющей штанги к высоковольтному выводу после окончания испытаний?

2.7. Когда объект считается выдержавшим испытания повышенным напряжением?

2.8. Обоснуйте, почему испытания повышенным напряжением, является разрушающим методом контроля состояния изоляции электрооборудования.

2.9. Какие достоинства и недостатки имеет метод испытания изоляции повышенным напряжением?

2.10. Какие виды работ необходимо выполнить перед диагностикой повышенным напряжением переменного тока?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ГИРЛЯНДЕ ИЗОЛЯТОРОВ

**Цель работы:** изучение распределения напряжения по изоляторам гирлянды с помощью электрической схемы замещения и по реальной гирлянде методом непосредственного измерения.

Задачи работы

1. Ознакомление с конструкциями штанг, имеющихся в лаборатории, техникой безопасности при работе с измерительными штангами.

2. Определение зависимости напряжения на изоляторах от их расположения в гирлянде с помощью расчетной модели.

3. Получение распределения напряжения по элементам гирлянды при наличии защитных колец и без них, а также при наличии «нулевых» изоляторов.

Общие теоретические сведения

Распределение напряжения по отдельным элементам гирлянды подвесных изоляторов – одна из важнейших характеристик линейной изоляции, особенно для линий сверхвысокого напряжения. Напряжение распределяется по гирлянде изоляторов неравномерно - на него влияет наличие емкостей изоляторов относительно заземленной конструкции и относительно провода. Совместное влияние этих емкостей сказывается обычно таким образом, что наибольшее напряжение ложится на изоляторы, расположенные около провода, а наименьшее - на изоляторы, находящиеся в средней части гирлянды. Появление в гирлянде пробитого («нулевого») изолятора существенно изменяет распределение напряжения в гирлянде. Согласно "Правилам технической эксплуатации", на линиях и подстанциях периодически производится проверка состояния изоляторов в колонках и гирляндах, - это дает возможность своевременно выявить дефектные изоляторы. Проверка производится с помощью штанг. Штанги могут быть использованы и для получения кривой распределения напряжения по элементам гирлянды.

На рис. 3.1а представлена гирлянда изоляторов, а на рис. 3.1б - схема замещения, которая используется для исследования распределения напряжения с помощью расчетной модели. Здесь *К* - собственные емкости изоляторов; *С*1 - емкости металлических элементов изоляторов относительно заземленных частей сооружения (опоры, заземленных тросов и т.д.); *С*2 - емкости этих же элементов относительно частей установки, находящихся под напряжением (провода, арматуры); *R* - сопротивления утечки изоляторов.

Гирлянды состоят из однотипных изоляторов и их собственные емкости лежат в пределах *К* = 30 … 70 пФ. При чистой и сухой поверхности изоляторов и отсутствии внутреннего дефекта *R* >> 1/(ω*К*), поэтому распределение напряжений зависит только от емкостей *К*, *С*1 и *С*2. Если бы емкости *С*1 и *С*2 отсутствовали, напряжение по изоляторам распределялось бы равномерно. В реальных условиях емкости *С*1 = 1 … 5 пФ и *С*2 = 0,5 … 1,0 пФ, т.е. не равны нулю, поэтому распределение напряжения вдоль гирлянды неравномерно.

Описание лабораторной установки

Высоковольтная часть установки собрана по схеме, представленной на рис. 3.2. В качестве источника напряжения используется трансформатор Тр. Регулирование напряжения осуществляется автотрансформатором АТ. Объект испытаний, гирлянда подвесных изоляторов, присоединяется к выводам ВН трансформатора. Измерение напряжения на изоляторах осуществляется с помощью измерительной штанги.



Рис. 3.1



Рис. 3.2.

Предварительная подготовка

1. Изучить теоретические вопросы о линейной изоляции и распределении напряжения вдоль гирлянды изоляторов.

2. Показать на графике, как влияет появление в гирлянде дефектного изолятора на напряжение в гирлянде, рассказать, как обнаруживается по графику дефектный изолятор.

3. Приготовить таблицы для записи результатов.

4. Ознакомиться с установкой для проведения исследований и изучить принцип ее работы.

5. Изучить инструкцию по технике безопасности.

Проведение исследований

Перед началом работы следует ознакомиться со схемой установки, расположением ее элементов и переключениями, необходимыми для выполнения всех пунктов задания.

Необходимо обратить внимание на расположение тех частей установки, которые в процессе работы будут находиться под высоким напряжением, и строго соблюдать правила безопасности при работе.

Проходить за ограждение для производства переключений в схеме можно лишь убедившись предварительно в том, что трансформатор ТР отключен выключателем BН, рукоятка регулировочного автотрансформатора стоит в нулевом положении и цепь блокировки разомкнута. Следует ознакомиться с конструкцией штанги. Произвести ее внешний осмотр и приступить к ее сборке штанги (необходимо убедиться отсутствии повреждений поверхности штанги в виде трещин, царапин). При сборке нужно обратить внимание на прочность скрепления частей штанги между собой и надежность крепления щупов.

1. С помощью модели рассчитать напряжение на элементах гирлянды при отсутствии и наличии «нулевых» изоляторов, а затем построить кривые

Δ*Ui* рас = *f*1(*i*),

где Δ*Ui* рас – расчетное падение напряжения на изоляторе выраженное в процентах от приложенного к гирлянде, %; i – номер изолятора, отсчитанный от высоковольтного провода.

