

ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «МОСКОВСКАЯ
ОБЛАСТНАЯ ЭНЕРГОСЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ»

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Текстовый документ выпускной квалификационной работы

Выполнил слушатель программы
профессиональной переподготовки «Школа
главного инженера»

Максимов А.С.

Руководитель работы

Марышев А.Б.

Виза: _____
(доработать, к защите и т.д.)

Голицыно – 2019 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 35 страниц текстового документа формата А4, включающего 2 таблицы, 11 использованных источников.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНИЧЕСКАЯ
ДИАГНОСТИКА.

Объект исследования – электрооборудование в АО «Мособлэнерго».

Целью работы явилось обоснование внедрения неразрушающих методов контроля и более щадящей, предупредительной эксплуатации электрооборудования в АО «Мособлэнерго» а именно.

В процессе работы на основе анализа технической литературы и нормативно правовых актов исследованы дефекты электрооборудования. Выявлены основные понятия и положения технической диагностики. На основе анализа технической литературы и нормативно правовых актов проводилось исследование различных методов контроля и проведена оценка экономической эффективности диагностики электрооборудования.

Результаты исследования будут предложены автором для внедрения в АО «Мособлэнерго» с целью экономии материальных средств, расходуемых на ремонт электрооборудования из-за аварий и её устранения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Концепция и результаты диагностики	7
1.1. Основные понятия и положения технической диагностики	7
1.2. Дефекты электрооборудования	15
2. Методы контроля: основные термины и назначение	20
2.1. Тепловые методы контроля	20
2.2. Электрические методы неразрушающего контроля	28
3. Экономическая эффективность диагностики электрооборудования	35
3.1. Оценка экономической эффективности диагностики электрооборудования	35
Заключение	37
Список использованных источников	39

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования: на сегодняшний день экономическое состояние энергетики России вынуждает принимать меры по увеличению сроков эксплуатации различного электротехнического оборудования.

В России в настоящее время общая протяженность электрических сетей напряжением 0,4–110 кВ превышает 3 млн км, а трансформаторная мощность подстанций (ПС) и трансформаторных пунктов (ТП) – 520 млн кВА. Стоимость основных фондов сетей составляет около 200 млрд руб., а степень их износа – около 40 %. За 90-е годы резко сократились объемы строительства, технического перевооружения и реконструкции ПС, и только последние несколько лет вновь наметилась некоторая активность в этих направлениях.

Решение задачи по оценке технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей в значительной мере связано внедрением эффективных методов инструментального контроля и технической диагностики. Кроме того, оно необходимо и обязательно для безопасной и надежной работы электрооборудования.

Базовыми для нашего исследования явились публикации Бокова Г. С., Вавилова В. П., Александрова А. Н., Ящура А. И., посвященные техническому перевооружению российских электрических сетей.

Вопросы технической диагностики освещены в работах авторов Биргера И. А., Вдовико В. П., Чичева С. И., Калинина В. Ф., Глинкин Е. И., Сидоренко М. Г.

В целом, в теории и практике электроэнергетики России в области оценки технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей к настоящему времени сложились противоречия в эффективности применения разрушающих методов контроля электрооборудования и неразрушающих методов контроля.

Проблема: необходимость оценки технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей.

Тема исследования «Оценка технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей».

Цель исследования: обоснование внедрения неразрушающего контроля и более щадящей, предупредительной эксплуатации электрооборудования в АО «Мособлэнерго».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи исследования:

- 1) Выявить основные понятия и положения технической диагностики;
- 2) Исследовать дефекты электрооборудования;
- 3) Исследовать различные методы контроля;
- 4) Оценить экономическую эффективность диагностики электрооборудования.

Объект исследования: электрооборудование в АО «Мособлэнерго».

Предмет исследования: техническое состояние электротехнического оборудования АО «Мособлэнерго».

Основные результаты ВКР связаны с определением основных понятий и положений технической диагностики; с исследованием дефектов электрооборудования и методов контроля; с оценкой экономической эффективности диагностики электрооборудования.

Методологическая и теоретическая основы исследования с исходными данными выступают: труды отечественных и зарубежных ученых; материалы периодической экономической, и технической печати; аналитические доклады; нормативные правовые акты; учебные материалы; данные официальных сайтов АО «Мособлэнерго», ОАО «СО ЕЭС», ПАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Россети», ОАО «МОЭСК»; материалы, полученные автором в ходе работы в

АО «Мособлэнерго».

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты могут использоваться в дальнейшем исследовании проблемы; выводы и фактический материал исследования способствуют более глубокой разработке необходимости оценки технического состояния электротехнического оборудования, электрических сетей. Материалы исследования могут оказать помощь специалистам электросетевой компании: АО «Мособлэнерго» в профессиональной деятельности и экономии материальных средств, расходуемых на ремонт электрооборудования из-за аварии и её устранения.

1 КОНЦЕПЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ

1.1 Основные понятия и положения технической диагностики

Экономическая ситуация, сложившаяся в последние годы в энергетике, заставляет принимать меры, направленные на увеличение сроков эксплуатации различного оборудования. Решение задачи по оценке технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей значительной мере связано с внедрением эффективных методов инструментального контроля и технической диагностики.

