

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт  
«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г.Н.Чистяков  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Анализ современных методов контроля и диагностики электротехнического  
оборудования на объектах электросетевой компании  
тема

Руководитель _____ подпись, дата	доцент кафедры ЭЭ,к.э.н. должность, ученая степень	<u>Н.В.Дулесова</u> инициалы, фамилия
Выпускник _____ подпись, дата		<u>В.В. Бурганов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер _____ подпись, дата		<u>А.В.Коловский</u> инициалы, фамилия

Абакан 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт –  
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г.Н.Чистяков  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы**

Студенту Бурганову Виктору Викторовичу  
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 12-01 (3-12) Направление (специальность)  
номер  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код, наименование

Тема выпускной квалификационной работы Анализ современных методов контроля и диагностики электротехнического оборудования на объектах электросетевой компании

Утверждена приказом по университету № 145 от 28.02.2016г.

Руководитель ВКР Дулесова Н.В., к.э.н. доцент кафедры «Электроэнергетика»  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР теоретические выкладки, анализ методов диагностики выделенных предприятий.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

1. Теоретическая часть
  - 1.1 Основные понятия и положения диагностики
  - 1.2 Концепция и результаты диагностики
  - 1.3 Дефекты электрооборудования
  - 1.4 Методы неразрушающего контроля
  - 1.5 Тепловые методы контроля
  - 1.6 Ультрафиолетовая диагностика
  - 1.7 Диагностика маслonaполненного оборудования
2. Аналитическая часть
  - 2.1 Характеристика энергосетевых компаний
  - 2.2 Анализ методов диагностики используемых в энергосетевых предприятиях
3. Практическая часть
  - 3.1 Тепловизионный контроль
  - 3.2 Ультрафиолетовый контроль
  - 3.3 Системы мониторинга трансформаторов.

Перечень графического материала:

1. Э1 методы контроля и диагностики
2. Э2 Анализ методов контроля и диагностики
3. Э3 Наиболее эффективные методы диагностики

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

/Н.В. Дулесова

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

/В.В. Бурганов

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

## РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа на тему «Анализ современных методов контроля и диагностики электротехнического оборудования на объектах электросетевой компании» содержит 50 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 3 листа графического материала.

ДИАГНОСТИКА, КОНТРОЛЬ, АНАЛИЗ, ОБОРУДОВАНИЕ, НАДЕЖНОСТЬ, ОПЕРАТИВНОСТЬ.

Актуальность выбранной темы состоит в том, что в настоящее время сложилась тенденция «старения» парка электротехнического оборудования и современные условия использования требуют новых бесконтактных методов контроля и диагностики оборудования под рабочим напряжением, недорогих, простых и оперативных. В настоящее время на первом месте стоит бесперебойная работа электротехнического оборудования, продление срока службы этого оборудования и в свою очередь повышение качества обслуживания потребителей электроэнергии.

Объектом исследования является электротехническое оборудование объектов электросетевых компаний.

Предметом исследования являются методы контроля и диагностики электротехнического оборудования.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является применение новых, современных методов контроля электротехнического оборудования на объектах электросетевых компаний.

В течение работы над выпускной квалификационной работой были получены следующие результаты:

- выкладки по применению методов контроля и диагностики электротехнического оборудования;
- выделен ряд предприятий для анализа методов;
- сравнение современных методов по выделенным предприятиям;
- предложены новые методы для применения в энергосетевых компаниях;

Научная новизна и практическая значимость исследования обусловлена тем, что дана оценка применения современных методов контроля и диагностики, и практические рекомендации по их использованию.

## ABSTRACT

The bachelor's thesis on a theme "The analysis of equipment control modern methods and electrical machinery diagnostics on facilities of electric grid companies" consists of 50 text document pages, 25 used sources, 3 sheets of paper of graphic material.

DIAGNOSTICS, CONTROL, ANALYSIS, EQUIPMENT, RELIABILITY, OPERATIVENESS.

The timeliness of the selected theme lies in the fact that currently has formed a tendency of "aging of electrical machinery fleet and modern conditions of use require the new non-contact methods of control and equipment diagnostics under working voltage, inexpensive, simple and operating. At the present time, uninterrupted operation of electrical machinery, life extension of this equipment and in its turn improvement in service of electricity consumers is in the first place.

The electrical machinery of facilities of electric grid companies is an object of the research.

The methods of control and equipment diagnostics of electrical machinery are a subject of the research.

The application of new modern methods of electrical machinery control on facilities of electric grid companies is a purpose of implementation of graduate qualification work.

During the work on graduate qualification work there were obtained the following results:

- Data on application of methods of control and diagnostics of electrical machinery;
- determined a number of enterprises for analysis of methods;
- comparison of modern methods in determined enterprises;
- suggested new methods for application in electric grid companies;

Scientific novelty and practical implications were due to the fact that there made an estimate of application of modern methods of control and diagnostics, and also practical recommendations for their use.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Теоретическая часть .....	6
1.1 Основные понятия и положения диагностики .....	6
1.2 Концепция и результаты диагностики .....	10
1.3 Дефекты электрооборудования.....	13
1.4 Методы неразрушающего контроля .....	15
1.5 Тепловые методы контроля .....	16
1.6 Ультрафиолетовая диагностика .....	19
1.7 Диагностика маслонеполненного оборудования .....	20
2 Аналитическая часть .....	24
2.1 Характеристика энергосетевых компаний.....	24
2.2 Анализ методов диагностики используемых в энергосетевых предприятиях.....	29
3 Практическая часть.....	40
3.1 Тепловизионный контроль .....	40
3.2 Ультрафиолетовый контроль .....	42
3.3 Системы мониторинга трансформаторов .....	44
Заключение .....	47
Список использованных источников .....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность выбранной темы состоит в том, что в настоящее время сложилась тенденция «старения» парка электротехнического оборудования и современные условия использования требуют новых бесконтактных методов контроля и диагностики оборудования под рабочим напряжением, недорогих, простых и оперативных. В настоящее время на первом месте стоит бесперебойная работа электротехнического оборудования, продление срока службы этого оборудования и в свою очередь повышение качества обслуживания потребителей электроэнергии.

Целью выполнения выпускной квалификационной работы является применение новых, современных методов контроля электротехнического оборудования на объектах электросетевых компаний.

Объектом исследования является электротехническое оборудование объектов электросетевых компаний.

Предметом исследования являются методы контроля и диагностики электротехнического оборудования.

В течение работы над выпускной квалификационной работой были получены следующие результаты:

- выкладки по применению методов контроля и диагностики электротехнического оборудования;
- выделен ряд предприятий для анализа методов;
- сравнение современных методов по выделенным предприятиям;
- предложены новые методы для применения в энергосетевых компаниях;

Научная новизна и практическая значимость исследования обусловлена тем, что дана оценка применения современных методов контроля и диагностики, и практические рекомендации по их использованию.

# 1 Теоретическая часть

## 1.1 Основные понятия и положения 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 в значительной мере связано с внедрением эффективных методов инструментального контроля и технической диагностики.

Диагностирование – это аппарат мероприятий, который позволяет изучать и устанавливать признаки неисправности (работоспособности) оборудования, устанавливать методы и средства, при помощи которых дается заключение о наличии (отсутствии) неисправности. Диагностика позволяет дать оценку состояния исследуемого объекта. Такая диагностика направлена в основном на поиск и анализ внутренних причин неисправности оборудования. Наружные причины определяются визуально [1].

Объект, состояние которого определяется, называется объектом диагностирования (ОД), а процесс исследования ОД – диагностированием. Основной целью диагностики является в первую очередь распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации, чтобы повысить надежность и оценку остаточного ресурса оборудования. Различные технические системы имеют различные структуры и назначения, нельзя ко всем системам применять один и тот же вид диагностики.

Условно структура технической диагностики для любого типа и назначения оборудования представлена на рисунке 1.1. 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.

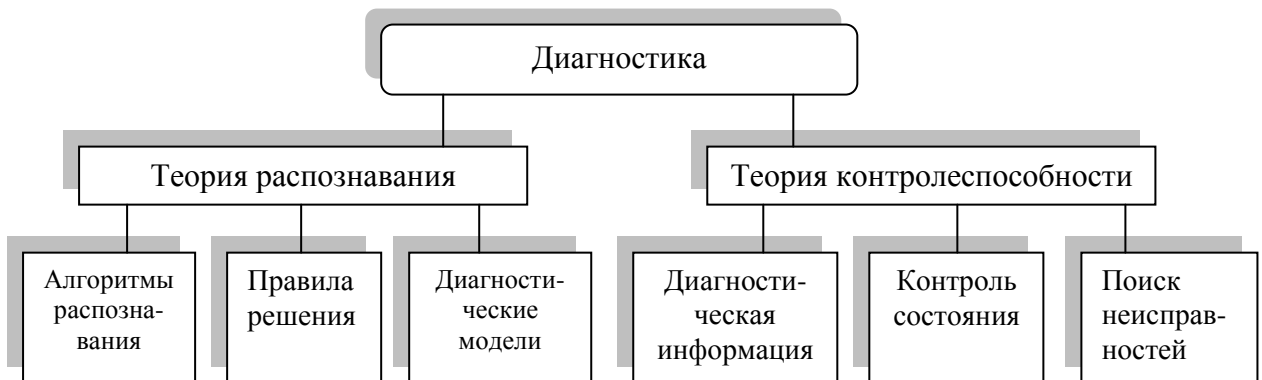


Рисунок 1.1 – Структура технической диагностики

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 [2].