2. Измерить напряжение на отдельных элементах гирлянды при наличии защитных колец и без них, а также при наличии и отсутствии «нулевых» изоляторов, выразить его в процентах от приложенного к гирлянде напряжения и построить зависимости

 Δ*Ui* изм = *f*2(i),

где Δ*Ui* изм – измеренное падение напряжения на изоляторе выраженное в процентах от приложенного к гирлянде, %.

Результаты измерений в процессе эксперимента следует занести в таблицу и построить графики.

3. По данным расчетов и измерений построить графики распределения напряжения на модели Δ*Ui* рас = *f*1(*i*) и распределение напряжения Δ*Ui* изм = *f*2(*i*) по элементам реальной гирлянды при наличии и отсутствии пробитого изолятора.

Содержание отчёта

1. Результаты предварительной подготовки.

2. Результаты исследований.

3. Анализ и выводы.

4. Технические характеристики приборов и оборудования.

# Контрольные вопросы

3.1. Что влияет на распределение напряжения по гирлянде изоляторов?

3.2. Какой изолятор в гирлянде испытывает наибольшее напряжение ?

3.3. В каких пределах находится собственная емкоть изоляторов?

3.4. Сформулируйте выражение для рассчета напряжения на элементах гирлянды при отсутствии и наличии «нулевых» изоляторов.

3.5. Как изменяется распределение напряжения в гирлянде изоляторов приналичии дефектного изолятора? Ответ поясните.

3.6. Как влияют на распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов емкости С1, и С2?

3.7. От чего зависит сопротивление утечки изоляторов?

3.8.К каким последствиям может привести неравномерное распределение напряжения по гирлянде изоляторов?

3.9. Укажите важнейшую характеристику линейной изоляции, особенно для линий сверхвысокого напряжения.

3.10. Какие меры применяют для выравнивания напряжения вдоль гирлянды?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

ОСНОВЫ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Цель работы:** Изучение основ тепловизионной диагностики и практическое освоение методики тепловизионного обследования электрооборудования.

**Задачи работы**

1. Освоение физических основ тепловизионной диагностики.

2. Ознакомление с принципом действия и конструктивными особенностями современных тепловизиров. Технические характеристики тепловизора EASIR-0.

3. Проведение тепловизионного диагностирования отдельных объектов.

**Краткие теоретические сведения**

Тепловизионная диагностика является одним из основных направлений развития высокоэффективной системы контроля состояния электрообо-рудования и электроустановок без вывода их из работы, выявления дефектов на ранней стадии их развития, сокращения затрат на техническое обслуживание за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ. Работы по диагностике должны выполняться в соответствии с требованиями и рекомендациями, изложенными в нормативных документах [13].

## **Тепловое излучение объектов**

Известно,что свечение тел осуществляется через люминесценцию и нагревание. Самым распространенным является свечение тел, обусловленное их нагреванием. Этот вид свечения называется тепловым (или температурным) излучением. Он обусловлен возбуждением атомов и молекул тепловым движением. Тепловое излучение имеет место при любой температуре, однако при невысоких температурах, характерных для объектов Земного происхождения, излучаются практически лишь длинные (инфракрасные) электромагнитные волны. Поэтому тепловизионные приборы часто называют еще и инфракрасными.

Тепловое излучение тел подчиняется закону Планка [14,15]. Энергия этого излучения в общем случае зависит от температуры, степени «черноты» (коэффициента излучения) тел и длины волны излучения. Однако для большинства твердых тел с шероховатой и окисленной поверхностью с достаточной для практики точностью можно считать коэффициент излучения независящим от длины волны и использовать закон Стефана-Больцмана для интегральной плотности излучения «серых» тел:

$R=ε\_{T}σT^{4}$,

где *R* – плотность излучения, Вт/м2;

*εT –* коэффициент излучения;

*Т* – температура тела;

*σ* – 5,67×10-8 Вт/(м2×К4).

Величина коэффициента излучения *εT* зависит от материала, температуры, состояния излучающей поверхности и степени ее окисления. Значения *εT* для некоторых широко встречающихся материалов приведены в таблице 1 [14]. Несмотря на разброс значений *εT* материалов, из которых изготовлено электрооборудование, на практике, при обследовании подстанции, в большинстве случаев бывает достаточно установить значение этого коэффициента равным 0,9.

Таблица 4.1

Коэффициенты излучения материалов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид материала | Состояние поверхности | Температура, °С | Коэффициент излучения |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| алюминий | окисленный | 50–500 | 0,2–0,3 |
| бронза | необработанная | 50–100 | 0,55 |
| железо | ржавое | 20 | 0,61–0,85 |
|  | окисленное | 100 | 0,74 |
| латунь | окисленная | 200–600 | 0,6 |
| медь | на токосъемниках, блестящая | 20–100 | 0,3 |
|  | на токосъемниках, матовая или оксидированная | 20–100 | 0,5 |
| сталь | заржавленная | 20 | 0,69 |
| асбест | плиты шероховатые, серые | – | 0,96 |
| асфальт | дорожное покрытие, укатанное | – | 0,9 |
| бетон | плиты гладкие | – | 0,63 |
| битум | кровельный, плоский | – | 0,96 |
| бумага | белая | 20 | 0,7–0,9 |
| вода | гладкий лед | -10 | 0,95 |
|  | снег | -10 | 0,85 |
| дерево | брус | 20 | 0,8–0,9 |
|  | доска | 20 | 0,96 |
| кожа | человеческая | 32 | 0,98 |
| каучук | твердый | 20 | 0,95 |
| кирпич | красный | 20 | 0,93 |
|  | силикатный | 20 | 0,66 |
| краски | матовая черная | 100 | 0,98 |
| стекло | – | 20–100 | 0,91–0,94 |
| графит | обработанный напильником | 20 | 0,98 |
| почва | влажная | 20 | 0,95 |
|  | сухая | 20 | 0,9 |
| фарфор | глазурованный | 20 | 0,75–0,93 |
|  | неглазурованный | 20 | 0,9 |

## **Тепловизоры**

Современные тепловизионные приборы строятся на использовании многоэлементных приемников излучения - матриц, число элементов которых позволяет сформировать телевизионный кадр с достаточным пространственным разрешением. По своему устройству они подобны обычным видеокамерам, но с некоторыми особенностями.