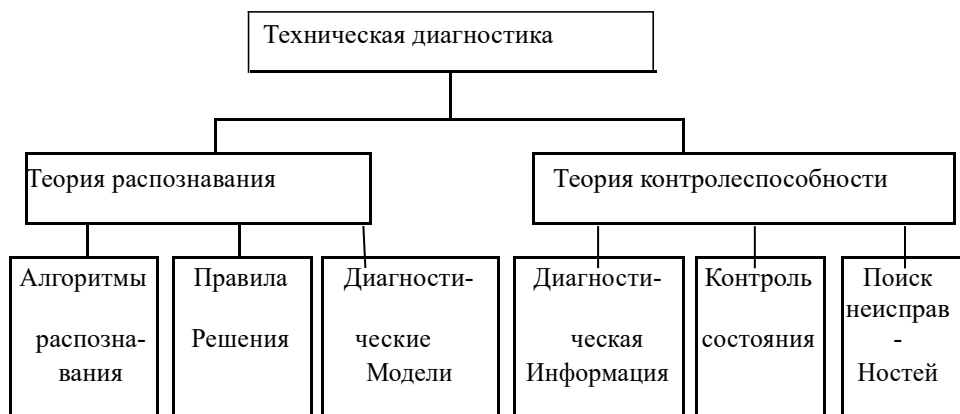
Техническое диагностирование (с греч. «распознавание») – это аппарат мероприятий, который позволяет изучать и устанавливать признаки неисправности (работоспособности) оборудования, устанавливать методы и средства, при помощи которых дается заключение (ставится диагноз) о наличии (отсутствии) неисправности (дефекта). Другими словами, техническая диагностика позволяет дать оценку состояния исследуемого объекта. Такая диагностика направлена в основном на поиск и анализ внутренних причин неисправности оборудования. Наружные причины определяются визуально.

Согласно ГОСТ 20911–89, техническая диагностика определяется как «область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов». Объект, состояние которого определяется, называется объектом диагностирования (ОД), а процесс исследования ОД – диагностированием.

Основной целью технической диагностики являются в первую очередь распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации, и как следствие, повышение надежности и оценка остаточного ресурса системы (оборудования). В связи с тем, что различные технические системы имеют различные структуры и назначения, нельзя ко всем системам применять один и тот же вид технической диагностики.

Условно структура технической диагностики для любого типа и назначения оборудования представлена на рис. 1. Она характеризуется двумя взаимопроникающими и взаимосвязанными направлениями: теорией распознавания и теорией контролеспособности. Теория распознавания изучает алгоритмы распознавания применительно к задачам диагностики, которые обычно могут рассматриваться как задачи классификации. Алгоритмы распознавания в технической диагностике частично основываются на диагностических моделях, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображениями в пространстве диагностических сигналов. Важной частью проблемы распознавания являются правила принятия решений.

Контролеспособностью называется свойство изделия обеспечивать достоверную оценку его технического состояния и раннее обнаружение неисправностей и отказов. Основной задачей теории контролеспособности является изучение средств и методов получения диагностической информации.



Применение (выбор) вида технической диагностики определяется следующими условиями:

- назначением контролируемого объекта (сфера использования, условия эксплуатации и т. д.);
- сложностью контролируемого объекта (сложностью конструкции, количеством контролируемых параметров и т. д.);
- экономической целесообразностью;

- степенью опасности развития аварийной ситуации и последствий отказа контролируемого объекта.

Состояние системы описывается совокупностью определяющих ее параметров (признаков), при диагностировании системы они называются диагностическими параметрами. При выборе диагностических параметров приоритет отдается тем, которые удовлетворяют требованиям достоверности и избыточности информации о техническом состоянии системы в реальных условиях эксплуатации. На практике обычно используют несколько диагностических параметров одновременно. Диагностическими параметрами, могут являться параметры рабочих процессов (мощность, напряжение, ток и др.), сопутствующих процессов (вибрация, шум, температура др.) и геометрические величины (зазор, люфт, биение и др.). Количество измеряемых диагностических параметров также зависит от типов приборов для диагностики системы (которыми производится сам процесс получения данных) и степени развитости методов диагностирования. Так, например, число измеряемых диагностических параметров силовых трансформаторов шунтирующих реакторов может достигать 38, масляных выключателей – 29, элегазовых выключателей – 25, ограничителей перенапряжения и разрядников – 10, разъединителей (с приводом) – 14, маслонаполненных измерительных трансформаторов и конденсаторов связи – 9.

В свою очередь диагностические параметры должны обладать следующими свойствами:

- 1) чувствительностью;
- 2) широтой изменения;
- 3) однозначностью;
- 4) стабильностью;
- 5) информативностью;
- 6) периодичностью регистрации;
- 7) доступностью и удобством измерения.

Чувствительность диагностического параметра – это степень изменения диагностического параметра при варьировании функционального параметра, т.е. чем больше значение этой величины, тем чувствительнее диагностический параметр к изменению функционального параметра.

Однозначность диагностического параметра определяется монотонно возрастающей или убывающей зависимостью его от функционального параметра в диапазоне от начального, до предельного изменения функционального параметра. Т.е. каждому значению функционального параметра, соответствует одно единое значение диагностического параметра, а в свою очередь, каждому значению диагностического параметра соответствует одно единое значение функционального параметра.

Стабильность устанавливает возможную величину отклонения диагностического параметра от своего среднего значения при многократных измерениях в неизменных условиях.

Широта изменения – диапазон изменения диагностического параметра, соответствующий заданной величине изменения функционального параметра; таким образом, чем больше диапазон изменения диагностического параметра, тем выше его информативность.

Информативность – это свойство диагностического параметра, которое при недостаточности или избыточности может снизить эффективность самого процесса диагностики (достоверность диагноза).

Периодичность регистрации диагностического параметра определяется, исходя из требований технической эксплуатации и инструкций завода-изготовителя, и зависит от скорости возможного образования и развития дефекта.

Доступность и удобство измерения диагностического параметра на прямую зависят от конструкции объекта диагностирования и диагностического средства (прибора).

В различной литературе можно найти разные классификации диагностических параметров, в нашем случае для диагностики

электрооборудования мы будем придерживаться типов диагностических параметров, представленных в источнике.

Диагностические параметры подразделяются на три типа:

1. Параметры информационного вида, представляющие объектную характеристику;
2. Параметры, представляющие текущую техническую характеристику элементов (узлов) объекта;
3. Параметры, представляющие собой производные нескольких параметров.