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

Состояние системы описывается совокупностью определяющих ее параметров, 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 и 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 и 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 [3].

В свою очередь диагностические параметры должны обладать следующими свойствами:

- чувствительностью;
- шириной изменения;
- стабильностью;
- информативностью;
- периодичностью регистрации;
- 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.

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:

- параметры информационного вида, представляющие объектную характеристику;
- параметры, представляющие текущую техническую характеристику элементов (узлов) объекта;
- параметры, представляющие собой производные нескольких параметров.

К диагностическим параметрам информационного вида относятся:

- тип объекта;

- время ввода в эксплуатацию и период эксплуатации;
- ремонтные работы, проводимые на объекте;
- 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:

- максимальная температура наиболее нагретой точки трансформатора при любой нагрузке;
- динамические характеристики или их производные.

Во многом выбор диагностических параметров зависит от каждого конкретного типа оборудования и метода диагностирования, используемого для этого оборудования [4].

## **1.2 Концепция и результаты диагностики**

Современную диагностику электрооборудования 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, а 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 и на этой основе долгосрочный прогноз состояния оборудования.

Современные системы диагностирования включают в себя все три направления технической диагностики, чтобы сформировать полную и достоверную оценку состояния оборудования.

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 методом системы диагностики.

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

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, 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.

Магнитные методы контроля, основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на определении магнитных свойств контролируемых изделий [25].

Электрические методы контроля, 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.

Тепловые методы контроля, 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

несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя.

### 1.3 Дефекты электрооборудования

Оценка технического состояния электрооборудования является важнейшим элементом всех основных аспектов эксплуатации электростанций и подстанций [5]. 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 – и иметь различные последствия.

Виды дефектов, точнее их разновидностей, электротехнического оборудования много. Самым современным является тепловизионная диагностика. 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:

- замена оборудования, его часть или элемент;
- ремонт оборудования или его элемента (после этого провести дополнительное обследование для оценки качества выполненного ремонта);
- 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 о вопросе достоверности и точности полученной информации о состоянии оборудования.

Любой метод неразрушающего контроля (НК) 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 НК 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 [6].

При любом виде НК есть ряд факторов, влияющих на результаты измерений или анализ полученных данных. Можно разделить эти факторы на три основные группы: окружающая среда, человеческий фактор, технический аспект.



К группе «окружающая среда» можно отнести такие факторы, как метеоусловия (температура воздуха, влажность, облачность, сила ветра и т. д.) и 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 о диагностируемом оборудовании (материал, паспортные данные, год выпуска, состояние поверхности и т. д.).

Далее в пособии будут рассмотрены основные методы НК для электротехнического оборудования

#### **1.4 Методы неразрушающего контроля**

ОАО «ФСК ЕЭС» в «Положении технической политике ОАО «ФСК ЕЭС» в распределительном электросетевом комплексе» четко сформулировало общую тенденцию развития в данном вопросе: «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 [8].

Так же к методам неразрушающего контроля для диагностирования электрооборудования можно отнести три основных новых метода: Тепловые методы контроля, ультрафиолетовая диагностика, системы мониторинга трансформаторов.

### **1.5 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 [7].

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

- 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 излучения, которое может быть зарегистрировано тепловизионными приборами [12].

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 и напряжения;
- 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.

Для проведения обследования электрооборудования ТМК используется тепловизионный измерительный прибор (теповизор). 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.). тепловизор – это своего рода телекамера, снимающая объекты в ИК-излучении, позволяющая в реальном времени получить картину распределения теплоты (разницы температур) на поверхности.

Принцип работы тепловизора основан том, что все физические тела нагреты неравномерно, вследствие чего складывается картина распределения ИК-излучения. Получается что, действие всех тепловизоров основано на фиксации температурной разницы «объект/фон» и на преобразовании полученной информации в изображение (термограмму), видимое глазом. Термограмма – это многоэлементное двухмерное изображение, каждому элементу которого приписывается цвет/или градация одного цвета/градация яркости экрана, определяемые в соответствии с условной температурной шкалой. То есть температурные поля объектов рассматриваются в виде цветового изображения, где градации цвета соответствуют градации температур. В последние годы тепловизионный контроль набрал популярность. Но существует также и другой, современный, метод контроля состояния изоляции – ультрафиолетовая диагностика [9].

## 1.6 Ультрафиолетовая диагностика

Принцип ультрафиолетовой диагностики заключается в улавливании ультрафиолетового (УФ) излучения от электрических разрядов с применением УФ-камер.

Чувствительность детектора камеры является важнейшей характеристикой, определяющей достоверность ультрафиолетовой диагностики. УФ-диапазон спектра электромагнитного излучения лежит левее видимого диапазона и составляет примерно 400-200 нм. Спектр излучения короны соответствует электромагнитному излучению атмосферного азота при его ионизации. Механизм данного процесса в частности, может возникать вследствие наличия дефекта или загрязнения изоляции.

Спектр короны имеет два ярко выраженных максимума, приходящихся на 340 и 360 нм. Вместе с тем в этих диапазонах мощность излучения солнца также велика.

Для того чтобы иметь возможность диагностировать изолятор при дневном свете, в современных электронно-оптических УФ-дефектоскопах используют диапазон 240-280 нм, соответствующий так называемому диапазону UVc. В этом диапазоне солнечная радиация практически полностью поглощается молекулами атмосферного озона, и наблюдение изоляции возможно практически без помех. На практике для выделения указанного спектрального диапазона в УФ-канал камеры перед детектором устанавливают специальный оптический фильтр .

УФ-детектор рассчитывается и изготавливается таким образом, чтобы обеспечить наибольшую спектральную чувствительность именно в диапазоне 240-280 нм. При этом максимальная чувствительность соответствует 260 нм.

Для контроля изоляции с использованием ультрафиолетовой диагностики включенную УФ-камеру направляют на электрооборудование, находящееся под напряжением, и визуально определяют наличие или отсутствие поверхностных

частичных разрядов или коронирования. Наиболее известны УФ-камеры марок DayCore и UVolley (Компания «Ofil», Израиль) и Corosam (Компания «CSIR-UVIRCO», ЮАР) [10].

### **1.7 Диагностика маслонаполненного оборудования**

В настоящее время на подстанциях используется достаточное количество маслонаполненного оборудования.

На подстанциях применяют и эксплуатируют маслонаполненное оборудование следующих видов:

- силовые трансформаторы;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения;
- шунтирующие реакторы;
- выключатели;
- высоковольтные вводы;
- маслонаполненные кабельные линии.

Немалая доля маслонаполненного оборудования, эксплуатируемого в настоящее время, используется на пределе своих возможностей – свыше своего нормативного срока эксплуатации. И наряду с другими частями оборудования масло также подвергнуто старению.

Состоянию масла уделяется особое внимание, так как под воздействием электрических и магнитных полей происходит изменение его первоначального молекулярного состава, а также, вследствие эксплуатации, возможно изменение его объема. Что может представлять опасность как для работы оборудования на подстанции, так и для обслуживающего персонала.

Поэтому правильная и своевременная диагностика масла – залог надежной работы маслонаполненного оборудования.

Масло – очищенная фракция нефти, получаемая при перегонке, кипящая при температуре от 300 до 400 °С. В зависимости от происхождения нефти оно

обладает различными свойствами, и эти отличительные свойства исходного сырья и способов получения отражаются на свойствах масла. Масло в энергетической области считается наиболее распространенным жидким диэлектриком. [11].

В масле содержится около 70% информации о состоянии оборудования.

Примеры основного оборудования для анализа состава масла:

- влагомер – предназначен для измерения массовой доли влаги в трансформаторном масле.
- измеритель объемной доли газов – предназначен для измерений объемной доли газов, растворенных в трансформаторном масле.
- измеритель диэлектрических параметров трансформаторного масла предназначен для измерений относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторного масла.
- автоматический тестер трансформаторного масла – используется для измерения электрической прочности электроизоляционных жидкостей на пробой. Напряжение пробоя отражает степень загрязненности жидкости различными примесями.
- система мониторинга параметров трансформатора: мониторинг содержания газов и влаги в трансформаторном масле – контроль на работающем трансформаторе осуществляется непрерывно, запись данных осуществляется с заданной периодичностью во внутреннюю память или отсылается диспетчеру.
- диагностика изоляции трансформаторов: определение старения или содержания влаги в изоляции трансформаторов.
- автоматический измеритель влагосодержания – позволяет определять содержание воды в микрограммовом диапазоне.

Так как трансформаторы являются одними из наиболее важных и дорогих компонентов электрических сетей, поэтому для надежной работы сети крайне важно знать их техническое состояние. Под действием избыточных нагрузок в

системе изоляции трансформаторов вырабатываются газы, которые растворяются в масле. Анализ растворенных в масле газов (DGA) признан как один из наилучших способов раннего обнаружения развивающихся неисправностей.

