**Лекция 3 [1]**

**СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ**

Надежность оборудования определяется его конструкцией и качеством изготовления. Однако в ходе эксплуата­ции из-за процессов старения материалов и внешних воздействий на­дежность оборудования снижается. Создание электрооборудования, показатели надежности которого за весь период эксплуатации не ста­нут ниже допустимых, - задача достаточно трудная и в значитель­ном числе случаев экономически нецелесообразная. Поэтому в ходе эксплуатации оборудования необходимо проведение работ по поддер­жанию требуемого технического состояния.

В условиях эксплуатации необходимо обеспечивать как минимум работоспособное состояние. Это возлагается на систему технического обслуживания (ТО) и ремонтов. Основное содержание ТО - контроль за состоянием оборудования и собственно обслуживание, т. е. поддер­жание исправности или работоспособности (чистка, смазка, регулиров­ка и т. п.). Задача ремонта - восстановление исправности или работо­способности.

Значения диагностических параметров, определенные при испыта­ниях, характеризуют техническое состояние объекта в данный мо­мент времени. Для отнесения объекта к соответствующей группе сос­тояний необходимо установить предельные значения параметров; эти значения и являются признаками дефекта. При периодическом контроле необходимо также учитывать скорость развития дефекта, чтобы неработоспособное состояние не наступило ранее следующего контроля. Поэтому браковочное значение параметра обычно ниже предельного, устанавливаемого как граница работоспособного состо­яния объекта.

Диагностирование может быть функциональным (на объект посту­пают только рабочие воздействия) и тестовым (при подаче специаль­ных воздействий). Соответственно строятся и средства диагностиро­вания: для функционального диагностирования это в основном изме­рительные устройства; для тестового диагностирования, кроме того, необходим источник тестовых воздействий.

Эксплуатационный контроль оборудования является системой определения его технического состояния. На ос­новании полученных при контроле данных принимается решение о допустимости дальнейшей эксплуатации оборудования или о необхо­димости и объеме ремонта. Система эксплуатационного контроля должна обеспечить выявление и идентификацию дефектов (собствен­но диагностирование), а также прогнозирование их развития.

Необходимый объем испытаний определяется исходя из конструк­ции оборудования и возможных его дефектов. Как правило, основ­ным при этом является опыт эксплуатации. Периодичность контроля определяется скоростью развития дефектов, устанавливаемой рядом повторяемых испытаний или на основании других данных. Основным при принятии решения о дальнейшей эксплуатации объекта являются результаты диагностирования и прогнозирования, ибо при этом выяв­ляются характер дефекта и опасность его развития.

В дальнейшем термином контроль будем определять всю совокуп­ность процедур, необходимых для принятия решения по обеспечению нормальной эксплуатации оборудования.

В наибольшей степени требованиям эксплуатации соответствует контроль по прогнозирующему параметру. Предполагается, что имеет­ся наблюдаемый параметр объекта, который прогнозирует его отказ, т. е. между вероятностью наступления отказа в определенном интер­вале времени после момента контроля и значением параметра имеет­ся стохастическая (т.е случайная, вероятностная) связь. Достоверность прогнозирования зависит от того, насколько тесна эта связь.

Создание системы контроля оборудования, основанной на прогно­зе надежности, возможно лишь в случае, если для каждого вида обо­рудования будут выявлены прогнозирующие параметры, определе­ны их предельно допустимые значения и разработаны методы их из­мерения в условиях эксплуатации.

Диагностирование дает данные о состоянии объекта в момент конт­роля, т. е. дает точечную оценку. Для прогнозирования необходимо знание процесса изменения технических характеристик. Проводя ди­агностирование достаточно часто или использовав данные за длитель­ный период, можно накопить сведения, необходимые для оценки хо­да и тенденций изменения параметров объекта, и при осторожной их экстраполяции получить информацию для прогнозирования. Это и используется в практике эксплуатационного контроля, так как за­ключение о техническом состоянии оборудования всегда делается не только по значениям контролируемых параметров, но и с учетом характера их изменения.