К диагностическим параметрам информационного вида относятся:

1. Тип объекта;
2. Время ввода в эксплуатацию и период эксплуатации;
3. Ремонтные работы, проводимые на объекте;
4. Технические характеристики объекта, полученные при испытании на заводе-изготовителе и/или при вводе в эксплуатацию.

Диагностическими параметрами, представляющими текущую техническую характеристику элементов (узлов) объекта, чаще всего являются параметры рабочих (иногда сопутствующих) процессов.

К диагностическим параметрам, представляющим собой производные нескольких параметров, относятся, прежде всего, такие как:

1. Максимальная температура наиболее нагретой точки трансформатора при любой нагрузке;
2. Динамические характеристики или их производные.

Во многом выбор диагностических параметров зависит от каждого конкретного типа оборудования и метода диагностирования, используемого для этого оборудования.

Современную диагностику электрооборудования (по назначению) условно можно разделить на три основных направления:

- Параметрическая диагностика;
- Диагностика неисправностей;

- Превентивная диагностика.

Параметрическая диагностика – это контроль нормируемых параметров оборудования, обнаружение и идентификация их опасных изменений. Используется она для аварийной защиты и управления оборудованием, диагностическая информация содержится в совокупности отклонений величин этих параметров от номинальных значений.

Диагностика неисправностей – это определение вида и величины дефекта после регистрации факта появления неисправности. Такая диагностика является частью работ по обслуживанию или ремонту оборудования и выполняется по результатам контроля его параметров.

Превентивная диагностика – это обнаружение всех потенциально опасных дефектов на ранней стадии развития, наблюдение за их развитием на этой основе долгосрочный прогноз состояния оборудования. Современные системы диагностирования включают в себя все три направления технической диагностики, чтобы сформировать наиболее полную и достоверную оценку состояния оборудования.

Таким образом, к результатам диагностики можно отнести:

- Определение состояния диагностируемого оборудования (оценка состояния оборудования);

- Выявление вида дефекта, его масштабы, место расположения, причин появления, что служит основой для принятия решения о последующей эксплуатации оборудования (выводе в ремонт, дополнительном обследовании, продолжении эксплуатации и т. п.) или о полной замене оборудования;

Прогноз о сроках последующей эксплуатации – оценка остаточного ресурса работы электрооборудования.

Следовательно, можно сделать вывод, что для предупреждения образования дефектов (или выявления на ранних стадиях образования) и поддержания эксплуатационной надежности оборудования необходимо применять контроль оборудования в виде системы диагностики.

По общей классификации, все методы диагностирования электрооборудования можно разделить на две группы, также называемые методами контроля: методы неразрушающего и разрушающего контроля. Методы неразрушающего контроля (МНК) – методы контроля материалов (изделий), не требующие разрушения образцов материала (изделия). Соответственно, методы разрушающего контроля – методы контроля материалов (изделий), требующие разрушения образцов материала (изделия).

Все МНК в свою очередь также подразделяются на методы, но уже в зависимости от принципа работы (физических явлений, на которых они основаны). Ниже представлены основные МНК, согласно ГОСТ Р 56542-2015, наиболее часто применяемые для электротехнического оборудования:

- магнитный,
- электрический,
- вихретоковый,
- радиоволновой,
- тепловой,
- оптический,
- радиационный,
- акустический,
- проникающими веществами (капиллярный и течеискания).

Внутри каждого вида методы также классифицируют по дополнительным признакам.

Дадим каждому методу МНК четкие определения, используемые в нормативной документации.

Магнитные методы контроля, согласно ГОСТ Р 55612-2013, основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на определении магнитных свойств контролируемых изделий.

Электрические методы контроля, согласно ГОСТ 25315–82, основаны на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контрольным объектом, или поля, возникающего в контрольном объекте в результате внешнего воздействия.

Вихретоковый метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля этим полем.

Радиоволновой метод контроля – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного излучения радиоволнового диапазона с объектом контроля (ГОСТ 25313–82).

Тепловые методы контроля, согласно ГОСТ 53689–2009, основаны на регистрации тепловых или температурных полей объекта контроля.

Визуально-оптические методы контроля – основаны на взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом.

Акустические методы контроля основаны на применении упругих колебаний, возбуждаемых или возникающих в объекте контроля.

Капиллярные методы контроля – основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных и сквозных отверстий материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя.

Таким образом, проведенный анализ технической литературы позволил нам дать определения каждому методу МНК.

Для более глубокого понимания особенностей каждого метода раскроем показатели оценки технического состояния электрооборудования.

1.2 Дефекты электрооборудования

Оценка технического состояния электрооборудования является важнейшим элементом всех основных аспектов эксплуатации электростанций

подстанций. Одной из ее основных задач является выявление факта исправности или неисправности оборудования.

Принято считать исправным оборудование, состояние которого соответствует всем установленным нормативными документами требованиям, в противном случае – неисправным.

Переход изделия из исправного состояния в неисправное происходит вследствие дефектов. Слово дефект употребляется для обозначения каждого отдельного несоответствия оборудования.

Дефекты в оборудовании могут возникать в разные моменты его жизненного цикла: при изготовлении, монтаже, настройке, эксплуатации, испытаниях, ремонте технического состояния электрооборудования и иметь различные последствия.

Видов дефектов, точнее их разновидностей, электротехнического оборудования много. Так как знакомство с видами диагностики электрооборудования начнется с тепловизионной диагностики, то будем пользоваться градацией состояния дефектов (оборудования), чаще применимой при ИК-контроле. Обычно выделяют четыре основные категории или степени развития дефекта:

- Нормальное состояние оборудования (дефекты отсутствуют);
- Дефект в начальной стадии развития (наличие такого дефекта не оказывает явного влияния на работу оборудования);
- Сильно развитый дефект (наличие такого дефекта ограничивает возможность эксплуатации оборудования или сокращает его жизненный срок);
- Дефект в аварийной стадии развития (наличие такого дефекта делает эксплуатацию оборудования невозможной или недопустимой).