На рис. 4.1 приведена блок-схема типовой тепловизионной камеры с электронной обработкой сигналов. Объектив 1 формирует на фоточувствительной матрице 4 изображение объекта, излучение которого проходит через спектральный фильтр 3. Фототок каждого чувствительного элемента детекторной матрицы 4 усиливается предусилителем 5 и накапливается в течение кадра в интеграторе (емкости) 6, выполняющем роль низкочастотного фильтра, а затем поступает на мультиплексор 7. Эти элементы матрицы изготавливают в интегральном исполнении в одном блоке. Далее следует компьютерная обработка сигналов, которые сначала направляются в аналоговую схему обработки 8, где происходит предварительная коррекция неоднородности чувствительности, фонового и темнового токов ячеек матрицы. Затем аналоговые сигналы преобразуются в цифровые 9 и поступают в цифровую схему корректировки 10. После этого вычитают неработающие ячейки 11, заменяют сигнал на месте неработающей ячейки интерполированным между прилегающими ячейками, и направляют в блок формирования изображения 12. На выходе информация выводится на дисплей 13, а также выдается в цифровом виде 14.



Рис. 4.1. Блок-схема типовой тепловизионной камеры с матричным фотоприемником: 1 – объектив, 2 – почерненный затвор, 3 – фильтр,
4 – детекторная матрица, 5 – предусилители, 6 – интеграторы,
7 – мультиплексор, 8 – аналоговый корректор неоднородности сигналов ячеек, 9 – АЦП, 10 – цифровой корректор неоднородности, 11 – корректор неработающих ячеек, 12 – формирователь изображения, 13 – дисплей,
14 – цифровой выход, 15 – тактовый генератор

Коррекция измерений тепловизора по излучению оптики, внутреннего корпуса и температурного дрейфа осуществляется с помощью термодатчиков и затвора 2 с контролируемой температурой, вводимого перед фильтром. В радиометрическом тепловизоре должна быть также предусмотрена коррекция сигнала в зависимости от дальности наведения на объект съемки.

В настоящее время для измерений в области спектра 8–12 мкм создаются тепловизионные камеры на неохлаждаемых микроболо-метрических матрицах, в которых применяется стабилизация температуры матрицы с целью повышения точности измерений.

Конструктивные и технологические особенности создания неохлаждаемых матриц в основном обусловлены задачей минимизации тепловой связи чувствительного элемента с базой. С этой целью в микроболометрических матрицах чувствительный элемент поддерживается двумя ножками в виде тонкопленочных полосок.

Хорошая теплоизоляция отдельного болометрического элемента от базы практически устраняет тепловую связь между соседними элементами матрицы и таким образом почти полностью исключает их взаимное влияние.

Для стабилизации температуры используют термоэлектрические охладители с авторегулированием. Термометром в системе регулирования может служить один из микроболометров, закрытый от измеряемого инфракрасного излучения. Термометр тем же путем, что и болометр, периодически опрашивается считывающей электроникой, и данные по температуре поступают в микропроцессор, который управляет токами питания охладителя. Микроболометрическую матрицу с элементами коммутации, термометром и термоэлектрическим охладителем размещают в вакуумируемом корпусе, имеющем окно, пропускающее инфракрасное излучение.

Типичным примером тепловизора на микроболометрической матрице является тепловизор EASIR-0 (рис. 4.2), технические характеристики которого приведены в таблице 4.2.



Рис. 4.2. Тепловизор EASIR-0

Таблица 4.2

**Технические характеристики EASIR-0**

|  |  |
| --- | --- |
| Детектор | Неохлаждаемая микроболометрическая матрица 160х120 элементов, 25 мкм |
| 1 | 2 |
| Спектральный диапазон | 8-14 мкм |
| Поле зрения | 20,6°х15,5°(Дополнительно 32°x24°, 7.6°x5.7°) |
| Чувствительность | Лучше 0,1°С. |
| Дисплей | ЖК дисплей высокого разрешения 3,6 дюйма |
| Температурныйдиапазон | От -20 °С до +250 °С |
| Точность измерений | ±2 °С или ±2 % от показания |
| 1 | 2 |
| Функции измерения | По точкам |
| Запись термограмм | Файл формата JPEG. Запись на сменные карты памяти SD 2Гб |
| Источник питания | * АА аккумуляторные батареи. Возможность работы от стандартных батареек;
* внешний источник питания от сети переменного тока.
 |
| Время работы | Более 2 часов от одного комплекта |
| Корпус | Ударопрочный пластик, выдерживающий падение с 2 метров |
| Защита от внешних воздействий | Стандарт IP54 (влаго - и пылезащищенное исполнение). |
| Рабочая температура | -20 °С до +60 °С |
| Размеры | 111х124х240мм |
| Вес | 730 грамм с учетом аккумулятора. |

## **Факторы, влияющие на достоверность тепловизионной диагностики**

При проведении тепловизионной диагностики должны учитываться следующие внешние факторы:

– прямое солнечное излучение;

– скорость ветра;

– дождь и снег;

– значение токовой нагрузки;

– тепловая инерция;

– тепловое отражение;

– нагрев индукционными токами.