Достоверность оценки надежности оборудования по результатам диагностирования не всегда достаточна. Для некоторых видов обо­рудования пределы значений диагностических параметров, характе­ризующие область работоспособности, с достаточной достоверностью не установлены. Отказ современного мощного оборудования часто со­пряжен с большими экономическими потерями. Поэтому реально реализуемая система эксплуатационного обслуживания оборудова­ния высших классов напряжения ориентирована на поддержание практически неизменного технического состояния, хотя это требует повышенных трудозатрат и не является экономически оптимальным. При этом ТО и ремонты проводятся в заданные сроки независимо от их реальной необходимости.

Соответственно построена система контроля: с жестко регламенти­рованными объемом и периодичностью испытаний и узкими допуска­ми на изменение значений параметров. Кроме того, традиционная система контроля не включает в себя ряд новых методов диагности­ки, позволяющих обнаружить дефекты, ранее не выявляемые.

Переход к новой стратегии технического обслуживания оборудо­вания - по его состоянию - требует значительного повышения эф­фективности контроля. На систему диагностики при этом возлагает­ся еще одна задача - определение необходимости отключения объ­екта. Следовательно, современная система диагностики должна в первую очередь быть системой раннего выявления развивающихся дефектов.

Для создания эффективной системы эксплуатационного контроля электрооборудования необходимо:

- обобщить и проанализировать опыт эксплуатации, выявить дефек­ты, приводящие к отказам, причины их возникновения и ход разви­тия;

- определить наблюдаемые характеристики (параметры) оборудова­ния, изменение которых связано с возникновением и развитием де­фектов;

- выявить связи между значениями параметров и техническим сос­тоянием оборудования; установить предельные значения параметров, характеризующие переход объекта в другой класс технических сос­тояний;

- разработать методы измерения этих параметров в условиях эксп­луатации, выявить источники помех, определить реально выявляе­мые изменения параметров (чувствительность метода измерения);

- исходя из взаимосвязи изменений совокупности наблюдаемых па­раметров и технического состояния оборудования, определить объ­ем и периодичность испытаний, а также их последовательность (ал­горитм контроля);

- установить критерии браковки, учитывающие всю совокупность наблюдаемых изменений технического состояния, оценку их тенден­ций и условий эксплуатации.

Повреждения по характеру их развития можно разбить на следую­щие основные группы:

- повреждения, при которых переход из исправного (работоспособ­ного) состояния в неработоспособное (отказ) происходит очень быст­ро (мгновенный отказ);

- локальные повреждения (дефекты), которые развиваются до отка­за в течение нескольких суток или месяцев;

- повреждения (дефекты) с длительным периодом развития до не­скольких лет, которые можно рассматривать как процесс ускоренно­го старения.

В первом случае контроль с целью выявления дефектов невозмо­жен. Это область действия защиты сети от развития повреждений.

При быстро развивающихся локальных дефектах необходимы автома­тизированные системы диагностики, обеспечивающие непрерывный или достаточно частый контроль. В третьем случае достаточен перио­дический контроль.

**Контроль оборудования без отключения.** Большинство методов контроля оборудования без вывода его из работы, под напряжением развито сравнительно недавно. Не все они широко применяются в системе диагностики, хотя уже ясно, что использование таких мето­дов существенно повышает эффективность контроля и открывает возможность его автоматизации. Кроме того, снижаются трудозатра­ты на проведение испытаний и улучшаются условия труда персонала.

Контроль оборудования без отключения можно вести, проводя ана­лизы периодически отбираемых проб, а также измеряя характеристи­ки объекта в процессе его функционирования. Развитие получили методы измерений характеристик изоляции оборудования при рабо­чем напряжении на нем, а также контроль проб изоляционного масла.