Как следствие выявления таких дефектов, в зависимости от степени их развития, принимаются следующие возможные решения (мероприятия) по их устранению:

- Заменить оборудование, его часть или элемент;

- Выполнить ремонт оборудования или его элемента (после этого провести дополнительное обследование для оценки качества выполненного ремонта);

- Оставить в эксплуатации, но уменьшить время между периодическими обследованиями (учащенный контроль);

- Провести другие дополнительные испытания.

При выявлении дефектов и принятии решений по дальнейшей эксплуатации электротехнического оборудования не стоит забывать и о вопросе достоверности и точности полученной информации о состоянии оборудования.

Любой метод МНК не обеспечивает полной достоверности оценки состояния объекта. Результаты измерений включают в себя ошибки, поэтому всегда существует вероятность получения ложного результата контроля:

- исправный объект будет признан негодным (ложный дефект или ошибка первого рода);

- неисправный объект будет признан годным (обнаруженный дефект или ошибка второго рода).

Ошибки при МНК приводят к различным последствиям: если ошибки первого рода (ложный дефект) только увеличивают объем восстановительных работ, то ошибки второго рода (необнаруженный дефект) влекут за собой аварийное повреждение оборудования.

Стоит заметить, что при любом виде МНК можно выделить ряд факторов, влияющих на результаты измерений или анализ полученных данных. Условно можно разделить эти факторы на три основные группы:

1. Окружающая среда;
2. Человеческий фактор;
3. Технический аспект.

К группе «окружающая среда» можно отнести такие факторы, как метеоусловия (температура воздуха, влажность, облачность, сила ветра и т. д.), время суток.

Под «человеческим фактором» понимают квалификацию персонала, профессиональное знание оборудования и грамотное проведение непосредственно самого тепловизионного контроля.

«Технический аспект» подразумевает под собой информационную базу диагностируемом оборудовании (материал, паспортные данные, год выпуска, состояние поверхности и т. д.).

На самом деле факторов, влияющих на результат МНК и анализа данных МНК, гораздо больше, чем перечислено выше. Но эта тема представляет отдельный интерес и так обширна, что достойна отдельного исследования.

Именно по причине возможности допущения ошибок по каждому виду МНК существует своя нормативная документация, регламентирующая назначение МНК, процедуру проведения МНК, средства МНК, анализ результатов МНК, возможные виды дефектов при МНК, рекомендации по их устранению и т. д.

Далее рассмотрим основные методы МНК для электротехнического оборудования согласно классификации. Ниже в таблице 1 представлены основные нормативные документы, которыми необходимо руководствоваться при проведении диагностики с помощью основных методов неразрушающего контроля.

Таблица 1

Нормативная документация

Метод НК (МНК)	Нормативная документация
Магнитный	ГОСТ Р 55612-2013. Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения
	ГОСТ Р 56512-2015. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод
	ГОСТ 30415-96. Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры труб. Магнитный метод
	ГОСТ Р 52005-2003. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Общие требования
Электрический	ГОСТ 25315-82. Контроль неразрушающий электрический. Термины и определения
Вихретоковый	ГОСТ Р 55611-2013. Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения
Радиоволновой	ГОСТ 23480-79. Контроль неразрушающий. Методы радиоволнового вида. Общие требования
Тепловой	Объем и нормы испытаний электрооборудования. СТО 34.01-23.1-001-2017
	Основные положения метода ИК диагностики электрооборудования и высоковольтных линий. РД 153-34.0-20.363-99

Оптический	ГОСТ Р 58399-2019. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования
Радиационный	ГОСТ 20426–82. Контроль неразрушающий. Методы радиационные. Общие требования
	ГОСТ Р 55776-2013. Контроль неразрушающий. радиационный. Термины и определения
Акустический	ГОСТ 20415–82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения
Проникающи- ми веществами (капиллярный и течеискания)	ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования
	ГОСТ 24522–80. Контроль неразрушающий капиллярный. Термины и определения
	ГОСТ 26182–84. Контроль неразрушающий. Люминесцентный метод течеискания
	ГОСТ 28517–90. Контроль неразрушающий. Масс-спектрометрический метод течеискания

2 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ: ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И НАЗНАЧЕНИЕ

2.1 Тепловые методы контроля

Тепловые методы контроля (ТМК) основаны на измерении, оценке и анализе температуры контролируемых объектов. Главным условием применения диагностики с помощью тепловых МНК 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.

Инфракрасная диагностика является наиболее перспективным и эффективным направлением развития в диагностике электрооборудования. Она обладает рядом достоинств и преимуществ по сравнению с традиционными методами испытаний, а именно:

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

Применение ТМК основано на том, что наличие практически всех видов дефектов оборудования вызывает изменение температуры дефектных элементов и, как следствие, изменение интенсивности инфракрасного(ИК) излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами.

ТМК для диагностики электротехнического оборудования на электрических станциях и подстанциях может использоваться для следующих видов оборудования:

- силовых трансформаторов и их высоковольтных вводов;
- коммутационного оборудования: силовых выключателей, разъединителей;
- измерительных трансформаторов: трансформаторов тока (ТТ)
- напряжения (ТН);
- разрядников и ограничителей перенапряжения (ОПН);
- ошиновки распределительных устройств (РУ);
- изоляторов;
- контактных соединений;
- генераторов (лобовых частей и активной стали);
- линий электропередачи (ЛЭП) и их конструктивных элементов (например, опоры ЛЭП) и т. д.