**Прямое солнечное излучение** неравномерно нагревает контролируемый объект, а также при наличии участков (узлов) с хорошей отражательной способностью создает впечатление о наличии высоких температур в местах измерения. Поэтому рекомендуется осуществлять контроль в ночное время суток или в облачную погоду. При острой необходимости измерение в электроустановках при солнечной погоде рекомендуется производить для каждого объекта поочередно из нескольких диаметрально противоположных точек.

**Ветер** охлаждает контролируемый объект. Так, превышение температуры, измеренное при скорости ветра 5 м/с, будет примерно в два раза ниже, нежели измеренное при скорости ветра 1 м/с. В диапазоне скоростей 1–7 м/с справедлива формула [2]

,

где Δ*Т*1 – превышение температуры при скорости ветра *V*1; Δ*Т*2 – то же при скорости ветра *V*2. Измерения при скорости ветра выше 8 м/с рекомендуется не проводить.

**Дождь, туман, мокрый снег** охлаждают поверхность обследуемого объекта и снижают тепловые контрасты. ИК-контроль допускается проводить при небольшом снегопаде с сухим снегом или легком моросящем дожде.

При диагностике контактных соединений необходимо учитывать относительное значение протекающего в узле тока (**тока нагрузки**). Температура контактного соединения зависит от нагрузки и прямо пропорциональна квадрату тока, проходящего через контролируемый участок:

,

где Δ*T*1 – превышение температуры при токе *I*1; Δ*T*2 – то же при токе *I*2.

При изменении токовой нагрузки необходимо учитывать **тепловую инерцию** контролируемого объекта. Тепловая постоянная времени для контактных соединений составляет порядка 20–30 мин. Тепловая постоянная для вентильных разрядников составляет порядка 6–8 ч. Поэтому измерения тепловизором необходимо проводить при установившихся токах нагрузки.

При контроле токоведущих частей, расположенных в небольших замкнутых объемах (например, в КРУ или КРУН), возможно получение ошибочных результатов из-за **теплового отражения** от нагревательных элементов, ламп освещения, соседних элементов и др. Данное явление проявляется при контроле токоведущей части с малым коэффициентом излучения, обладающей хорошей отражательной способностью. В результате тепловизионная съемка может показать горячую точку (пятно), хотя в действительности это просто тепловое отражение. Рекомендуется в подобных случаях производить съемку объекта под различными углами зрения.

В токоведущих частях электроустановок, обтекаемых значительными токами (например, шины генераторного напряжения), наблюдаются нагревы, обусловленные **индукционными токами**, циркулирующими в магнитных материалах. В качестве последних в токоведущих шинах могут быть пластины шинодержателей, крепежные болты, близко расположенные металлоконструкции и т.п. Нагревы от индукционных токов, если они расположены вблизи контактных соединений, могут создавать ложное впечатление о перегреве последних.

**Рабочее задание**

1. Изучить физические основы тепловизионной диагностики.
2. Ознакомиться с техническими характеристиками тепловизора.
3. Овладеть практическими навыками работы с тепловизором.
4. Замерить темперутуру объекта.

Предварительная подготовка

1. Изучить следующие теоретические вопросы:

а) физические основы тепловизионной диагностики;

б) технические характеристики современных тепловизоров;

2. Нарисовать эскиз объекта измерений, с указанием точеск контроля температуры.

3. Подготовить таблицы для записи результатов измерений.

Проведение исследований

1. Измерить температуру объекта при различных условиях окружающей среды (при солнечном освещении, вблизи дополнительных источников теплоты, при отсутствии сторонних помех).

2. Проанализировать полученные результаты и дать заключение о качестве измерения температуры в эксплуатации.

Содержание отчета

1. Предварительная подготовка.

2. Технические характеристики используемого оборудования.

3. Результаты измерений, обработка результатов.

4. Выводы о состоянии испытанных объектов.

**Контрольные вопросы**

4.1. Что лежит в основе теплового излучения?

4.2. Чем определяется величина коэффициента излучения?

4.3. Как в тепловизорах формируется телевизионный кадр с достаточным пространственным разрешением?

4.4. В каком элементе тепловизора формируется изображение объекта?

4.5. Каким образом происходит коррекция измерений тепловизора по излучению оптики, внутреннего корпуса и температурного дрейфа?

4.6. Для чего используют термоэлектрические охладители с авторегулированием?

4.7. Какой температурный диапазон имеет тепловизор EASIR-0?

4.8. Какова точность измерения температуры тепловизором EASIR-0?

4.9. Перечислите факторы, влияющие на достоверность тепловизионной диагностики. Какой из факторов имеет наибольшее влияние на точность измерения тепловизором?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5**

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ 110/10кВ

**Цель работы:** Изучение основ тепловизионной диагностики и практическое освоение методики тепловизионного обследования электрооборудования.

**Задачи работы**

1. Ознакомление с основным электрооборудованием подстанции учебного полигона 110/10кВ.

2. Изучение методики снятия термограмм и их обработки.