Повышение эффективности контроля обеспечивается за счет увели­чения частоты испытаний, так как при этом повышается вероятность своевременного обнаружения дефектов, а также появляется воз­можность выявления зависимостей наблюдаемых параметров от вре­мени, температуры и т. п., которые обладают большей информатив­ностью по сравнению с точечными оценками. Кроме того, использует­ся ряд эксплуатационных факторов, позволяющих повысить чувст­вительность методов контроля (например, обнаружение увлажне­ния изоляции путем измерений при повышенной температуре, выяв­ление частичных разрядов при рабочем напряжении и т. п.).

Снижение трудоемкости контроля обеспечивается применением стационарных схем измерений и отсутствием необходимости в подго­товке объекта к испытаниям. Улучшение условий труда определяет­ся снижением объема работ, проводимых в зоне высокого напряже­ния на месте установки оборудования, а также безопасностью стацио­нарных измерительных систем.

Автоматизация измерений и анализов обеспечивает не только сни­жение объема работ персонала и возможность непрерывного конт­роля. Принципиальным отличием такой системы контроля является возможность передачи соответствующему устройству значительной части функций собственно диагностики, т. е. функций идентификации дефектов и оценки технического состояния объекта. Такими возмож­ностями обладают диагностические системы на базе ЭВМ. Эти системы могут проводить измерения и математическую обработку получен­ных данных с целью снижения помех, анализ результатов измерений и сравнение их с нормами. При необходимости автоматическая сис­тема диагностики меняет тактику (алгоритм) контроля (периодич­ность измерений, способ оценки их результатов) и выдает оператору сообщение вместе с протоколом, содержащим данные для принятия решений по эксплуатации данного объекта.

Возможны два способа организации контроля оборудования под напряжением:

- ранняя диагностика, т. е. выявление признаков ухудшения техни­ческого состояния, вызывающих изменения значений контролируе­мых параметров;

- сигнализация предельных состояний, т. е. выявление признаков ухудшения технического состояния, являющихся опасными с точки зрения надежности оборудования.

Оба способа взаимно дополняют друг друга, обеспечивая возмож­ность выявления тенденций и скорости изменения диагностических параметров, а также своевременное получение сигнала об опасности отказа оборудования. Это позволяет лучше планировать ремонты обо­рудования и при необходимости производить срочное отключение объектов, находящихся в предаварийном состоянии.

**ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ**

**Ошибки контроля.** Целью контроля в общем случае является опре­деление технического состояния объекта и прогноз его изменения, а также выявление дефектов и определение их характера. В резуль­тате должна быть установлена возможность дальнейшей эксплуата­ции объекта или необходимость его ремонта (восстановления).

Ошибки контроля связаны с достоверностью метода диагностики и ошибками испытаний (измерений).

Применяемые методы диагностики не обеспечивают полной до­стоверности оценки состояния объекта. Результаты измерений вклю­чают в себя ошибки, определяемые погрешностями приборов и влия­нием помех. Поэтому всегда существует вероятность получения лож­ного результата контроля:

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

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

Графически формирование результата при таком контроле показа­но на рис. 1, где заштрихованные площади соответствуют вероят­ностям получения недостоверных результатов (ошибок первого и второго рода).

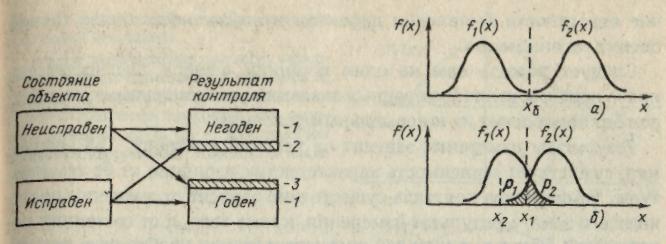


Рис. 1. Формирование результата при двухальтернативном контроле:

1— достоверный результат; *2* — ошибка первого рода (ложный дефект); 3 — ошибка вто­рого рода (необнаруженный дефект)

Рис. 1. Возникновение ошибки из-за несовершенства метода контроля

Ошибки контроля 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.