устройство непрерывного контроля концентрации растворенных газов и влаги в масле, предупреждающим персонал в режиме реального времени о появлении и развитии дефектов в трансформаторе. Прибор является интеллектуальной (основывающейся на применении микропроцессора) системой контроля в реальном времени, которая измеряет уровень (концентрацию) горючих газов и влагосодержания в трансформаторном масле для оценки опасных состояний, температуры кипения, скорости старения, а также для раннего обнаружения зарождающихся отказов в трансформаторах (или в любом другом маслonaполненном электрооборудовании). Устройство отслеживает ключевые параметры состояния трансформатора и снижает до минимума риск незапланированных простоев. Система чувствительна к четырем газам, которые являются четырьмя основными индикаторами зарождающихся отказов в маслonaполненном электрооборудовании.

Под воздействием температур и электрических факторов диэлектрическое трансформаторное масло выделяет множество различных газов, которые свидетельствуют о приближающейся поломке электрического оборудования. персонал должен быть предупрежден о выделении подобных газов не только потому, что обнаружение на ранней стадии заставляет принять меры по предотвращению поломки дорогостоящего оборудования, но и потому, что оно позволяет определить существующие тенденции, ведущие к повреждению оборудования. Основные преимущества системы мониторинга:

- Непрерывное измерение концентрации опасных газов + определение содержания влаги в масле.
- Подключение дополнительных датчиков (датчик нагрузки, датчик температуры и т.п.).



- Встроенный мастер расчета моделей трансформаторов в соответствии со стандартом IEEE.

- Многочисленные опции обмена данными.

- Конструкция, проверенная временем – большое количество устройств работает по всему миру.

Области применения:

- Универсальное решение для трансформаторов, питающих ответственные линии.

- Основное внимание уделяется стратегии замещения активов, считающейся приоритетом.

- Снижение вероятности остановки производственного процесса вследствие прекращения энергоснабжения

- Минимизация экономического ущерба от простоев

Система мониторинга так же позволяет вести расчет математических моделей трансформаторов на основе стандарта IEEE, а также сопоставлять их с данными, полученными на месте эксплуатации. Входные сигналы, полученные с датчиков, преобразуются в данные, поступающие в реальном масштабе времени, позволяя лучше оценить общее состояние трансформатора. [12].

Используя теоретические выкладки, проанализируем насколько выше перечисленные методы приемлемы в энергосетевых компаниях таких как ПАО «Ленэнерго», ОАО «МРСК Центра – Тамбовэнерго», ОАО «МРСК Урала», ХП МЭС филиал ПАО «ФСК ЕЭС», входящих в состав ПАО «Россети».

## **2 Аналитическая часть**

### **2.1 Характеристика энергосетевых компаний**

Рассмотрим характеристику энергосетевых компаний выбранных для проведения анализа. Выбранные предприятия входят в состав ПАО «Россети».

**Публичное акционерное общество «Российские сети» (ПАО «Россети»)** – оператор энергетических сетей в России – является одной из крупнейших электросетевых компаний, находится под контролем государства и является его агентом по управлению российским электrorаспределительным сетевым комплексом.

Компания управляет 2,30 млн км линий электропередачи, 490 тыс. подстанциями трансформаторной мощностью более 761 ГВА. В 2015 году полезный отпуск электроэнергии потребителям составил 720.5 млрд кВт·ч. Численность персонала Группы компаний «Россети» – 216 тысяч человек.

Имущественный комплекс ПАО «Россети» включает в себя 37 дочерних и зависимых общества, в том числе 14 межрегиональных и магистральную сетевую компанию. Контролирующим акционером является государство в лице Федерального агентства по управлению государственным имуществом РФ, владеющее 87,9 % долей в уставном капитале.

ПАО «Россети» - ведущая компания на российском рынке по внедрению инновационных технологий в магистральном и распределительном электросетевом комплексе. Компания уделяет большое внимание вопросам энергосбережения, энергоэффективности, международного сотрудничества, защиты окружающей среды и охраны труда.

В собственности ПАО «Россети» находится 79,64% размещенных акций ПАО «ФСК ЕЭС», в собственности миноритарных акционеров – 20,36% акций Федеральной сетевой компании [13].

Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС») создано как организация

по управлению Единой национальной (общероссийской) электрической сетью (ЕНЭС) с целью ее сохранения и развития. Постановлением Правительства РФ от 11.07.2001 № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» Единая энергетическая система России признана «общенациональным достоянием и гарантией энергетической безопасности» государства.

**ПАО «ФСК ЕЭС»** является крупнейшей в мире публичной электросетевой компанией, владеющей магистральными активами, включающими 125 тыс. км линий электропередачи и 856 подстанций общей трансформаторной мощностью более 322 тыс. МВА напряжением 35-1150 кВ. Объекты электросетевого хозяйства находятся в 73 регионах Российской Федерации общей площадью более 13,6 млн кв. км. [14].

В Постановлении Правительства Российской Федерации от 21.12.2001 № 881 «О критериях отнесения магистральных линий электропередачи и объектов электросетевого хозяйства к единой национальной (общероссийской) электрической сети» были утверждены критерии отнесения к ЕНЭС магистральных линий электропередачи и объектов электросетевого хозяйства.

Уставный капитал ПАО «ФСК ЕЭС» составляет 637 332 661 531 рублей 50 копеек и разделен на 1 274 665 323 063 штук обыкновенных акций номинальной стоимостью 50 копеек каждая.

ПАО «ФСК ЕЭС», в собственности миноритарных акционеров – 19,28% акций Федеральной сетевой компании, Росимущество – 0,59%.

Основные направления деятельности компании:

- управление Единой национальной (общероссийской) электрической сетью;
- предоставление услуг субъектам оптового рынка электрической энергии по передаче электрической энергии и присоединению к электрической сети;
- инвестиционная деятельность в сфере развития Единой национальной (общероссийской) электрической сети;

- поддержание в надлежащем состоянии электрических сетей;
- технический надзор за состоянием сетевых объектов.

За 2015 год в целом фактический сальдированный отпуск электроэнергии из сетей ЕНЭС по границам балансовой принадлежности с распределительными сетевыми компаниями, потребителям и независимых АО-энерго, зафиксированных в актах учета перетоков по сечениям ПАО «ФСК ЕЭС» - смежный участник ОРЭМ составил 503 974 млн. кВт.ч. [15].

По итогам 2015 года по сетям ЕНЭС в сопредельные государства передано электроэнергии в сальдированном выражении 16 018 млн.кВт.ч. Удельная аварийность за 2015 год составила 1,23 шт., что на 21,7% ниже показателя 2014 года.

ПАО «ФСК ЕЭС» является участником рынка корпоративных облигаций. По состоянию на 31 декабря 2015 года, в обращении находятся облигационные займы ПАО «ФСК ЕЭС» на общую сумму 257,1 млрд рублей [16].

Рассмотрим основные производственные показатели ПАО «ФСК ЕЭС»:

Таблица 2.1 – Основные производственные показатели ПАО «ФСК ЕЭС»

	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Протяженность линий электропередачи, тыс. км	124,6	131,6	135,1	138,8	139,1
Количество подстанций, шт.	856	891	919	924	931
Выручка (нетто) от продажи, товаров, продукции, работ, услуг, млн руб.	138 137	138 836	155 352	168 941	173 266
Прибыль (убыток) до налогообложения, млн руб.	11 444	(14 270)	(17 672)	14 338	27 884
Чистая (нераспределенная) прибыль (убыток), млн руб.	(2 468)	(24 532)	(25 898)	5 137	17 870
Стоимость чистых активов, млн руб.	853 079	849 125	842 975	854 490	886 127

Как видно из таблицы основных производственных показателей в предприятии ПАО «ФСК ЕЭС» чистые активы носят стабильный характер,

данные активы позволяют использовать их для внедрения современных методов контроля электротехнического оборудования на энергосетевых компаниях входящих в состав ПАО «ФСК ЕЭС». Теперь рассмотрим деятельность выбранных энергосетевых компаний для анализа методов контроля и диагностики используемых в них.

ОАО «МРСК Урала», ОАО «МРСК Центра – Тамбовэнерго», ХП МЭС филиал ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «Ленэнерго» являются дочерними электросетевыми компаниями входящими в состав ПАО «Россети». Данные предприятия осуществляют транспортировку, распределение и передачу электроэнергии между субъектами Российской Федерации, регионами, городами и потребителями электрической энергии.

**ОАО «МРСК Урала».** Данное предприятие является единой операционной компанией, осуществляющей транспорт электроэнергии по электрическим сетям напряжением 0,4–220 кВ и технологическое присоединение потребителей к электросетям на территории Свердловской, Челябинской областей, а также Пермского края.

Сегодня ОАО «МРСК Урала» имеет в своем распоряжении:

- воздушные линии электропередачи напряжением 0,4-220 кВ общей протяженностью по цепям 127 025 км
- кабельные линии протяженностью 6103км электропередачи напряжением 0,4-110 кВ
- подстанции 35-220 кВ общей установленной мощностью 21 612 МВА в количестве 1042 шт.
- трансформаторные подстанции 6-20/0,4 кВ общей установленной мощностью 8 555 МВА количеством 30061 шт.