3. Тепловизионное обследование оборудования подстанции 110/10кВ.

**Описание электрооборудования и схема подстанции**

«Подстанция 110/10 кВ» КГЭУ оснащена типовым оборудованием. Схема подстанции полигона приведена на рис. 5.1. На оборудовании подстанции отсутствует напряжение.

Электрическая энергия на подстанцию должна подаваться воздушными линиями 110кВ, выполненными сталеалюминиевыми проводами сечением 120мм2.

Конденсатор связи КС – 110/√3/6,4 и служит для обеспечения высокочастотной связи в линиях электропередач переменного тока.

Высокочастотный загродитель ВЗ-630-0,5 предназначен для фильтрации сигналов высокой частоты и защиты линий электропередач от высокочастотных сигналов.

В качестве внешней изоляции на этих аппаратах используется электротехнический фарфор.

Разъединитель РГНП.2-110/1000 – разъединитель горизонтально-поворотного типа с двумя заземляющими ножами напряжением 110кВ и номинальным током 1000А. Разъединитель предназначен для создания видимого разрыва в установках высокого напряжения. Имеет фарфоровую внешнюю изоляцию.

ТОГФ 110 III УХЛ - трансформатор тока опорный газонаполненный с фарфоровой покрышкой напряжением 110кВ имеет третью степень загрязнения по условиям работы изолятора и предназначен для работы в умеренно-холодном климате.

В данных трансформаторах тока применяется в качестве внешней изоляции – фарфор, а внутренней изоляции – элегаз.

Выключатель ВГТ – 110 40/2500У1 – элегазовый колонковый выключатель 110кВ с номинальным током 2500А и током отключения 40кА. в качестве внешней изоляции применяется фарфор.

Разъединитель горизонтально-поворотного типа с одним заземляющим ножом РГНП.1-110/1000.

Для защиты изоляции электрооборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений со стороны 110кВ установлен ограничитель перенанпряжений нелинейный с полимерной изоляцией марки ОПН-П1-110. Он устанавливаются также для защиты разземленной нейтрали трансформатора и высоковольтных аппаратов на напряжении 110 кВ от грозовых и коммутационных перенапряжений.

Со стороны 10кВ установлены ОПН-РТ/TEL-10. Он предназначен для защиты наиболее ответственного электрооборудования в сетях от 3 до 10 кВ, работающего с изолированной или компенсированной нейтралью. ОПН-РТ/TEL рекомендуется применять в условиях частых и интенсивных воздействий перенапряжений для защиты трансформаторов, изоляции кабельных сетей, электрических генераторов, двигателей и другого ответственного оборудования

На подстанции от распределительного устройства до трансформатора используется высоковольтный кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки (А)ПвПг 110 кВ с алюминиевыми жилами.

Силовой трехобмоточный трансформатор с масляным охлаждением с естественной циркуляцией масла и воздуха марки ТМТН мощностью 6300кВа напряжением 110/35/10кВ. Обмотка среднего напряжения не подключена.

У силового транмформатора используется фарфоровая изоляция вводов и в качестве главной изоляции внутри бака трансформатора применяется трансформаторное масло.

К обмотке низшего напряжения силового трансформатора подключается комплектное распределительное устройство низкого напряжения с вакуумными выключателями марки Sion. Вводной выключатель на 1000А, а отходящий на 800А. Ток отключения составляет 20кА.

На этих выключателях применяется полимерная изоляция.

****

Рис.5.1. Схема подстанции

Для подключения измерительных приборов и устройств защиты в КРУ установлен трансформатор тока с литой изоляцией марки ТОЛ-СЩЭ и трансформатор напряжения ЗНОЛП -10. Трансформатор выполнен в виде опорной конструкции. Корпус трансформатора изготавливается из эпоксидного компаунда, который одновременно является главной изоляцией и обеспечивает защиту обмоток от механических и климатических воздействий.

Для защиты кабельной линии от замыкания на землю установлен трансформатор тока ТЗРЛ -125. Эти трансформаторы устанавливаются непосредственно на ввода кабельных линий.

**Оборудование и приборы для проведения исследования**

1. Тепловизор.

2. Компьютерная программа для обработки термограмм.

3. Персональный компьютер.

**Задание на предварительную подготовку**

1. Изучить принципиальную схему подстанции 110/10 кВ учебного полигона (рис. 5.1).

2.Ознакомиться с порядком работы с тепловизором.

**Рабочее задание**

Порядок выполнения каждым студентом работы, следующий:

1. Изучение настоящего методического руководства.

2. Овладение навыками работы с тепловизором.

3. Проведение тепловизионного обследования оборудования подстанции.

1. Компьютерная обработка полученных в ходе обследования термограмм.
2. Постановка диагноза.
3. Составление отчета по результатам тепловизионного обследования подстанции.

**Методика оценки состояния оборудования подстанции**

**по результатам тепловизионного диагностирования**

Основой методики оценки состояния оборудования по результатам тепловизионной диагностики является нормативный документ «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [13].

В методику включены следующие объекты:

1. Электродвигатели переменного и постоянного тока.

2. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, масляные реакторы.

3. Маслонаполненные трансформаторы тока.

4. Электромагнитные трансформаторы напряжения.

5. Выключатели.

6. Разъединители и отделители.

7. Закрытые и комплектные распределительные устройства и экранированные токопроводы.

8. Сборные и соединительные шины.

9. Токоограничивающие сухие реакторы.

10. Конденсаторы.

11. Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений.

12. Маслонаполненные вводы.

13. Предохранители.

14. Высокочастотные заградители.

15. Аппараты, вторичные цепи и электропроводка на напряжение до 1000 В.

16. Воздушные линии электропередач.

В таблице П1 приведен порядок обследования и оценки состояния электрооборудования.

**Указания по технике безопасности**

1. Вход студентов на подстанцию учебного полигона осуществляется по разрешению и в сопровождении преподавателя.
2. Перемещения по подстанции осуществляются только по разрешению преподавателя.
3. Запрещается прикасаться к элементам конструкции электрооборудования подстанции.
4. Не допускается приближаться к токоведущим частям на расстояние менее 3,5 м.
5. Не допускается проникать за ограждения и барьеры электроустановок.

**Требования к оформлению отчета**

При оформлении отчета по результатам тепловизионного обследования можно использовать шаблоны программы обработки термограмм, прилагаемой к тепловизору.

Отчет должен содержать:

1. Наименование объекта. Время и условия съемки.
2. Термограмму.
3. Дополнительные графики и расчеты, полученные с помощью программы (гистограммы, профили, значения средней температуры по объекту и т.д.), необходимые для доказательства выносимого диагноза.
4. Диагноз по состоянию обследованного объекта подстанции с использованием таблицы П1.

**Контрольные вопросы**

5.1. Перечислите основное электрооборудование подстанции.

5.2. Укажите основые параметры силового трансформатора, выключателей и трансформаторов тока.

5.3. Как осуществляется видимый разрыв на стороне 110кВ и на стороне 10кВ силового трансформатора.

5.5. Как подключаются измерительные приборы на подстанции к со стороны 110кВ и 10кВ?

5.6. Какие виды изоляции используются на подставнции?

5.7.Перечислите методы иценки состояния изоляции электрооборудования подстанции.

5.8. Как определяется электрическая прочность изоляции электрооборудования подстанции? Что общего в этих методах, в чем различие?

5.9. Какие требования предъявляются к измерениям для оценки состояния силовых трансформаторов при тепловизионном обследовании?

5.10. На каких элементах снимается температура при тепловизионном контроле у выключателей?

**Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ Р МЭК 60156-2013 Жидкости изоляционные. Определение напряжения пробоя на промышленной частоте.

2. ГОСТ Р МЭК 60247-2013 Жидкости изоляционные. Определение относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь (tg delta) и удельного сопротивления при постоянном токе.

3. ГОСТ 1516.1-76 Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

4. ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

5. СТО 31.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования

6. ГОСТ Р8.563-2009 "Методики (методы) измерений".

7. РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» Издание шестое (с изменениями и дополнениями)1998г.

8. СТО 34.01-23.1-001-2017 - **«**Объем и нормы испытаний электрооборудования**»** ПАО «Россети» от 29.05.2017.

9. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. СПО ОРГРЭС, 2003г.

10. Электрооборудование электрических станций и подстанций/ Л.Д.Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В Чиркова. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2005.

11. Сви. П.М. Методы и средства диагностики электрооборудования высокого напряжения.-М.: Энергоатомиздат, 1992.

12. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок. Йошкар-Ола, Мар ГУ, 2000.

13. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общей редакцией Б. А. Алексеева, Ф. Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. — 6-е изд. — М.: НЦ ЭНАС, 1998. — 256 с.

14. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. РД 153-34.0-20.363-99.

15. Сидоренко М. Г. Тепловизионная диагностика как современное

средство мониторинга [Электронный ресурс]. URL: http://www.centert.ru/

articles/22/ (дата обращения: 20.10.2019).