Достоверность метода диагностики определяется степенью связи технического состояния объекта с отображающими его пара­метрами. Как правило, эта связь - вероятностная (стохастическая). Кроме того, существует неоднозначность связи значений контролиру­емых параметров с состоянием объекта при различных видах дефек­тов. Все это создает ошибки диагностирования, связанные с несовер­шенством методов контроля.

На рис. 1 в качестве примера приведены распределения плотности вероятностей значения некоторого параметра *х* для двух совокупностей объектов одного вида: не име­ющих дефектов *f1* *(x)* и с дефектами *f2*(х). Предполагается, что параметр *х* является прог­нозирующим, т. е. имеется достаточно выраженная связь между его значением и вероят­ностью отказа объекта. В идеальном случае (рис. 1, а) по значению параметра *х* возмож­на однозначная классификация объектов (годен или негоден), соответствующая их сос­тоянию (исправен или неисправен). Действительные распределения значений параметра *х* для обоих совокупностей объектов имеют общую зону (рис. 1, *б).* При этом возникают ошибки из-за несовершенства метода диагностики. Для браковочного значения парамет­ра *xб* = *x1*вероятность того, что дефект не будет обнаружен, соответствует площади за­штрихованного участка P1, а вероятность браковки объектов без дефекта — площади участка Р2. В этом случае вероятности появления ошибок первого и второго рода взаимо­связаны. Уменьшение числа обнаруженных дефектов обеспечивается снижением брако­вочной нормы до *х2,* но при этом существенно возрастает ложная браковка.

Повысить достоверность диагноза можно, используя для контроля несколько параметров, характеризующих техническое состояние объекта. Каждый из этих параметров дает информацию об определен­ной характеристике объекта. Их совокупность обеспечивает повышение вероятности выявления дефектов и возможность более точной оценки их опасности.

Следует указать еще на один источник ошибок диагностирова­ния - использование измеренных значений, контролируемых парамет­ров без приведения их к нормальным условиям.

Результаты измерений зависят от условий контроля. Так, напри­мер, существует зависимость характеристик изоляции от ее темпера­туры. Температура контакта существенно зависит от значения проте­кающего тока, а результат измерения, кроме того, и от состояния по­верхности. Поэтому для целей диагностирования необходимо резуль­таты измерений привести к одинаковым базовым условиям, к сопо­ставимому виду.

Эти условия обычно указываются при установлении браковочных нормативов, а в методике измерений должны быть предусмотрены способы приведения результатов к сопоставимому виду (температур­ный пересчет и т. п.).

Погрешность измерения есть следствие ограниченной точ­ности измерительных устройств (средств измерения), а также погреш­ностей, вызванных влиянием внешних факторов.

Средство измерений (СИ) обычно состоит из ряда измерительных преобразователей и отсчетного устройства. В ходе преобразований информации возникает погрешность измерения: действительному значению измеряемой величины на входе *х* соответствует показание отсчетного устройства на выходе *у.*

**Погрешность измерения** (абсолютное ее значение Δ = у - *х* или от­носительное δ = Δ/х) имеет две составляющие - систематическую и случайную. Первая вызывается стабильными причинами и ее можно учесть. Вторая составляющая погрешности вызывается нестабильными факторами и имеет вероятностный характер. В дальнейшем, если это специально не оговаривается, будем учитывать лишь вторую составляющую погрешности, рассматривая ее как случайную величину.

В качестве примера влияния погрешностей измерения на достоверность контроля рассмотрим рис. 2, где приведено распределение *f1* *(х),* включающее в себя параметр *х* всех объектов данного типа (с дефектами и с исправной изоляцией). Контролируется объект со значением параметра *x1* которое превышает браковочный норматив х6, т. е. объект неисправен и должен быть отнесен к числу негодных. Измерение производится с погрешностью, имеющей распределение *f2* (Δх). Поэтому вместо значения параметра *х* с нормой будет сравниваться результат измерения *у*.