ТМК для высоковольтного оборудования как один из современных методов исследования и контроля был введен в «Объем и нормы испытаний электрооборудования РД 34.45–51.300–97» в 1998 году, хотя во многих энергосистемах применялся намного раньше.

Основные приборы для обследования оборудования ТМК:

Для проведения обследования электрооборудования ТМК используется тепловизионный измерительный прибор (тепловизор). Согласно ГОСТ

8.619–2006, *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. Ниже, на рис. 2 представлен внешний вид различных тепловизоров.



Рис. 2. Внешний вид тепловизора:

а — профессиональный тепловизор; б — стационарный тепловизор для систем непрерывного контроля и мониторинга; в — простейший компактный переносной тепловизор

Диапазон измеряемых температур, в зависимости от марки и типа тепловизора, может быть от -40 до $+2000$ °С.

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, согласно ГОСТ Р 8.619–2006, — это многоэлементное двухмерное изображение, каждому элементу которого приписывается цвет /

или градация одного цвета / градация яркости экрана, определяемые в соответствии с условной температурной шкалой. То есть температурные поля объектов рассматриваются в виде цветового изображения, где градации цвета соответствуют градациям температур. На рис. 3 представлен пример.



Рис. 3. Опорные изоляторы:
a— фотография, *б* — термограмма

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 псевдо цветовыми.

Выбор цветовой палитры термограммы зависит от диапазона используемых температур. Изменение цветовой палитры применяют для увеличения контраста и эффективности визуального восприятия (информативности) термограммы. Число и виды палитр зависят от производителя тепловизора. Приведем основные, наиболее часто используемые палитры для термограмм:

1. RGB (red — красный, green — зеленый, blue — синий);
2. Hot metal (цвета каления металла);
3. Hot blue;
4. Gray (серый);
5. Infratec;
6. Agema;

7. Inframetrics;

8. CMY (cyan — бирюзовый, magenta — пурпурный, yellow — желтый). На рис. 4 представлена термограмма предохранителей, на примере которой можно рассмотреть основные составляющие (элементы) термограммы:

1. Температурная шкала — определяет соотношение между цветовой гаммой участка термограммы и его температурой;

2. Зона аномального нагрева (характеризуется цветовой гаммой из верхней части температурной шкалы) — элемент оборудования, имеющий повышенную температуру;

3. Линия температурного среза (профиль) — линия, проходящая через зону аномального нагрева и узел, аналогичный дефектному;

в Температурный график — график, отображающий распределение температуры вдоль линии температурного среза, т. е. по оси X — порядковые номера точек по длине линии, а по оси Y — значения температуры в этих точках термограммы.

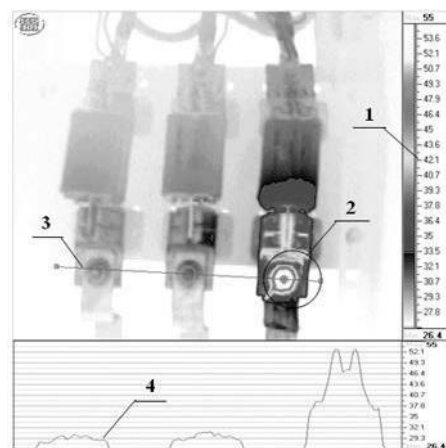


Рис. 4. Термограмма предохранителей.

В данном случае термограмма представляет собой слияние теплового и реального изображения, что предусматривается не во всех программных продуктах для анализа данных тепловизионной диагностики. Также стоит заметить, что температурный график и линия температурного среза являются элементами анализа данных термограммы и без помощи программного обеспечения для обработки теплового изображения воспользоваться ими невозможно.

Стоит подчеркнуть, что распределение цветов на термограмме выбрано произвольно и в данном примере делит дефекты на три группы: зеленую, желтую, красную. Красная группа объединяет серьезные дефекты, в зеленую группу попадают зарождающиеся дефекты.

Также для бесконтактного измерения температуры используют пирометры, принцип действия которых основан на измерении мощности теплового излучения объекта измерения преимущественно в инфракрасном диапазоне.

На рис. 5 представлен внешний вид различных пирометров.



Рис. 5. Внешний вид пирометра

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

Принципиальное отличие тепловизоров от пирометров 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.

При анализе результатов ИК-диагностики необходимо учитывать конструкции диагностируемого оборудования, способы, условия и продолжительность эксплуатации, технологию изготовления и ряд других факторов.

В табл. 2 рассмотрены основные виды электрооборудования на подстанциях и типы дефектов, выявляемые с помощью ИК-диагностики согласно источнику.

Таблица 2

Виды дефектов оборудования на подстанциях, выявляемых с помощью ИК-диагностики

Оборудование электростанций и сетей	Выявляемые неисправности
Генераторы	Межлистовые замыкания статора. Ухудшение паяк обмоток. Оценка теплового состояния щеточного аппарата. Нарушение работы систем охлаждения статоров. Проверка элементов системы возбуждения
Трансформаторы	Очаги возникновения магнитных полей рассеивания. Образование застойных зон в баках трансформаторов за счет шлакообразования, разбухания или смещения изоляции обмоток, неисправности маслосистемы. Дефекты вводов. Оценка эффективности работы систем охлаждения
Коммутационная Аппаратура	Перегрев контактов токоведущих шин, рабочих и дугогасительных камер. Состояние внутрибаковой изоляции. Дефекты вводов, делительных конденсаторов. Трещины опоростержневых изоляторов
Маслонаполненные трансформаторы тока	Перегревы наружных и внутренних контактных соединений. Ухудшение состояния внутренней изоляции обмоток
Вентильные разрядники	Нарушение герметизации элементов.