Стратегической задачей компании является консолидация сетевых комплексов муниципальных образований с сетями ОАО «МРСК Урала» для создания единого электросетевого пространства на территории присутствия компании.

**ОАО «МРСК Центра – Тамбовэнерго»**, с 31 марта 2008 входит в состав ПАО «МРСК Центра» Филиал ПАО «МРСК Центра» - «Тамбовэнерго» является крупнейшей ресурсоснабжающей организацией в Тамбовской области, флагманом региональной энергетики. В настоящее время в Тамбовской области реализуются крупнейшие инвестиционные проекты, направленные на развитие жилищного строительства, агропромышленного комплекса и социальной сферы. И тамбовские энергетики МРСК Центра вносят свою неоспоримую лепту в социально-экономическое благополучие региона.

Основные показатели предприятия:

- Общая протяженность линий электропередачи по трассе – 26 905,8 км
- Количество ПС-35-110 кВ – 207 мощность - 2 502,0 МВА
- Количество ТП 6-10/0,4 кВ – 6038, мощность - 1 060,5 МВА
- Объем переданной в 2014 г. электроэнергии - 2, 895 млрд кВтч

**Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» Хакасское ПМЭС**

Образовано 4 августа 1997 года для эксплуатации, ремонта и развития магистральных электрических сетей на территории Республики Хакасия. Место расположения: г. Саяногорск. В зону обслуживания Хакасского ПМЭС входят Республики Хакасия и Тыва, южные районы Красноярского края. В эксплуатации ПМЭС находится 3242,21 км линий электропередачи напряжением 110–500 кВ, 17 подстанций напряжением 110–500 кВ общей трансформаторной мощностью 6706,7 МВА.

**ПАО «Ленэнерго»** - одна из крупнейших распределительных сетевых компаний страны. С 2005 года, в результате реформы энергетической отрасли, основными функциями «Ленэнерго» являются передача электрической энергии по сетям 110-0,4 кВ, а также присоединение потребителей к электрическим сетям на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Сегодня «Ленэнерго» ставит перед собой две генеральные цели: надежное, качественное энергоснабжение потребителей и оперативное, недискриминационное технологическое присоединение к сетям.

Главные производственные задачи – повышение качества оперативного, ремонтного и межремонтного обслуживания оборудования, снижение технологических инцидентов в сетях 6-110 кВ, сокращение средней длительности ликвидации технологических нарушений.

Интеллектуальный и технологический потенциал компании позволяет активизировать применение новых технологий и технических решений при эксплуатации производственного оборудования, в том числе использовать современные средства диагностики.

ПАО «Ленэнерго» обслуживает емкий рынок – территорию Санкт-Петербурга и Ленинградской области площадью 85 347 тыс. кв. км, где проживает 6 982 млн человек (4,6% всего населения страны).

Количество подстанций ПАО «Ленэнерго»:

379 центров питания 35-110 кВ, в том числе: 210 подстанций 110 кВ; 169 подстанций 35кВ. 15 870 трансформаторных подстанций 6-10/0,4кВ.

Суммарная трансформаторная мощность – 23 139 МВА.

Протяженность воздушных линий по цепям – 40 709,5 км, в том числе: ВЛ 110 кВ - 479 шт. (7 132,5 км); ВЛ 35 кВ – 325 шт. (3 675,7 км); ВЛ 6-20 кВ – 2 102 шт. (17 634,1 км); ВЛ 0,4кВ – 16 818 шт. (12 267,2 км).

Протяженность кабельных линий – 21 176,6 км, в том числе: КЛ 35-110 кВ – 571,6 км; КЛ 0,4-10 кВ – 20 605 км. 8 филиалов 29 районов электрических сетей.

## **2.2 Анализ методов диагностики используемых в энергосетевых предприятиях**

Энергосетевые компании активно внедряют новые, современные методы для контроля электроэнергетического оборудования. Применения новых методов обоснованы тем, что современные условия эксплуатации требуют применения новых бесконтактных методов диагностирования оборудования под рабочим напряжением, простых, недорогих и оперативных. Рассмотрим на

примере выбранных энергосетевых компаний, какие методы применяются для контроля оборудования и какие новые методы внедряются и проанализируем их.

В ОАО "МРСК Урала" применяются методы диагностики электротехнического оборудования с использованием неразрушающих методов контроля. Согласно Положения технической политики, на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» применяются методы диагностики электротехнического оборудования с использованием неразрушающих методов контроля. Данные методы являются более прогрессивным по сравнению с разрушающими методами, более эффективными. Основные методы неразрушающего контроля изображены на рисунке 2.1.

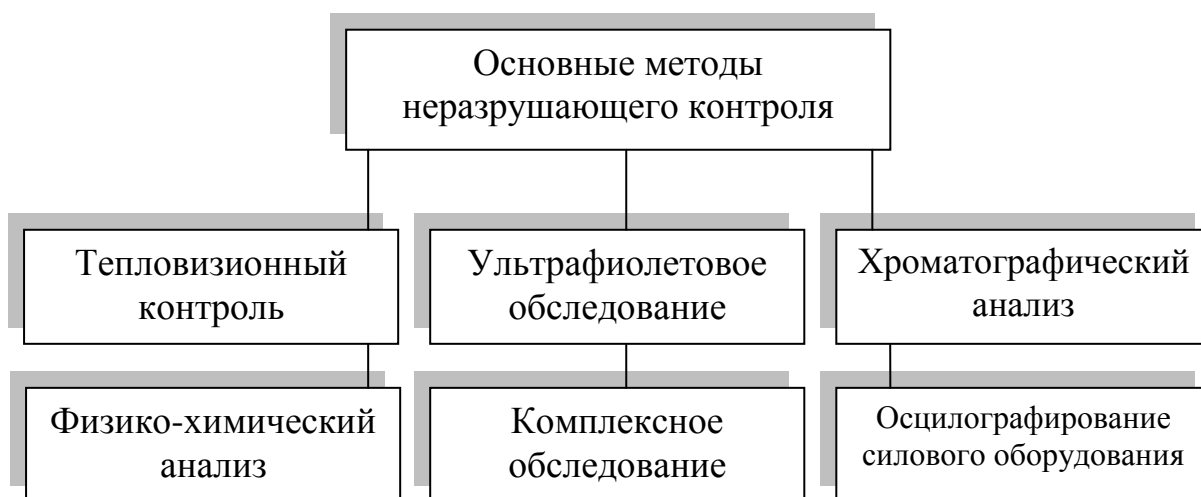


Рисунок 2.1 – Основные методы неразрушающего контроля

Так же на вооружении ОАО «МРСК Урала» используется портативная система обнаружения повреждения кабелей и тестирования высоким напряжением PFL40-2000 (Megger, Великобритания) поступила в опытную эксплуатацию в ПО "Западные электрические сети" филиала "Свердловэнерго" в апреле 2010 года. Система PFL40-2000 обеспечивает быстрое, эффективное, точное и безопасное определение места повреждения КЛ, в результате чего



перерывы в энергоснабжении потребителей сводятся до минимума и сокращаются объемы земляных работ.

Так же на ОАО «МРСК Урала» введены в работу передвижные электротехнические лаборатории для диагностики и испытания кабельных линий электропередачи SEBA KMT (Германия) в ПО "Челябинские городские электрические сети" филиала "Челябэнерго" и Intereng в ПО "Западные электрические сети" филиала "Свердловэнерго". В этих испытательных лабораториях реализованы все известные методы поиска повреждений кабельных линий, что позволяет определять повреждения любой сложности, а также многоуровневая система безопасности и трехфазная система подключения, которые гарантируют максимальную безопасность и удобство для персонала. Среднее время поиска повреждения теперь составляет всего 25-30 минут.

Так же огромным плюсом стало использование компактных тепловизоров для проведения обследования распределительных сетей 0,4 – 10 кВ, приборов для диагностики аккумуляторных батарей позволяет перейти на более высокий уровень эксплуатации и ремонта оборудования электрических сетей.

Внедрение и использование прогрессивной двухспектральной (со встроенными УФ- и видеоканалами) камеры DayCorII позволяет диагностировать опорно-стержневую и подвесную изоляцию 6-220 кВ. По производительности, наглядности диагностической информации УФ-метод имеет несомненные преимущества перед ультразвуковым, радиолокационным и другими методами функциональной дистанционной диагностики изоляторов контактной сети.

ОАО «МРСК Урала» активно внедряет новые методы контроля электротехнического оборудования. Новые методы имеют широкое распространение среди энергосетевых компаний, из-за своих более прогрессивных, сравнительно менее затратных и более оперативных методов работы [18].

ОАО «МРСК Центра – Тамбовэнерго» в настоящее время существует ряд традиционных методов определения качества трансформаторного масла, данные методы изображены на рисунке 2.2.