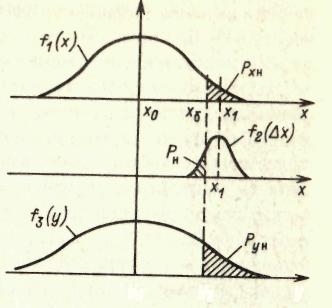


Рис. 1.4. Возникновение ошибки из-за по­грешностей измерений:

*fl (x)* — распределение плотности вероят­ностей значений измеряемого параметра *х; f2(Δх) —* распределение плотности вероят­ностей погрешностей измерения для значе­ния параметра *х1; f*3 (*у*) - распределение плотности вероятностей результатов изме­рений

Неисправными считаются объекты, параметр которых *х* находится в зоне *Рхн* , а по результатам контроля негодными будут признаны объекты, значения измеряемого пара метра у которых находятся в зоне *Рун .* Дефект не будет обнаружен, если измеренное значение у будет меньше браковочного уб = *хб.* На рис. 1.4 вероятность Рн этого события соответствует заштрихованной области под кривой *f2* *(Δх).*

Для уменьшения вероятности того, что дефект не будет обнаружен, необходимо увеличивать точность измерения. Однако в тех случаях, когда определяющими становятся погрешность метода или внешние влияния (помехи), высокая точность измерительных устройств не по­вышает эффективность контроля и лишь усложняет процесс измере­ний. Считается достаточным, если среднее квадратическое отклоне­ние результатов измерения из-за погрешности СИ *sу* не будет превышать одной десятой среднего квадратического отклонения *sx* сово­купности контролируемых значений параметра.

**Чувствительность метода измерения.** В эксплуатационной практике точность измерения и определяемая ею чувствительность метода, как правило, ограничивается погрешностями из-за влияния внешних факторов - помех. Возможность влияния таких факторов не всегда даже учитывается при конструировании измерительных устройств.

Различают помехи, вызванные паразитными токами в схеме измерений и токами влияния.

Паразитными называются токи, возникающие под действием напряжения измерительной установки и протекающие через ее измерительный элемент, минуя объект измерения. Эти токи протекают по так называемым паразитным связям между источником напряжения измерительной установки и элементами измерительного устройства (средства измерения), а также по паразитным связям в измерительном устройстве и в объекте.

Токами влияния называются токи, возникающие под действием рабочего напряжения электрической установки, в которой находится контролируемый объект, и протекающие через измерительный элемент измерительного устройства. К ним относятся токи промышленной частоты и ее гармоник, протекающие по электрическим и электромагнитным связям между элементами измерительной установки (включая объект) и оборудованием, находящимся под рабочим напряжением. Кроме того, токи влияния возникают в измерительной установке при наличии разности потенциалов между точками заземления ее элементов.

Известны два направления обеспечения необходимой точности измерений в условиях помех: применение помехоустойчивых измерительных устройств (СИ) и создание схем измерений, обеспечивающих их защиту от влияния помех. Помехоустойчивость СИ определяется их конструкцией. Основные возможности снижения погрешностей - в повышении помехозащищенности схем измерений.

Повышение помехозащищенности заключается в обеспечении на входе СИ наибольшего возможного относительного уровня сигнала информации (увеличение отношения сигнал/помеха). Это достигается соответствующей схемой измерений и экранированием - отведением из измерительных цепей токов помех. Возможна также селекция сигнала, например измерение его на частоте, отличающейся от частоты напряжения помехи (частотная селекция), или в периоды времени, когда помеха минимальна (временная селекция). Однако в этих случаях необходимы соответствующие измерительные устройства.

Другая группа способов основана на исключении погрешности из результатов измерений. Это обеспечивается соответствующей методикой производства измерений и обработки их результатов. В тех случаях, когда имеется возможность накопления достаточного массива информации (например, при автоматизации контроля) снижение погрешности измерения от помех, имеющих случайный характер, производится путем математической обработки результатов измерений. Известно достаточное количество методов статистической обработки данных (усреднение, корреляционный анализ и т. п.), обеспечивающих повышение достоверности измерений.