и ограничители перенапряжений	Обрыв шунтирующих сопротивлений. Неправильная комплектация элементов
Конденсаторы	Пробой секций элементов
Линейные ВЧ заградители	Перегревы контактных соединений
КРУ, КРУН, токопроводы	Перегревы контактных соединений выключателей, разъединителей, трансформаторов тока, кабелей, токоведущих шин и т. п.
Кабельное хозяйство элек-Тростанций	Перегревы силовых кабелей, оценка пожароопасности Кабелей

В настоящее время тепловизионный контроль электрооборудования и воздушных линий электропередачи предусмотрен СТО 34.01-23.1-001-2017 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

В заключение следует отметить, что электрические инфракрасные обследования для Профилактического / Прогнозирующего Обслуживания электрических компонентов приняты среди большинства профессионалов отрасли электроэнергетики. Температурные изображения (Electric ScanIR) могут обнаружить горячие места в электрической системе, которые невозможно увидеть невооруженным взглядом, и которые могут служить предвестниками более крупных проблем. Следовательно, мы можем провести инспектирование, и обнаружить проблемы до возникновения дорогостоящих отказов. Ежегодные инспекции могут увеличить безопасность, и могут быть использованы компаниями для оценки потенциального риска выхода из строя электрооборудования.

Диагностика маслонаполненного оборудования - сегодня на подстанциях используется достаточное количество маслонаполненного оборудования. Маслонаполненное оборудование — это такое оборудование, в котором в качестве дугогасительной, изолирующей и охлаждающей среды используется масло.

На сегодняшний день на подстанциях применяют и эксплуатируют маслонаполненное оборудование следующих видов:

- 1) силовые трансформаторы;
- 2) измерительные трансформаторы тока и напряжения;
- 3) шунтирующие реакторы;
- 4) выключатели;
- 5) высоковольтные вводы;
- 6) маслонаполненные кабельные линии.

Тема очень ёмкая и требует отдельного внимания для её изучения и рассмотрения.

2.2 Электрические методы неразрушающего контроля

настоящее время в России отмечен всплеск интереса к диагностическим системам, позволяющим проводить диагностику электрооборудования неразрушающими методами контроля.

В кабельных сетях следует перейти от разрушающих методов испытаний (высоковольтные испытания выпрямленным постоянным напряжением) на неразрушающие методы диагностики состояния кабеля с прогнозированием состояния изоляции кабеля.

Электрические методы основаны на создании в контролируемом объекте электрического поля либо непосредственным воздействием на него электрическим возмущением (например, полем постоянного или переменного тока), либо косвенно, с помощью воздействия возмущениями неэлектрической природы (например, тепловым, механическим и др). В качестве первичного информативного параметра используются электрические характеристики объекта контроля.

К условно электрическому методу неразрушающего контроля для диагностирования электрооборудования можно отнести метод измерения частичных разрядов (ЧР). Внешними проявлениями процессов развития ЧР

являются электрические и акустические явления, выделение газов, свечение, нагрев изоляции. Именно поэтому существует множество методов определения ЧР. На сегодняшний день для обнаружения частичных разрядов в основном используются три метода: электрический, электромагнитный и акустический.

Согласно ГОСТ 20074–83, ЧР называется локальный электрический разряд, который шунтирует только часть изоляции в электроизоляционной системе.

Другими словами, ЧР являются результатом возникновения локальных концентраций электрической напряженности поля в изоляции или на ее поверхности, превышающей электрическую прочность изоляции в отдельных местах.

Для чего и почему измеряют ЧР в изоляции? Как известно, одним из основных требований, предъявляемых к электротехническому оборудованию, является безопасность его эксплуатации — исключение возможности контакта человека с токоведущими частями или их тщательное изолирование.

Именно поэтому надежность изоляции является одним из обязательных требований при эксплуатации электрооборудования.

В процессе эксплуатации изоляция высоковольтных конструкций подвергается длительному воздействию рабочего напряжения и многократному воздействию внутренних и атмосферных перенапряжений. Наряду с этим изоляция подвергается температурным и механическим воздействиям, вибрациям, а в ряде случаев и увлажнению, приводящим к ухудшению ее электрических и механических свойств. Поэтому надежная работа изоляции высоковольтных конструкций может быть обеспечена при соблюдении следующих условий:

1. Изоляция должна выдерживать с достаточной для практики надежностью возможные в эксплуатации перенапряжения;
2. Изоляция должна с достаточной для практики надежностью выдерживать длительно действующее рабочее напряжение с учетом возможных его изменений в допустимых пределах.

При выборе допустимых рабочих напряженностей электрического поля в значительном количестве типов изоляционных конструкций определяющими являются характеристики ЧР в изоляции.

Сущность метода частичных разрядов — определение значения частичного разряда или проверка того, что значение частичного разряда не превышает установленное значение при установленных напряжении и чувствительности.

Электрический метод требует контакта измерительных приборов с объектом контроля. Но возможность получения комплекса характеристик, позволяющих всесторонне оценить свойства ЧР с определением их количественных значений, сделала этот метод весьма привлекательным и доступным. К основному недостатку этого метода можно отнести его сильную чувствительность к разного рода помехам.

Электромагнитный (дистанционный) метод позволяет обнаружить объект с ЧР с помощью направленного приемного СВЧ антенно-фидерного устройства. Этот метод не требует контактов измерительных приборов с контролируемым оборудованием и позволяет производить обзорное сканирование группы оборудования. Недостаток этого метода заключается в отсутствии количественной оценки какой либо характеристики ЧР, как то заряд ЧР, ЧР, мощность и др.

Применение диагностики методом измерения частичных разрядов возможно для следующих типов электрооборудования:

- 1) кабелей и кабельной продукции (муфт и т. д.);
- 2) комплектных распределительных устройств элегазовых (КРУЭ);
- 3) измерительных трансформаторов тока и напряжения;
- 4) силовых трансформаторов и вводов;
- 5) двигателей и генераторов;
- 6) разрядников и конденсаторов

Основная опасность частичных разрядов связана с последующими факторами:

- невозможностью их выявления методом обычных испытаний повышенным выпрямленным напряжением;
- риском их быстрого перехода до состояния пробоя и, как следствие, создания аварийной ситуации на кабеле.