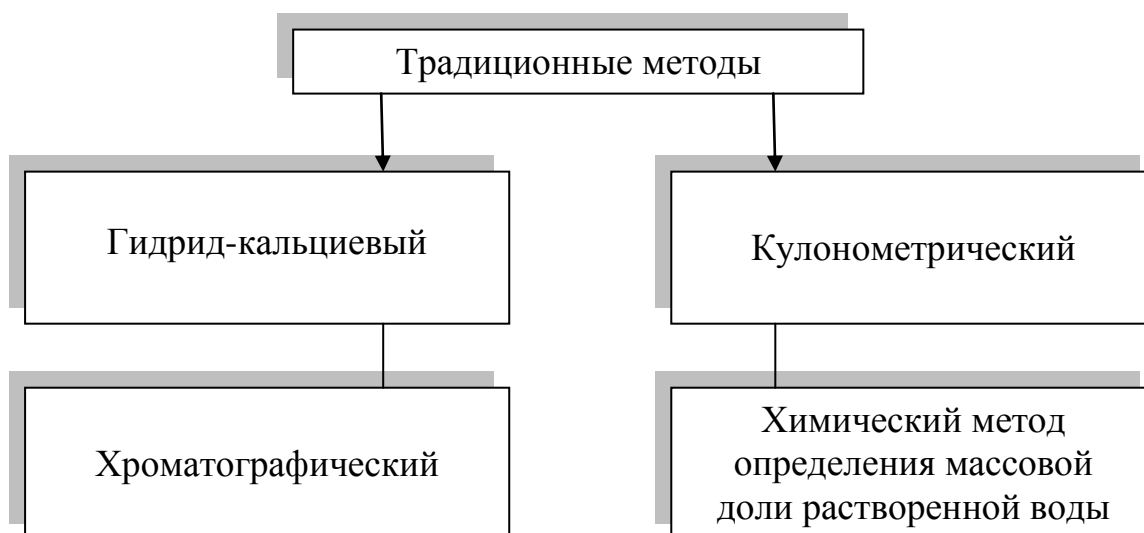


Рисунок 2.2 – Традиционные методы определения качества трансформаторного масла

Как показала практика использования выше перечисленных методов, самым наиболее простым и точным методом с небольшим количеством применяемых индикаторов и реагентов является химический метод определения влагосодержания масла.

Использование традиционных методов на предприятие «Тамбовэнерго» обосновывается тем, что процесс внедрения современных средств и приборов и методов контроля электрооборудования в региональной сетевой компании требует организации подготовительных работ в три этапа.

- Определение перечня диагностируемого оборудования и контролируемых параметров.
- Определение используемых и необходимых средств диагностики в зависимости от критичности состояния оборудования.
- Подготовка квалифицированного персонала.

Внедрение систем мониторинга и диагностики силовых трансформаторов имеет ряд преимуществ: мониторинг трансформатора в режиме 24 часа, оперативность обнаружения неисправностей и принятие решений по их устранению. Но стоимость системы мониторинга и ее монтажа такова, что на деньги, затрачиваемые на поставку и установку одной системы мониторинга, можно выполнить комплексное обследование до 4–8 трансформаторов [24].

По этой причине системами диагностического мониторинга целесообразно оснащать трансформаторы мощностью свыше 25 МВА с загрузкой более 50 %, установленные на крупных узловых подстанциях питающих ответственных потребителей. В этом случае стоимость установки системы мониторинга будет составлять не более 3–7 % от стоимости трансформатора.

По этой причине предприятие «Тамбовэнерго» придерживается традиционных методов.

Рассмотрим другие, современные методы неразрушающего контроля, изображенные на рисунке 2.3, используемые на предприятии «Тамбовэнерго»



Рисунок 2.3 – Современные методы используемые на предприятии «Тамбовэнерго»

К современным мобильным или переносным средствам диагностики электрооборудования относятся различные приборы неразрушающего принципа действия, например:

- отечественный прибор акустического контроля ПАК-3М с универсальным нагружающим устройством УКИ-1 для контроля опорно-стержневой изоляции, единственный экземпляр которого находится в службе подстанций Тамбовских электрических сетей;

- тепловизионные камеры для обследования нагрева контактных соединений оборудования в инфракрасном диапазоне. Например, совместная американо-шведская разработка Flir I 50. Данная модель используется в ПОЭС Моршанские электрические сети или китайского производства SAT 280 используется в лаборатории службы технической эксплуатации РСК «Тамбовэнерго»;

- безразборного контроля, т. н. приборы контроля выключателей серии ПКВ для измерения скоростных характеристик высоковольтных выключателей. Например, ПКВ/М используются в службе подстанций Тамбовских и Моршанских электрических сетей;

- измерители для измерения сопротивления цепи «фаза-ноль», например «Поиск» и «Квант», которые применяются в различных службах и РЭС всех ПОЭС или более современный ИФН-200 применяется в службе .

Мобильные средства в составе передвижных электролабораторий. К данным средствам относятся, современные высоковольтные блоки измерения тангенса диэлектрических потерь и емкости, например БВН-2П, МЭП-4СА и др. А также высоковольтные автоматические мосты переменного тока для измерения сопротивления параметров твердой высоковольтной изоляции, например «Вектор-2.0М», Тангенс- 2000 и СА-7100. Мост СА-7100 применяется в составе передвижных электролабораторий в ПОЭС ТЭС и МоЭС [19].

**ХПМЭС филиал ПАО «ФСК ЕЭС»** в настоящее время на предприятии Хакасское ПМЭС используется ряд новых методов, контроля электротехнического оборудования, такие как тепловизионный контроль, хроматографический анализ, системы мониторинга силового оборудования «Hydran M2». Метод частичных разрядов, контроль изоляции вводов КИВ 500. Температурный мониторинг трансформаторов АТМ 35. Методы тепловизионного контроля и системы мониторинга используются только на подстанциях ПС 220кВ Означенная-районная, ПС 500кВ Означенное и ПС 500кВ Алюминиевая.

В ПАО «Ленэнерго» уже активно применяются современные методы контроля и диагностики электротехнического оборудования. Рассмотрим применение методов диагностики высоковольтных линий (ВЛ) на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – методы диагностики высоковольтных линий

В августе 2014 года на предприятии были приобретены инновационные ультрафиолетовые оптические камеры OFIL DayCor Superb и DayCor Ranger

- DayCor Superb профессиональное портативное устройство обнаружения коронных разрядов и электрической дуги в условиях дневного

освещения для повышения качества и рационализации технического обслуживания.

- *DayCor Ranger* предназначена для обнаружения коронных разрядов и электрической дуги при автомобильной инспекции длинных линий электропередач с большого расстояния и выполняет видеозапись высокого разрешения удаленных объектов с высоким отношением сигнал-фон.

И уже в период с 15 сентября по 15 октября была проведена ультрафиолетовая диагностика воздушных линий ЛЭП и оборудования ПС, которые наиболее подвержены загрязнению из-за расположенных вблизи автодорог ЗСД и КАД.

Как практика применения выше указанных приборов было выявлено: 48 дефектов изоляции ВЛ в т.ч. точки технических потерь электроэнергии. 17 дефектов оборудования и точек технических потерь электроэнергии в сети.

Применение современных методов диагностики кабельных линий (КЛ).



Рисунок 2.5 – Щадящие и неразрушающие методы испытаний и диагностики

Данные методы позволяют получать информацию не только о текущем состоянии изоляции, не снижая эксплуатационных характеристик КЛ, но и рационально и обоснованно планировать проведение ремонтов и замену КЛ по их фактическому техническому состоянию, а также снизить количество аварийных повреждений КЛ.

В целях уменьшения случаев повреждений кабелей и кабельных муфт 6-35 кВ при планово-профилактических испытаниях, и, соответственно, уменьшения затрат на проведение ремонтных работ кабельных линий, в ПАО «Ленэнерго» были разработаны «Объем и нормы щадящих и неразрушающих методов испытания и диагностики кабельных линий 6-110 кВ», введенные в действия приказом Генерального директора ПАО «Ленэнерго» №313 от 20.07.2010г. и приказ №47 «О проведении высоковольтных испытаний в процессе эксплуатации» от 31.01.2013г. Так же ПАО «Ленэнерго» применяет современные методы по контролю силового оборудования.

Рассмотрим какие современные методы контроля и диагностики силового оборудования применяются в ПАО «Ленэнерго», методы представлены на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Современные методы диагностики силового оборудования

Методы контроля силового оборудования, являются новыми, которые ПАО «Ленэнерго» вводит в работу. Так же ПАО «Ленэнерго» уже разработала и утвердила производственную инструкцию ТВК-1 «О порядке проведения тепловизионного контроля (ИК-диагностики) электрооборудования.

И уже в процессе разработки/согласования находятся следующие документы:

- Производственная инструкция замеру и расчету емкостных токов замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ

- Производственная инструкция по порядку проведения ультрафиолетовой диагностики
- СТО «Требования к устройствам мониторинга технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов 35-110 кВ»

Так же в работу была введена Мобильная универсальная лаборатория испытаний и диагностики кабельных линий и подстанций. Лаборатория предназначена для проведения комплекса работ по оценке технического и эксплуатационного состояния силовых трансформаторов и другого подстанционного оборудования в соответствии с действующими нормами эксплуатации данного оборудования. Ниже на рисунке 2.7. отображены основные функции, выполняемые мобильной лабораторией, по диагностике силового оборудования [20].