Чувствительность метода измерения - это наименьшее выявляемое изменение параметра, которое может служить для суждения об изменении характеристик объекта. В простейшем случае задача определения чувствительности сводится к установлению порогового значения параметра хп, при котором вероятность ошибок контроля первого рода (ложная браковка) не будет превышать заданного допустимого предела.

Погрешности измерений при эксплуатационном контроле определяются в основном остаточным уровнем внешних помех. Следовательно, для определения порога чувствительности метода измерений необходимо установить закон распределения погрешностей измерения и, используя его, вычислить значение хп, соответствующее допускаемой вероятности ошибки первого рода.

Как правило, закон распределения случайных помех близок к нормальному. Если принять, что вероятность ошибки не должна превышать 1 %, значение хп = 2,33 sп, где sп - среднее квадратическое отклонение результатов измерений помех. При хп = 3 sп вероятность ложной браковки снижается до 0,135 %.

Описанная процедура определения порога чувствительности метода измерений дает лишь грубую оценку, так как реальное распределение результатов измерения помех в области крайних членов распределения обычно отличается от нормального. Однако, как правило, полученная оценка порога чувствительности достаточна для практических целей.

**ДЕФЕКТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

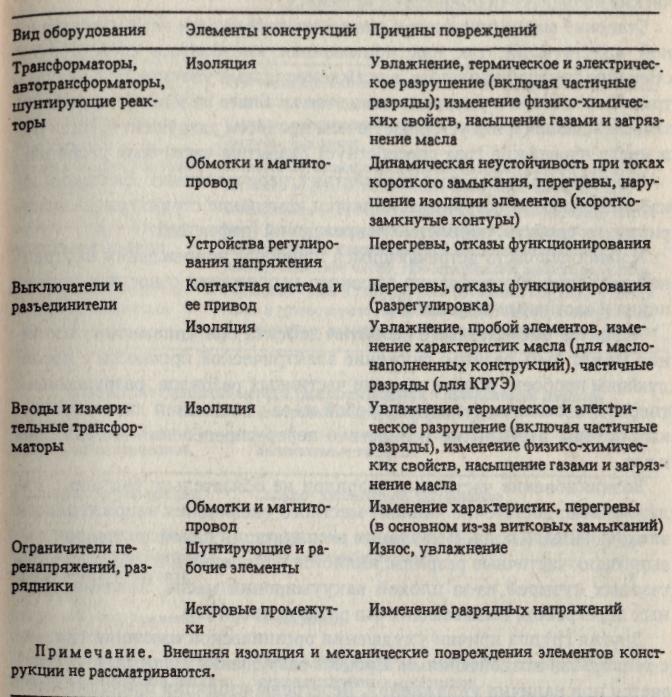
Объекты ЭУ существенно различаются своими функциями, условиями применения, видом эксплуатационных воздействий и характером типовых дефектов (табл. 1). Это определило большое разнообразие применяемых методов и средств диагностики. Надежность оборудования высокого напряжения в значительной мере определяется работоспособностью изоляции. Основной объем диагностики относится к контролю изоляционных конструкций.

Старение диэлектрика - постепенное его изменение, сопровождающееся ухудшением или полной потерей изоляционных свойств - вызывается рядом процессов, связанных с химическими, тепловыми, механическими и электрическими воздействиями. Эти процессы действуют одновременно и взаимозависимы; каждый из них может вызвать появление другого.

К химическим процессам ухудшения органических изоляционных материалов относятся окисление и другие химические реакции с агрессивными компонентами окружающей среды, которым благоприятствуют наличие влаги и повышенная температура. Под воздействием нагрева, вызванного внешними причинами и диэлектрическими потерями, возникает износ, сопровождаемый распадом вещества, появлением хрупкости материала, снижением его электрической прочности.

Таблица 1.