Среди основного оборудования для определения дефектов с помощью частичных разрядов можно выделить следующие типы оборудования:

1) PD-Portable



Рис. 13. Портативная система регистрации частичных разрядов

Портативная система регистрации частичных разрядов, которая состоит из генератора СНЧ-напряжения (Frida, Viola), блока связи и блока регистрации частичных разрядов.

Особенностями данной системы являются:

1. Упрощенная схема работы системы: не предполагает предварительной зарядки постоянным током, а выдает результат в режиме online.
2. Малые габариты и вес позволяющие использовать систему в качестве переносной или монтировать практически на любом шасси.
3. Высокая точность измерений.

4. Простота эксплуатации.
5. Испытательное напряжение — U_0 , что позволяет проводить диагностику состояния кабельных линий 35 кВ длиной до 13 км, а также кабелей 110 кВ.

2) PHG–система

Универсальная система диагностики состояния кабельных линий, включающая следующие подсистемы:

- генератор высокого напряжения PHG (СНЧ и выпрямленное постоянное напряжение до 80 кВ);
- измерение тангенса угла потерь TD;
- измерение частичных разрядов с локализацией источника PD.



Рис. 14. Универсальная система регистрации частичных разрядов

Особенностями данной системы являются:

1. Упрощенная схема работы системы: не предполагает предварительной зарядки постоянным током, а выдает результат в режиме online;
2. Универсальность: четыре прибора в одном (испытательная установка выпрямленным напряжением до 80 кВ с функцией первичного прожига (до 90 мА), генератор СНЧ-напряжения до 80 кВ, система измерения тангенса угла потерь, система регистрации частичных разрядов);

3. Возможность постепенного формирования системы от генератора высокого напряжения до системы диагностики кабельных линий;
4. Простота эксплуатации;
5. Возможность проведения полной диагностики состояния кабельной линии;
6. Возможность трассировки кабеля;
7. Оценка динамики старения изоляции на основе архивов данных по результатам испытаний.

При помощи данных системы решаются следующие задачи:
проверка рабочих характеристик испытываемых объектов;

- планирование обслуживания и замены муфт и секций кабеля и проведения профилактических мероприятий;
- значительное сокращение количества вынужденных простоев;
- увеличение сроков службы кабельных линий за счет использования падающего уровня испытательного напряжения.

Также существует ещё четыре вида МНК

Магнитная структуроскопия- *магнитные методы* неразрушающего контроля применяют в основном для контроля изделий из ферромагнитных материалов, т. е. изделий, которые под воздействием внешнего (намагничивающего) магнитного поля изменяют свои магнитные характеристики: магнитную проницаемость, величины и направления магнитного потока, вследствие возмущений поля, вызванных дефектами. К ферромагнитным материалам относятся: железо, сталь, чугун, никель, кобальт и некоторые сплавы (алюминия с никелем и др.) — материалы, из которых изготавливается большая часть электротехнического оборудования на станциях и подстанциях.

Акустические методы контроля - применяются для контроля изделий, радиоволны в материале которых затухают не сильно: диэлектрики (стекло-волокно, пластмассы, керамика), полупроводники, магнитодиэлектрики (ферриты), тонкостенные металлические материалы.

Недостаток неразрушающего контроля радиоволновым методом — низкая разрешающая способность устройств, в основе работы которых лежит данный метод, из-за малой глубины проникновения радиоволн.

Акустико-эмиссионная диагностика

Акустическая эмиссия — это мощное техническое средство неразрушающего тестирования и оценки материалов. Она основана на обнаружении упругих волн, генерируемых внезапной деформацией напряженного материала.

Эти волны распространяются от источника к датчику (датчикам), где они преобразуются в электрические сигналы. Приборы АЭ измеряют эти сигналы и отображают данные, на основе которых оператор оценивает состояние и поведение структуры под напряжением.

Современные экспертные системы

Современные системы оценки технического состояния (ОТС) высоковольтного электрооборудования станций и подстанций предполагают автоматизированные экспертные системы, направленные на решение двух видов задач: определение фактического функционального состояния оборудования с целью корректировки жизненного цикла оборудования и прогнозирования его остаточного ресурса и решение технико-экономических задач, таких как управление производственными активами сетевых предприятий.

3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

3.1 Оценка экономической эффективности диагностики

Экономическая эффективность диагностики электрооборудования зависит от ряда факторов, таких как возраст оборудования, мощность, его место в производственной цепи, когда отказ в работе может привести к простоя или хуже того – к технологической аварии, когда потери будут превышать стоимость самого оборудования.

Сначала рассмотрим крайний вариант – когда оборудование новое и до повреждений далеко, но имеет смысл получить картину технического состояния оборудования для входного контроля и далее использовать эти данные как стартовые. Стоимость работ при этом составляет $\approx 0,1\%$ от стоимости оборудования, если не считать стоимости монтажа и последующих испытательных и наладочных работ, стоимость которых составляет 10 – 70% от стоимости оборудования.

Другой крайний вариант, это изношенное оборудование, когда необходимо принять решение – нужно ли его ремонтировать или дешевле заменить. Стоимость работ остается прежняя, но в соотношении с остаточной стоимостью оборудования, может составить 1%, при этом и ремонт изношенного оборудования, как правило, значительно дороже.

Далее, если рассматривать период работы оборудования от 3 до 25 лет, то здесь экономическая эффективность работ определяется соотношением затрат на ремонт, куда автоматически попадает и недовыработка при остановке оборудования.