|  |
| --- |
| Таблица П1 для оценки состояния электрооборудования при тепловизионном контроле |
| п/п | Объект | Узел | Процедура | Требования | Диагноз |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Электродвигатели переменного и постоянного тока |  | Снимаются термограммы поверхности корпуса электродвигателя и подшипников  | Отсутствие локальных нагревов на корпусе и температура нагрева подшипников не должна превышать 800С. | «Дефект» при или наличии локальных нагревов на корпусе и температуре подшипников 80 0С |
| 2 | Силовые трансформа-торы, автотрансфор-маторы, масляные реакторы |  | Снимаются термограммы поверхностей бака трансформатора в местах расположения отводов обмоток, по высоте бака, периметру трансформатора, верхней его части, в местах болтового крепления колокола бака, системы охлаждения и их элементов и т.п. | Сравниваются между собой нагревы крайних фаз, нагревы однотипных трансформаторов, динамика изменения нагревов во времени и в зависимости от нагрузки, определяются локальные нагревы, сопоставляются места нагрева с расположением элементов магнитопровода, обмоток, определяется эффективность систем охлаждения | Нет индикации в реальном времени. Оценка состояния по анализу термограмм и сопоставления с другими видами диагностики.  |
| 3 | Электромагнитные трансформаторы напряжения |  | Снимаются термограммы поверхности фарфоровых покрышек на всех трех фазах | Значения температуры, измеренные в одинаковых зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более чем на 0,3 °С | «Дефект» при отличии в нагреве зон (избыточной температуре) на 0,4 °С |
| 4 | Вентильные разрядники и ограничители перенапряже-ний | Элементы разрядника | Снимаются термограммы всех элементов разрядника на всех фазах | Верхние элементы в месте расположения шунтирующих резисторов нагреты одинаково во всех фазах и распределение температуры по элементам фаза разрядника не должно превышать 0,5-50С в зависимости от числа элементов | «Дефект» при наличии отличия температур верхних элементов в месте расположения шунт. резистров различных фаз и разности темп. между соседними элементами более 0,5-5°С в зависимости от количества элементов в разнике |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 6 |
|  |  | Элементы ограничителей перенапряжений | Снимаются термограммы все элементов ограничителей на всех фазах и фиксируются значения температуры по высоте и периметру покрышки элемента, а также зоны с локальными нагревами | Оценка состояния элементов ограничителей осуществляется путем пофазного сравнения измеренных температур | «Опасно» при наличии отличий в температуре в одинаковых зонах различных фаз |
| 5 | Выключатели | Внешние соединения токоведущих шин, проводов с выводами  | Снимаются термограммы болтовых КС соответствующего узла | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| Дугогастельные камеры, отделители, внутренние КС | Снимаются термограммы поверхности фарфоровых покрышек, корпусов в зоне размещения дугогасит. камеры и токосъемных контактов | Не должны иметь место локальные нагревы в точках контроля | «Дефект» при наличии локальных нагревов |
| 6 | Разъединители и отделители | Контактные соединения (КС) | Снимаются термограммы КС | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| Контакты | Снимаются термограммы контактов | Температура нагрева / перегрева контактов не должна превышать 75/35 0С | «Дефект» при перегреве контактов на 35 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| Выводы разъединителей и отделителей | Снимаются термограммы выводов | Температура нагрева / перегрева выводов не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве выводов на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 6 |
| 7 | Маслонаполненные трансформаторы тока | Внутренняя изоляция обмоток | Снимаются термограммы фарфоровых покрышек трансформаторов тока (ТТ) на всех трех фазах | Не должно быть локальных нагревов, а значения температуры, измеренные в аналогичных зонах покрышек трех фаз, не должны отличаться между собой более чем на 0,3 0С. | «Дефект» при наличии локальных нагревов и при отличии в нагреве зон (избыточной температуре) на 0,4 0С |
| Внутренние и внешние переключающие устройства | Снимаются термограммы расширителей на всех трех фазах и контактных соединений (КС) внешнего переключающего устройства  | Сравнения температур на поверхности расширителей трех фаз, предельное превышение температуры (перегрев) на поверхности расширителя при номинальном токе не должно превышать 60 0С, температура нагрева / перегрева КС внешнего перекл. устройства не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве поверхности расширителя 60 0С и перегрева внешних контактных соединений 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| Аппаратные выводы трансформаторов тока | Снимаются термограммы контактных соединений вводов | Температура нагрева / перегрева контактных соединений не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве контактов на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| 8 | Закрытые и комплектные распределительные устройства и экранированные токопроводы | Контакты и контактные соединения аппаратов и токоведущих частей | Снимаются термограммы контактов и КС и контактов | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С. Температура нагрева / перегрева контактов не должна превышать 75/35 0С | «Дефект» при перегреве контактных соединений на 50 0С. «Дефект» при перегреве контактов на 35 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. прим.) |
| Короткозамкнутый контур в экранированных токопроводах | Снимаются термограммы кожухов (экранов) токопроводов | Предельное значение температуры нагрева металлических частей токопроводов не должно превышать 60 0С | «Дефект» при температуре нагрева 60 0С |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 6 |
| 9 | Токоограничивающие сухие реакторы | Контактные соединения | Снимаются термограммы КС | Перегрев КС не должен быть более 65°С | «Дефект» при перегреве КС на 65 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| 10 | Сборные и соединительные шины | Болтовые контактные соединения | Снимаются термограммы КС | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С. | «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| Сварные контактные соединения | Снимаются термограммы контактных соединений | Оценка состояния по избыточной температуре или коэффициенту дефектности | «Дефект», «Контроль», «Опасно» по избыточной температуре (см. примечания) |
| Изоляторы шинных мостов | Снимаются термограммы изоляторов | По высоте изолятора не должно быть локальных нагревов | «Дефект» при наличии локальных нагревов |
| 11 | Конденсаторы | Контактные соединения | Снимаются термограммы КС | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания)  |
| Элементы батарей силовых конденсаторов | Снимаются термограммы корпусов | Измеренные значения температуры корпусов элементов одинаковой мощности не должны отличаться между собой более чем в 1,2 раза | «Дефект» при значении отношения температур 1,2 раза |
| Элементы конденсаторов связи и делительных конденсаторов | Снимаются термограммы корпусов | Не должно быть локальных нагревов | «Дефект» при наличии локальных нагревов |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 6 |
| 12 | Маслонаполненные вводы | Оценка внутреннего состояния ввода | Снимаются термограммы покрышек вводов по высоте и корпусов расширителей на всех трех фазах  | Нагрев поверхности корпуса расширителя ввода не должен отличаться от такового у вводов других фаз и не должно быть резкого изменения температуры или локальных нагревов по высоте покрышки по сравнению с вводами других фаз | «Дефект» при наличии отличий в температуре у различных фаз и локальных нагревов вдоль покрышки |
| Выводы вводов | Снимаются термограммы выводов | Температура нагрева / перегрева выводов не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве контактных соединений на 50 0С. |
| 13 | Предохранители | Контактные соединения | Снимаются термограммы контактов | Температура нагрева / перегрева контактов не должна превышать 75/35 0С | «Дефект» при перегреве контактов на 35 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| Определение состояния плавкой вставки | Снимаются термограммы изоляционной трубки | Не должно наблюдаться локальных нагревов в средней части изоляционной трубки предохранителя | «Дефект» при наличии локальных нагревов  |
| 14 | Высокочастотные заградители | Контактные соединения | Снимаются термограммы КС | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| 15 | Аппараты, вторичные цепи и электропроводка на напряжение до 1000 В | Контакты и контактные соединения | Снимаются термограммы контактных соединений и контактов | Температура нагрева / перегрева контактов не должна превышать 75/35 0С. Температура нагрева / перегрева контактных соединений не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве контактов на 35 0С. «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания) |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 5 | 6 |
|  |  | Оценка теплового состояния силовых кабелей 0,4 кВ | Снимаются термограммы кабелей в местах их соединения с аппаратами | Температура нагрева жилы кабеля не должна превышать 70 0С | «Дефект» при нагреве жилы на 70 0С |
| 16 | Воздушные линии электропередач | Болтовые контактные соединения проводов ВЛ | Снимаются термограммы КС | Температура нагрева / перегрева КС не должна превышать 90/50 0С | «Дефект» при перегреве КС на 50 0С. «Контроль», «Опасно» при меньших температурах (см. примечания)  |
| Сварные контактные соединения проводов ВЛ и контактные соединения, выполненные обжатием | Снимаются термограммы контактных соединений | Коэффициент дефектности у соединений проводов не должен превышать значений, приведенных в примечании 3 к настоящей таблице | «Дефект», «Контроль», «Опасно» (см. примечания)  |
| Грозозащитные тросы | Снимаются термограммы в местах изоляции троса от опоры | Отсутствие нагрева в местах изоляции троса от опоры | «Дефект» при наличии нагрева |
| Изоляторы | Снимаются термограммы изоляторов | Отсутствие нагрева отдельных изоляторов  | «Дефект» при наличии нагрева отдельных изоляторов |