Основные причины повреждений оборудования высокого напряжения



К основным явлениям старения, обусловленного причинами электрического характера, относятся физические и химические изменения органических изоляционных материалов, вызванные ионизационными процессами (частичными разрядами).

Механические воздействия, вызывая нарушения целостности материала (разрывы, расслоения), снижают электрическую прочность изоляционной конструкции.

Изоляционное масло, являясь одним из элементов изоляционной конструкции, выполняет еще роль теплоотводящей и защитной среды. При старении масло окисляется, что приводит к образованию органических кислот, растворимых в масле или создающих осадки (шлам). Увлажнение снижает его электрическую прочность. Термические воздействия приводят к крекингу.

Старение масла приводит к снижению надежности всей изоляционной конструкции, так как повышенная кислотность способствует старению твердой изоляции, а осаждение шлама увеличивает диэлектрические потери и ухудшает отвод тепла. Влага из масла, переходя в твердый диэлектрик, усиливает в нем процессы разрушения. Наличие в масле пузырьков газа способствует развитию частичных разрядов.

Конечным результатом воздействия перечисленных факторов на изоляционную конструкцию является изменение структуры диэлектриков, их свойств, появление повреждений (дефектов). К наиболее часто встречающимся причинам повреждения внутренней изоляции оборудования высокого напряжения относятся увлажнение и частичные разряды.

Характер последующего развития дефекта при увлажнении изоляции может быть разным: снижение электрической прочности с последующим пробоем, возникновение частичных разрядов, разрушающих твердую изоляцию, тепловой пробой из-за увеличения диэлектрических потерь, перекрытие вследствие перераспределения напряжений и т. п.

Возникновение частичных разрядов не обязательно связано с увлажнением; достаточно наличие местного увеличения напряженности электрического поля. В условиях эксплуатации одной из причин, вызывающих частичные разряды, является появление в толще изоляции газовых пузырей из-за плохой вакуумировки масла, наличия местных перегревов, вызывающих его разложение, и т. п.

Другая группа причин ухудшения органической изоляции связана с тепловыми воздействиями. Процесс разрушения существенно ускоряется при наличии увлажнения. Перегревы изоляции приводят к резкому снижению ее механической прочности, что создает условия для развития повреждений.

В настоящее время нет эксплуатационно пригодных прямых методов определения влажности и степени старения твердой изоляции. Как правило, применяются косвенные методы контроля. Для этого используется ряд параметров изоляции, значения которых определяют процессы, происходящие в диэлектриках: поляризация, абсорбция, ионизация, проводимость. Для диагностирования используются также зависимости их от температуры, приложенного напряжения, времени и т. п. Значительное количество дефектов выявляется по изменению физико-химических свойств изоляционного масла и наличию в нем продуктов разложения материалов конструкции.

К другой группе нарушений работоспособности оборудования относятся отказы функционирования, а также недопустимые нагревы токоведущих частей.

Отказы функционирования, вызванные механическими дефектами элементов конструкции, характерны для коммутационных аппаратов (выключателей, отделителей, разъединителей и т. п.), а также для устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов.

Основным способом оценки работоспособности и выявления дефектов коммутационных аппаратов является комплексное опробование, при котором производятся проверки и измерения, характеризующие готовность оборудования к нормальной работе.

При опробовании выключателя производятся измерения времени включения и отключения, а также разновременности замыкания и размыкания контактов, проверка работы приводов (напряжение срабатывания электромагнитов, работоспособность при нижнем пределе давления воздуха и т. п.). О правильной регулировке и функционировании узлов судят по осциллограмме выполнения рабочих циклов.

Ненормально высокие нагревы токоведущих частей обычно являются следствием дефектов контактных соединений и обнаруживаются путем контроля их температуры.

Разработано значительное количество методов диагностирования, ориентированных на выявление определенных дефектов. Некоторые методы дополняют или даже дублируют друг друга. Для более полного диагностирования целесообразно использование всех возможных методов. При этом совпадение результатов, полученных разными методами, позволяет более уверенно идентифицировать дефект.