**ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**Основные понятия и определения технической диагностики**

Существует вольное употребление терминологии «диагностика» (и ее производных) и «мониторинг», а во многих случаях и смешение понятий этих терминов.

Согласно ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» ***«техническая диагностика»*** (или **«диагностика»**) это область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов, а диагностирование - определение технического состояния объекта. ***Техническое состояние*** *-* состояние, которое характеризуется в определенный момент времени при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической доку­ментацией на объект. **Задачами «технического диагностирования» являются**: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (неисправности); прогнозирование технического состояния. Термин **«техническое диагностирование»** применяют в наи­менованиях и определениях понятий, когда решаемые задачи тех­нического диагностирования равнозначны или основной задачей является поиск места и определение причин отказа (неисправно­сти). Термин **«контроль технического состояния»** применяется, ког­да основной задачей технического диагностирования является оп­ределение вида технического состояния. В дальнейшем рассматриваются **виды состоя­ний**: ***работоспособное*** и ***неработоспособное***.

Термин "мониторинг" произошел от английского слова monitoring, (в переводе с латинского monitor - надзирающий). Мониторинг понимается как систематический сбор и обработка информации, которая может быть использована для улучшения процесса принятия решения.

Применительно к диагностике электрооборудования под термином «мониторинг» следует понимать способ сбора аппаратными средствами информации о диагностических параметрах контролируемых объектов для последующего анализа параметров средствами системы технического диагностирования. Система мониторинга сама по себе не может существовать; она является неотъемлемой частью системы диагностики.

 **Мониторинг** - сбор и обработка информации, которая может быть использована для улучшения процесса принятия решения при техническом диагностировании.

**Контроль технического состояния** применяется, ког­да основной задачей технического диагностирования является оп­ределение вида технического состояния (работоспособное или неработоспособное).

**Технического диагностирование** — это контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (неисправности); прогнозирование технического состояния.

**«Система технического диагностирования»** представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий в виде совокупности средств, объекта и инфраструктуры исполнителей, необходимой для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в технической документации. В средствах системы технического диагностирования основную роль играют расчетные модели, алгоритмы и программное обеспечение, предназначенные для анализа диагностических параметров. Диагностика является развитой интеллектуальной частью системы эксплуатации оборудования.

Существующая система диагностики, определяемая, например, в РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» в ряде случаев не позволяет достоверно определять качество контроля технического состояния оборудования, а система регламентных испытаний в настоящее время не соответствует техническим возможностям эксплуатации оборудования и минимизации эксплуатационных расходов. Сейчас основное направление в развитии методов диагностики заключается в более подробном представлении технического состояния оборудования за счет применения новых методов диагностики и автоматизации измерения параметров оборудования в режиме мониторинга (под рабочим напряжением).

Общим понятием теории надежности и технической диагности­ки является ***работоспособность****.* Это понятие используется для обо­значения класса состояний ОД, находясь в котором он выполняет свойственную ему работу. Состояние, при котором значения ***всех диагностических признаков****,* характеризующих способность ОД вы­полнять заданные функции, соответствуют установленным требова­ниям, называется ***работоспособным****.* В этом случае можно говорить, что оборудование функционирует ***штатно****.* Установленные требо­вания образуют ***область работоспособности* (ОР)**.

***Неработоспособное состояние***- состояние, при котором значе­ние хотя бы одного диагностического признака, характеризующего выполнение заданной функции, не соответствует установленным требованиям. Если объект неработоспособен и выполняет часть функций, то он функционирует ***нештатно****.*

Различают рабочее и тестовое диагностиро­вание. При ***рабочем***диагностировании состояние объекта оценивается по выходным параметрам при подаче на его входы рабочих воздействий. При ***тестовом***диагностировании состояние объекта оценивается по его реакции, вызываемой подаваемыми на его входы специальными тестовыми воздействиями.

Диагностирование может осуществляться различными методами. ***Метод диагностирования*** *-* совокупность операций, действий, позволяющих дать объективное заключение о состоянии объекта. Определение состояния объекта предусматривает наличие обосно­ванных алгоритмов диагностирования. ***Алгоритм диагностирования***представляет собой совокупность предписаний, определяющих упо­рядоченную последовательность действий при проведении диагно­стирования. Они реализуются ***средствами диагностирования****,* под которыми понимаются аппаратура, программы и эксплуатационная документация, позволяющая оценить состояние технических объектов. Результат диагностирования, то есть заключение о техническом состоянии объекта, называют *диагнозом.*

Блок, устройство, прибор, оборудование, система, подлежащей (подвергаемые) диагностированию, называются объектом диагностирования (ОД).Часть ОД, которую при диагностировании нельзя разделить на более мелкие, называют ***элементом***(структурной единицей, СЕ). Любой объект диагностирования состоит из элементов. Например, генератор электростанции может рассматриваться как ОД из одной СЕ. Распределительная сеть может включать в себя как минимум три элемента (опору, провод, изолятор). Районная элек­трическая подстанция состоит из многих структурных единиц.