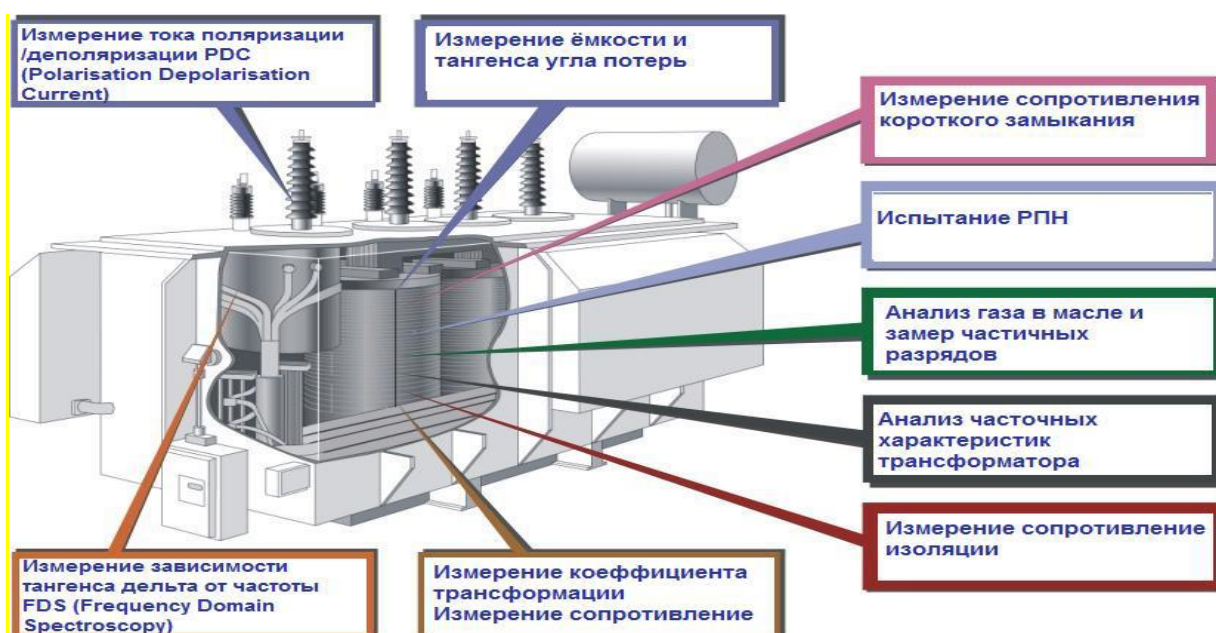


Рисунок 2.7 – Диагностика силового оборудования

Проанализировав, какие основные методы используются на выбранных энергетических предприятиях, сведем все данные в общую схему, рисунок 2.8.



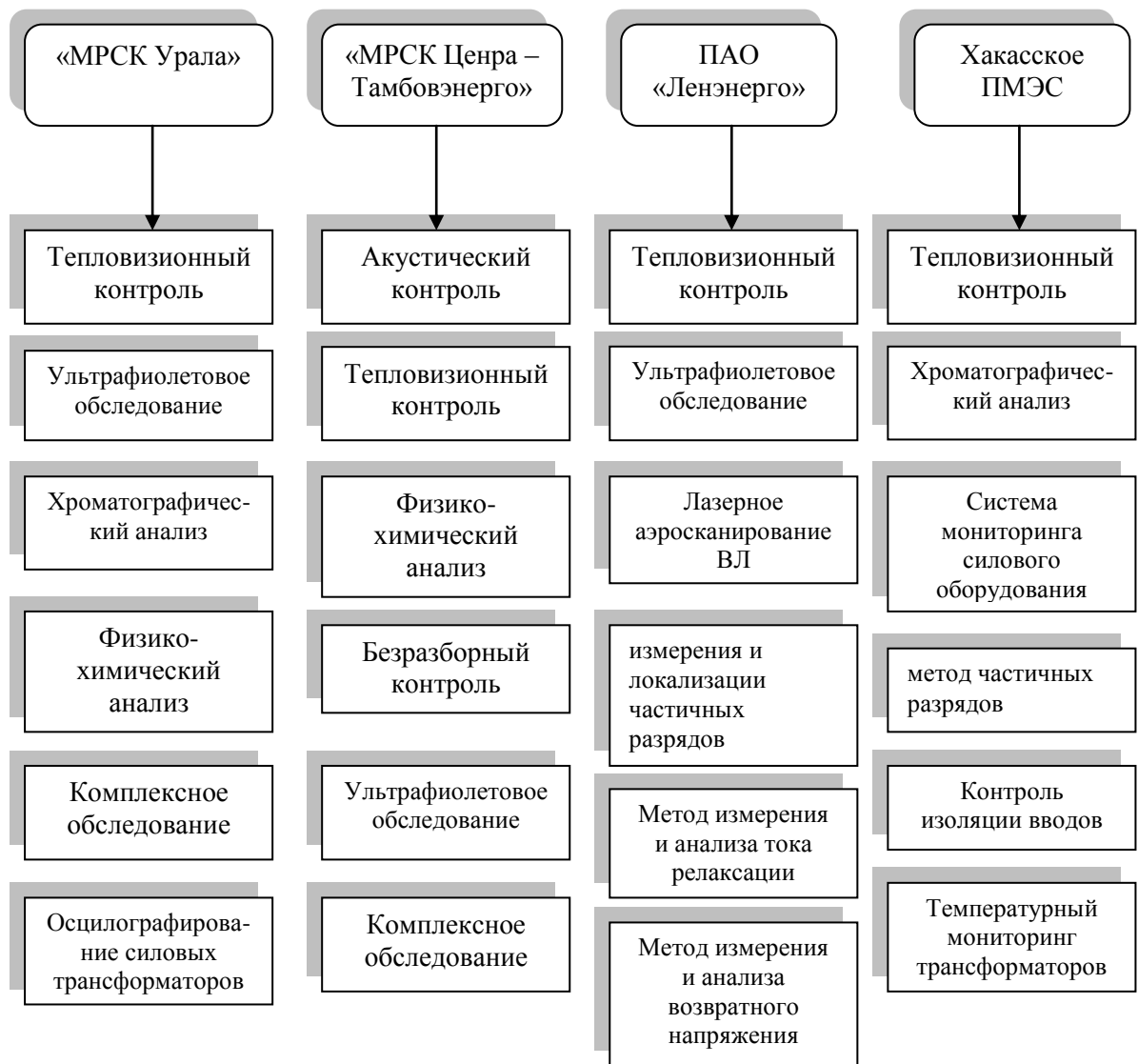


Рисунок 2.8 – Методы используемые в электросетевых компаниях

Как видно из схемы у выбранных предприятий, схожи методы тепловизионного контроля, ультрафиолетового обследования, хроматографический анализ, физико-химический анализ и комплексное обследование. Самым распространенным, современным, методом является тепловизионный контроль. Также в купе с ультрафиолетовым контролем позволяют выявлять начинающиеся повреждения электрооборудования. Это очень важно для сокращения расходов на ремонты и является шагом от проведения ремонтов в соответствии с планами ППР к ремонтам по фактическому состоянию оборудования. Диагностика в ультрафиолетовом

диапазоне позволяет определять места наличия коронных разрядов на ВЛ, ОРУ, электрооборудовании.

Наличие коронных разрядов является начальной стадией развития процесса повреждения оборудования. Теперь проведем анализ современных методов, и сведем их в таблицу .

Таблица 2.2 – Современные методы

Параметр	Методы			
	Тепло- визионный	Ультра- фиолетовый	Хромато- графический	Система мониторинга трансформаторов
1	2	3	4	5
оперативность обнаружения неисправности	+	+		+
простота использования	+	+	+	+
мобильность	+	+		
точность	+	+	+	+

### 3 Практическая часть

#### 3.1 Тепловизионный контроль

Методы тепловизионного контроля все больше находят применение на энергетических предприятиях, это объясняется тем, что данный метод обладает простотой использования. В свою очередь, метод тепловизионного контроля обладает рядом преимуществ:

- для контроля электротехнического оборудования не требуется большое количество персонала, достаточно одного специалиста.
- производить проверку можно в любое время, что самое важное не выводя оборудование из работы.
- обнаружение процесса разрушения в начальной стадии, это относится как к высоковольтным линиям, так и к силовому оборудованию.

Все преимущества позволяют оперативно выявить и исключить прогрессирующее развитие процесса разрушения изоляции и контактных соединений оборудования, и тем самым повысить надежность работы оборудования, и соответственно сократить расходы на ремонт. Для контроля температуры используется тепловизор, габаритами не более обычной бытовой видеокамеры, что в свою очередь повышает мобильность и простоту использования.