Примечания к таблице 1

**Примечание 1.** Термины в таблице П1

**Превышение температуры (перегрев)** – 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.

**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.

**Примечание 2.** Определение значений температур в таблице 1 соответствующие состояниям «Контроль», «Опасно», «Дефект» осуществляется путем пересчета на известный номинальный ток Iном при известном текущем значении Iраб в соответствии со следующими нормами:

1. Для контактов и болтовых контактных соединений при токах нагрузки (0,6–1,0) *I*ном пересчет превышения измеренного значения температуры к нормированному (номинальному) осуществляется исходя из соотношения:

,

где Δ*Т*ном – превышение температуры при *I*ном; Δ*Т*раб – то же, при *I*раб.

2. Для контактов и болтовых контактных соединений при токах нагрузки (0,3–0,6) *I*ном оценка их состояния проводится по избыточной температуре. В качестве норматива используется значение температуры, пересчитанное на 0,5*I*ном.

Для пересчета используется соотношение:

,

где Δ*Т*0,5 – избыточная температура при токе нагрузки 0,5*I*ном.

При оценке состояния контактов и болтовых КС по избыточной температуре и токе нагрузки 0,5*I*ном различают следующие области по степени неисправности.

*Избыточная температура 5–10 °С (****«Контроль»****)*

Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время проведения ремонта, запланированного по графику.

*Избыточная температура 10–30 °С (****«Опасно»****)*

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

*Избыточная температура более 30 °С (****«Дефект»****)*

Аварийный дефект. Требует немедленного устранения.

**Примечание 3.** Оценку состояния сварных и выполненных обжатием КС рекомендуется производить по избыточной температуре или коэффициенту дефектности.

При оценке теплового состояния токоведущих частей различают следующие степени неисправности исходя из приведенных значений коэффициента дефектности:

|  |  |
| --- | --- |
| Не более 1,2  | Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем *(****«Контроль»****)* |
| 1,2-1,5  | Развившийся дефект. Принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы *(****«Опасно»****)* |
| Более 1,5  | Аварийный дефект. Требует немедленного устранения (***«Дефект»****)* |

**Примечание 4.** Определение температуры узла или зоны осуществляется путем усреднения значений температуры по некоторой окрестности, охватывающей большую часть обследуемого узла или зоны. Наличие локальных нагревов на узле или объекте определяется путем вычисления дисперсии (среднеквадратического отклонения) значений температуры по области, охватывающей большую часть обследуемого узла или объекта. Сравнение температур однотипных объектов или узлов на различных фазах осуществляется по сохраненным данным при последовательной съемке каждого объекта или узла.

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc86667411)

[ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 4](#_Toc86667412)

[ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАСФОРМАТОРНОГО МАСЛА 4](#_Toc86667413)

[ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 11](#_Toc86667414)

[ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 11](#_Toc86667415)

[ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 16](#_Toc86667416)

[РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ГИРЛЯНДЕ ИЗОЛЯТОРОВ 16](#_Toc86667417)

[ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 20](#_Toc86667419)

[ОСНОВЫ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ 20](#_Toc86667420)

[ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 29](#_Toc86667424)

[ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ 110/10кВ 29](#_Toc86667425)

*Учебное издание*

**Методы диагностики изоляции высоковольтного электрооборудования:**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

2-е издание, переработанное

|  |  |
| --- | --- |
| Составители: | Зарипов Дамир КамилевичБулатова Венера Михайловна |

Кафедра Электрическе станции им. В. К. Шибанова

 КГЭУ

Авторская редакция

Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать

Формат 60×84/16. Бумага «Business». Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.

Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 2,06. Тираж экз. Заказ

Издательство КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51

Типография КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51