20 – 30 лет назад не было технических средств, для глубокой диагностики оборудования и ремонты по графику являлись единственной возможностью проверки и подготовки оборудования к работе.

Сейчас появилась приборная база и методики на ее основе, позволяющие более подробно обследовать оборудование именно в работе, когда температурный режим оборудования соответствует рабочему, протекание рабочего тока вызывает искрение в контактах и т.д.

Наличие таких данных диагностики повышает достоверность прогноза до 95 – 98% и позволяет переходить на ремонты по «показаниям», т.е. по статистике, в ремонте нуждается всего 3 – 7% оборудования.

Остальное оборудование по нормативным документам относится к состоянию «Рабочее» и не требует немедленного ремонта, а требует учащенного контроля.

Оборудования предприятий при 100% охвате диагностикой.

Для электрооборудования требования к частоте диагностики более жесткие, рекомендуется производить испытания и измерения не реже 1 раза в 12-18 месяцев.

Другим отдельным видом диагностики является диагностика перед ремонтной и послеремонтная, т.е. диагностика целью проведения которой является уменьшение затрат на ремонт. По результатам диагностики готовится карта ремонта, в которой указываются все типы дефектов, требующие устранения в течении ремонта, что делает ремонт целевым, направленным и сокращает объем работ, уменьшает время простоя и в конечном счете экономит средства. Послеремонтная же диагностика должна дать оценку качеству ремонта, что так же важно для контроля, за расходованием ремонтных фондов.

Более эффективной является диагностика всего парка оборудования, при которой выявляются те 3-7% оборудования, про которое говорилось выше, и в которое необходимо вкладывать деньги для дополнительной диагностики, ремонта или подготовки к замене. При этом затраты на диагностику остаются прежними, а эффект от целенаправленного вложения денег многократно увеличивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило нам разрабатывать одну из важных проблем необходимости оценки технического состояния электротехнического оборудования, электрических сетей.

Целью исследования «Оценка технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей» стало обоснование неразрушающих методов диагностики электрооборудования и более щадящей, предупредительной эксплуатации электрооборудования в АО «Мособлэнерго».

На основе анализа научно-технической литературы и нормативно правовых актов, мы решили первую задачу ВКР и выявили основные понятия и положения технической диагностики. В работе нами даны определения каждому методу неразрушающего контроля.

В соответствии с целью исследования нами была решена вторая задача исследования: исследовать дефекты электрооборудования.

В работе в табличном виде представлены основные нормативные документы, которыми необходимо руководствоваться при проведении диагностики с помощью основных методов неразрушающего контроля.

В соответствии с целью исследования нами была решена третья задача исследования: исследовать различные методы контроля.

- неразрушающие методы контроля, производимые при напряжениях, меньших рабочих, и основанные на явлениях, возникающих в слабых электрических полях (электропроводность и поляризационные явления) и связанных с пробивным напряжением изоляции;

- неразрушающие методы контроля, производимые при рабочих напряжениях, - в основном это контроль частичных разрядов, а также тепловой и ультразвуковой контроль;

- разрушающие методы контроля, связанные с использованием напряжения, повышенного по сравнению с рабочим напряжением и вызывающего ускоренное разрушение изоляции в дефектном месте;

приложение повышенного напряжения не исключает появления дефекта, который может привести к пробое изоляции во время эксплуатации.

Кроме того, методы контроля подразделяют на две группы по электрическому признаку:

- электрические методы контроля изоляции,
- неэлектрические методы контроля: хроматографический анализ газов в трансформаторном масле, ультразвуковые методы контроля, радиоволновой метод, тепловизионный метод, оптикоэлектронный метод, рентгенографический метод.

В рамках четвертой задачи исследования проведена оценка экономической эффективности диагностики электрооборудования.

Мы показали, что более эффективной является диагностика всего парка оборудования, при которой выявляются те 3-7% оборудования, и в которое необходимо вкладывать деньги для дополнительной диагностики, ремонта или подготовки к замене. При этом затраты на диагностику остаются прежними, а эффект от целенаправленного вложения денег многократно увеличивается.

И так, нам представляется, что цель исследования достигнута, поставленные задачи решены. Обобщая выше сказанное, отметим, что проведенное исследование в целом не исчерпывает многогранности, изучаемой нами проблемы. Это обусловлено, прежде всего, ограниченным объемом работы, а также целью и задачами. Заданное направление исследования требует серьезных теоретических и практических разработок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боков Г. С. Техническое перевооружение российских электрических сетей // Новости электротехники. 2002. № 2 (14). С. 10–14.
2. Вавилов В. П., Александров А. Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике. М. : НТФ «Энергопрогресс», 2003. С. 360.
3. Ящура А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : справочник. М. : Энас, 2012.
4. Биргер И. А. Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1978. С. 240.
5. Вдовико В. П. Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения // Электричество. 2010. № 2. С.14–20.
6. Чичев С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И. Система контроля управления электротехническим оборудованием подстанций. М. :Спектр, 2011. С. 139.
7. Барков А. В. Основа для перевода вращающегося оборудования на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию [Электронный ресурс] // Вибро-диагностические системы Ассоциации ВАСТ. URL: <http://www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book22> (дата обращения: 20.03.2015).
8. Захаров О. Г. Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах : НТФ «Энергопресс», «Энергетик», 2010. С. 96.
9. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М. : Энергоатомиздат, 1992. С. 240.
10. Хренников А. Ю., Сидоренко М. Г. Тепловизионное обследование электрооборудования подстанций и промышленных предприятий и его экономическая эффективность // Рынок Электротехники. № 2 (14). 2009. С. 96–100.
11. Сидоренко М. Г. Тепловизионная диагностика как современное средство мониторинга [Электронный ресурс]. URL: <http://www.centert.ru/articles/22/> (дата обращения: 20.03.2015).