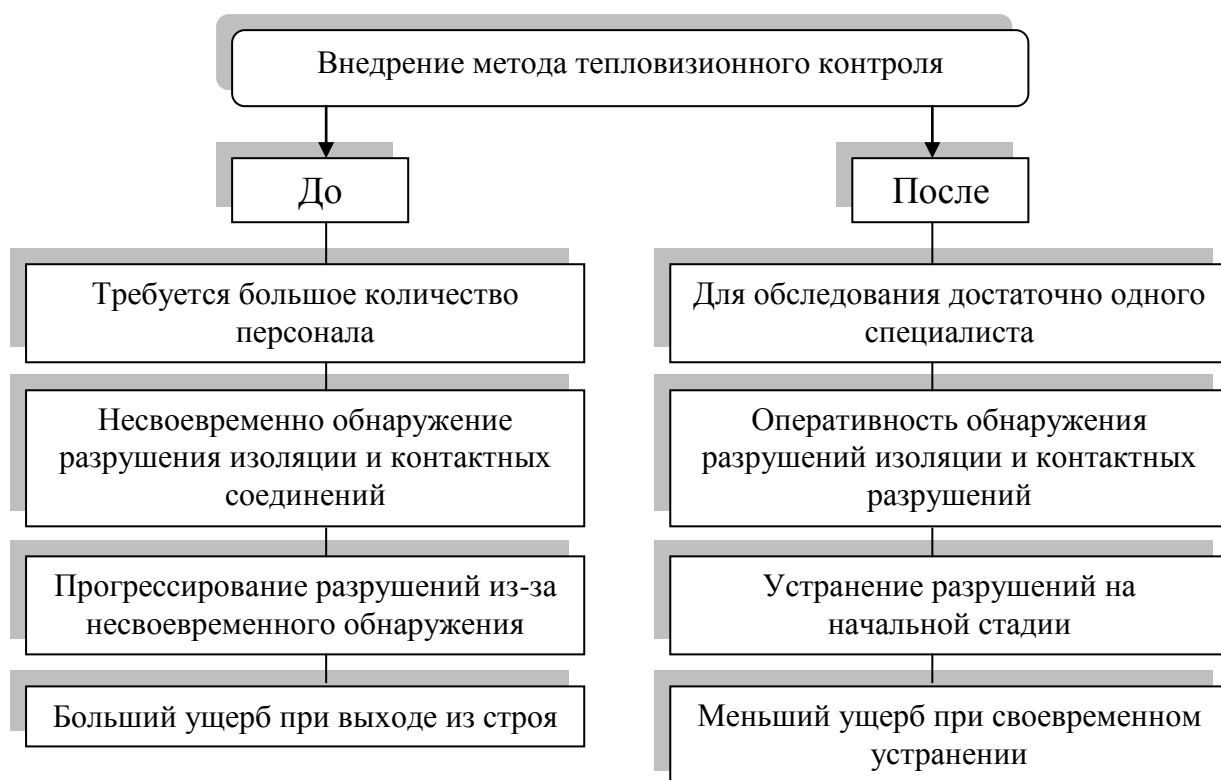


Рисунок 3.1 – Внедрение метода тепловизионного контроля.

Приведем пример внедрения тепловизионного оборудования на примере высокочастотного (ВЧ) заградителя.

Время обследования высокочастотного заградителя согласно планово-предупредительного ремонта (ППР) 6 лет. Остальное время высокочастотный заградитель не диагностируется. Проблема постоянной диагностики заключается в том, что заградитель находится на достаточно высокой высоте, около 16 метров. Добраться до ВЧ заградителя можно только с помощью автовышки и с выводом линии из работы, что соответственно влечет за собой убытки и недоотпуск энергии.

Внедрив метод тепловизионного контроля, можно исключить все выше перечисленные проблемы, т.к. обследование происходит с безопасного расстояния, оборудование не нужно выводить из работы и обнаружение разрушений происходит быстрее, чем наступит график ППР.

Теперь рассмотрим экономическую составляющую. Стоимость тепловизора с диапазоном измеряемых температур от  $-20$  до  $+600$  °С составляет около 460 000 руб. [21]. Срок окупаемости тепловизора будет большим, т.к. все выявленные разрушения с помощью тепловизора устраняются в начальной стадии и с наименьшим количеством затрат на ремонт. Данный вид контроля повышает надежность работы электротехнического оборудования, что в свою очередь снижает риски отключения оборудования из-за разрушений изоляции и контактных разрушений. Так же метод тепловизионного контроля тесно перекликается с методом ультрафиолетового контроля.

### **3.2 Ультрафиолетовый контроль**

Существенным достоинством применения ультрафиолетового контроля (УФК) является то, что при обследовании не требуется наличие токовой нагрузки токоведущих частей, чтобы выявить дефект. Для проведения контроля достаточно, чтобы оборудование находилось под рабочим напряжением. Все

обследование проводится без отключения оборудования в обычном рабочем режиме.

Данный метод хорошо себя зарекомендовал при обследовании линий при наладке, т.е. при вводе в эксплуатацию. Особенно в условиях повышенной влажности. При неправильной сборке (выступающие острые края, фланцы, недостатки монтажа и т.п.) наблюдается корона на токоведущих частях. Это явление не вызвано дефектами. Используя этот метод, все ошибки при сборке выявляются и исправляются. Для повышения эффективности выявления дефектов по результатам ультрафиолетового контроля целесообразно проводить обследование совместно с тепловизионным контролем. В случае если тепловизионный контроль подтверждает наличие дефекта, выявленного ультрафиолетовым контролем, то это означает, что дефект существенно развился. Эти методы друг друга дополняют, и их совместное использование позволяет обследовать практически любое оборудование, для выявления неисправностей и разрушений.

Преимущества применения ультрафиолетовой диагностики изображены на рисунке 3.2

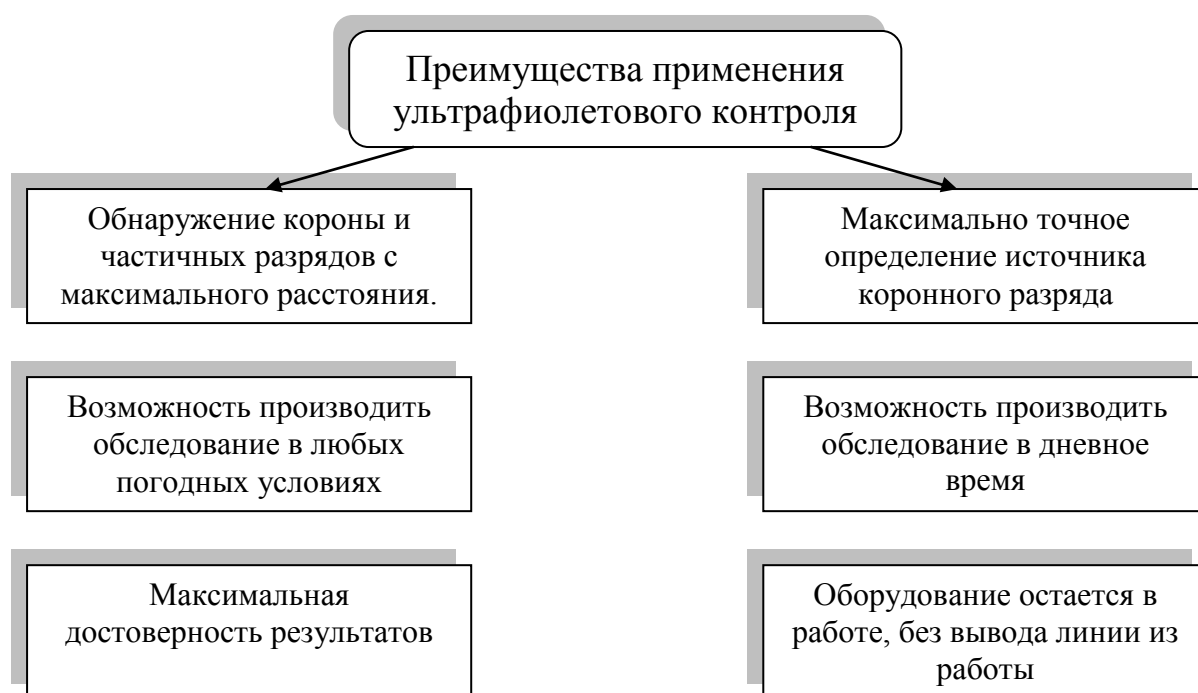


Рисунок 3.2 – Преимущества применения ультрафиолетовой диагностики

Окупаемость данного оборудования является так же долгосрочной, но при этом повышается надежность работы всего электротехнического оборудования. Что в свою очередь сказывается на затратах по устранению неисправностей, выгоднее устранить неисправность в начальной стадии, чем в развившейся и приводящей к аварийному отключению, влечет за собой недоотпуск электрической энергии и прочих расходов.

Рассчитаем стоимость диагностики выездными бригадами и аэро сканирование. В среднем аэро сканирование стоит 60000 рублей. За 1 час при работе выездной бригады в день на одного человека выделяется 750 рублей, затраты на топливо автомобиля УРАЛ на одну поездку составляет 14000 рублей. Количество персонала в выездной бригаде 3 человека, из них водитель и 2 человека командированного персонала. (3.1)

$$\text{Расход} = (3 \cdot 750) + 14000 = 16250 \text{ рублей.} \quad (3.1)$$

Из расчетной формулы видно, что расход на выездную бригаду для диагностирования высоковольтных линий выходит в 3 раза дешевле, чем аэросканирование. Что в свою очередь позволяет провести 3 сканирования. Следовательно, высоковольтные линии целесообразно обследовать оперативно выездными бригадами на автомобилях повышенной проходимости. Применение аэросканирования не целесообразно, стоимость аренды вертолета варьируется в районе 60 000 рублей в час, затраты на выездную бригаду составляет 16250 руб.

### **3.3 Системы мониторинга трансформаторов**

Трансформаторы являются одними из наиболее важных и дорогих компонентов электрических сетей, поэтому для надежной работы сети крайне важно знать их техническое состояние. Под действием избыточных нагрузок в

системе изоляции трансформаторов вырабатываются газы, которые растворяются в масле. Анализ растворенных в масле газов (DGA) признан как один из наилучших способов раннего обнаружения развивающихся неисправностей.

Системы мониторинга силовых трансформаторов Hydran M2 является устройством непрерывного контроля концентрации растворенных газов и влаги в масле, предупреждающим персонал в режиме реального времени о появлении и развитии дефектов в трансформаторе. Прибор является интеллектуальной (основывающейся на применении микропроцессора) системой контроля в реальном времени, которая измеряет уровень (концентрацию) горючих газов и влагосодержания в трансформаторном масле для оценки опасных состояний в трансформаторах (или в любом другом маслonaполненном электрооборудовании). Устройство отслеживает ключевые параметры состояния трансформатора и снижает до минимума риск незапланированных простоев. Первичный измерительный преобразователь системы HYDRAN M2 оснащается детектором (обнаружителем) присутствия газа, чувствительным к четырем газам: водороду, угарному газу, ацетилену и этилену, которые являются основными индикаторами зарождающихся отказов в маслonaполненном электрооборудовании.



Рисунок 3.3 – Преимущества системы мониторинга

Стоимость системы мониторинга и ее монтажа такова, что на средства, затрачиваемые на поставку и установку одной системы мониторинга, можно выполнить комплексное обследование до 4–8 трансформаторов. По этой причине системами диагностического мониторинга целесообразно оснащать трансформаторы мощностью свыше 25 МВА с загрузкой более 50 %, установленные на крупных узловых подстанциях питающих ответственных потребителей. Стоимость установки системы мониторинга будет составлять не более 3 % от стоимости трансформатора.

Стоимость одной системы мониторинга варьируется около 1600 тыс. рублей. Стоимость трансформаторов 20 МВА – 59489,82 тыс.руб., 40 МВА – 89234,731 тыс.руб., 125 МВА – 248246,239 тыс.руб. [22]. Установка обоснована тем, что стоимость системы диагностики должна составлять не более 3% от стоимости трансформатора, но ее применение повышает надежность работы трансформатора, обнаруживая неисправности в начальной стадии. Это позволяет своевременно вывести трансформатор из работы и произвести контроль и устранение причин неисправности, прибегая к минимальному количеству затрат.

Без использования данной системы прогресс неисправности может достичь критического уровня, что выведет трансформатор из работы и приведет к его поломке, что соответственно приведет к дополнительным расходам на новый трансформатор. Выход трансформатора из строя приведет к потерям электроэнергии и обусловит недоотпуск энергии в случае аварии.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы дали оценку применения современных методов контроля и диагностики электротехнического оборудования, так же были даны практические рекомендации по их применению.

По итогам выполнения данной бакалаврской работы можно сделать следующие основные выводы: в настоящее время сложилась тенденция «старения» электротехнического оборудования, что требует более точного и оперативного контроля и диагностики этого самого оборудования. Новые методы рекомендованные к использованию в данной выпускной квалификационной работе удовлетворяют всем современным требованиям. Методы тепловизионного, ультрафиолетового контроля и системы мониторинга силовых трансформаторов обеспечивают контроль и диагностику практически любого электротехнического оборудования. Своевременно выявляя неисправности в начальной стадии. Использование этих методов позволяет оперативно принимать решения по устранению неисправностей, что приводит к уменьшению затрат на устранение.

Исследования имеют практическую значимость. Практические рекомендации по их использованию могут быть применены в электросетевых компаниях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : справочник. / Ящура А. И. – М. : Энас, 2012. – 95 С.
2. Цель и основные задачи технической диагностики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.studfiles.ru/preview/949281/page:13/> (Дата обращения 23.03.2017 ) Загл. с экрана
3. Вдовико, Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения / Веников В. П. // Электричество, № 2. 2010. С. 14 – 20.
4. Чичев, С. И., Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций. / Калинин В. Ф., Глинкин Е. И. – М. : Спектр, 2011. – 139с.
5. Захаров, О. Г. Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах. М. : НТФ Энергопресс // Энергетик, 2010. С. 96.
6. Хренников, А. Ю., Сидоренко М. Г. Тепловизионное обследование электрооборудования подстанций и промышленных предприятий и его экономическая эффективность // Рынок Электротехники. – 2009. № 2 (14). – С. 96 – 100.
7. Сидоренко, М. Г. Тепловизионная диагностика как современное средство мониторинга [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.centert.ru/articles/22/> (дата обращения: 20.03.2017). Загл. с экрана.
8. Диагностика кабелей с СПЭ [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.cabetl.ru/articles/02/> (Дата обращения 23.03.2017) Загл. с экрана
9. Криксунов, Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%a2%](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%a2%a0) (Дата обращения 18.04.2017) Загл. с экрана
10. Ультрафиолетовая диагностика электрической изоляции [ Электронный ресурс ]. – URL: <https://worldofmaterials.ru/spravochnik/tests/267-ultrafioletovaya-diagnostika-elektricheskoy-izolyatsii> (Дата обращения 25.04.2017) загл. с экрана

11. Жидкие диэлектрики [Электронный ресурс]. – URL: <http://sermir.narod.ru/tryd/Posob/jiddiel.htm> (Дата обращения 29.04.2017) загл. с экрана
12. Системы мониторинга трансформаторов [Электронный ресурс] // URL:[http://www.pergam.ru/catalog/electrical\\_equipment/monitoring\\_transformers/Нудран.htm](http://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/monitoring_transformers/Нудран.htm) (Дата обращения 01.05.2017) загл. с экрана
13. О компании [Электронный ресурс] // ПАО «Россети». – URL:<http://www.rosseti.ru/about/company/> (Дата обращения 12.04.2017)
14. ПАО «ФСК ЕЭС» о компании [Электронный ресурс] // ПАО «Россети». URL:[http://www.rosseti.ru/about/sites/index.php?ELEMENT\\_ID=12336](http://www.rosseti.ru/about/sites/index.php?ELEMENT_ID=12336) (Дата обращения 03.04.2017) загл. с экрана
15. Кадровая политика [Электронный ресурс] // ПАО «Россети» . – URL:<http://www.rosseti.ru/about/hr/> (Дата обращения 13.04.2017) загл. с экрана
16. О компании ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс] // ПАО «ФСК ЕЭС». – URL:<http://www.fsk-ees.ru/about/> (Дата обращения 14.04.2017) загл. с экрана
17. Силин, Н.В. Электромагнитный способ оценки технического состояния оборудования [Электронный ресурс] // промышленная энергетика. – URL:<http://www.transform.ru/articles/html/06exploitation/expl000057.article> (Дата обращения 24.04.2017)
18. Диагностика электрооборудования [Электронный ресурс]. – URL:<https://www.mrsk-ural.ru/investments-innovations/technical-policy/diagnostics/> (Дата обращения 25.04.2017) загл. с экрана
19. Чичев, С. И. Современные средства и методы контроля оборудования в Центра – Тамбовэнерго // Вестник ТГУ,- Тамбов: ТГУ, Т.15, №2, 2010. С.609-613.
20. Применение современных методов диагностики электрооборудования ОАО «Ленэнерго» [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/Conference/chernecov.pdf> (Дата обращения 29.04.2017) загл. с экрана

21. Тепловизор Flir 600 [Электронный ресурс] // АО «Пергам инжиниринг». –URL:[http://www.pergam.ru/catalog/thermal\\_imagers/diagnostic/flir-t600.htm](http://www.pergam.ru/catalog/thermal_imagers/diagnostic/flir-t600.htm) (Дата обращения 25.04.2017) загл. с экрана

22. Система мониторинга трансформаторов Hydran M2 [Электронный ресурс] // АО «Пергам инжиниринг». – URL:[http://www.pergam.ru/catalog/electrical\\_equipment/monitoring\\_transformers/Hydran.htm](http://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/monitoring_transformers/Hydran.htm) (Дата обращения 25.04.2017) загл. с экрана

23. Повышение достоверности ультрафиолетовой диагностики изоляции контактной сети/ Железнов Ф.Д., Плотников Ю.И., Акулов В.А. и др. – Железные дороги мира – 2011, №4 – с. 60-68.

24. Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.tuvaenergo.ru/about/docs/Polozhenie%20ОАО%20Rosset.pdf> (Дата обращения 13.04.2017) Загл. с экрана

25. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие,; допущено МО Республики Беларусь / Н.В. Грунтович. – Минск: Новое знание, 2013, - 271 с. – (Высшее образование, бакалавриат)

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземпляре.

Библиография 25 наименований.

Электронный экземпляр сдан на кафедру.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.  
(дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Бурганов В.В.  
(ФИО)