Все ОД с позиции используемого математического аппарата для описания изменения его состояния можно разделить на: непрерыв­ные (аналоговые, кроме ЭВМ) и дискретные (цифровые) - ЭВМ (релейно-контакторные схемы).

Состояние ОД оценивается по диагностическим признакам. ***Ди­агностическим признаком***(ДП) называют параметр или характери­стику, используемую при диагностировании и несущую информа­цию об изменении состояния ОД:

параметры ξ - физические величины: сила тока I, напряжение U, мощность Р, время переходного процесса tnn и др.;

характеристики - зависимость одной физической величины от другой, а именно: статическая характеристика, если величина не за­висит от времени, частоты; дина­мическая характеристика, если такая зависимость есть. Каждому состоянию соответствует определенное значение диагностического признака.

Переход из класса работоспособных состояний, определяющих область работоспособности ОР, в класс неработоспособных называ­ется ***отказом****.* При этом возможен полный отказ (момент *tпо),* приво­дящий к полной потере работоспособности и прекращению функ­ционирования (отключение фидера при двух- и трехфазных замыка­ниях), и частичный отказ (момент *tчо)* при однофазных замыканиях на землю), т.е. сеть продолжает функционировать с ухудшенными показателями качества электроэнергии.

Существует третий тип отказа элемента - "перемежающийся", означающий, что он то исчезает, то снова появляется. Это затрудня­ет определение местоположения отказавшего элемента, так как при проверке оборудование может оказаться работоспособным, а через некоторое время неработоспособным.

Причиной потери работоспособности или резкого снижения за­паса работоспособности является дефект от лат. ***defectus*** *-* изъян, не­дочет, недостаток.

В ОД, состоящем из нескольких элементов, дефектом является отказ элемента, нарушение связи или появление связи между элемен­тами. Возникновение же дефекта в ОД, состоящего из нескольких элементов, не обязательно приводит к потере его работоспособно­сти. При этом ОД сохраняет работоспособность при наличии в нем дефекта за счет избыточности (структурной, временной, информа­ционной) или за счет того, что потеря работоспособности не всех элементов приводит к потере его работоспособности. Например, в гирлянде изоляторов воздушной линии появились нулевые элементы, в ОД возник дефект, но он не потерял работоспособности. В том случае говорят, что запас работоспособности его снизился, а, следовательно, повысилась вероятность его отказа в дальнейшем.

Дефекты разделяют на одиночные и кратные (несколько сразу), Логические (нарушение алгоритмов) и физические (элементы, связи).

При диагностировании могут решаться три следующие задачи:

1 – контроль работоспособности (КР); 2 – поиск места и определение причины отказа – дефекта (ПД); 3 - прогнозирование изменения состояния (ПИС). Какие из этих задач решаются в процессе диагностирования зависит от условий его выполнения и особенностей электроэнергетического оборудования.

***Первая задача***обязательно решается при диагностировании объектов любого назначения. Контроль работоспособности предполагает проверку соответствия значений диагностических признаков ОД требованиям технической документации и определение на этой основе вида технического состояния в данный момент времени. Видами технического состояния, как уже говорилось, являются работоспособное и неработоспособное. Поэтому в дальнейшем наряду с понятием контроль технического состояния употребляются понятия контроль работо­способности и контроль запаса работоспособности.

В том случае, когда ОД утратил работоспособность или запас работоспособности значительно снизился, при диагностировании может решаться ***вторая задача****.* Целесообразность решения ее опре­деляется возможностью восстановления ОД, устранения возникшего дефекта, т.е. восстановления работоспособности ОД. В свою оче­редь, устранить возникший дефект можно только, если ОД ремонто­пригоден и приспособлен к устранению возникающих в нем дефек­тов, а обслуживающий персонал имеет средства и время для его вос­становления. Поиск возникшего дефекта начинается при условии, что уже известно о наличии дефекта, но неизвестно, какой именно дефект возник.

При решении ***третьей задачи***изучается характер изменения ди­агностических параметров под влиянием внешних и внутренних воз­действий и на основе сформировавшихся тенденций предсказывается значение параметров в будущий момент времени.

Наиболее распространенными сочетаниями задач, решаемых в процессе диагностирования, являются:

контроль работоспособности (запаса работоспособности) и по­иск возникшего дефекта;

контроль работоспособности (запаса работоспособности) и прогнозирование технического состояния;

контроль работоспособности (запаса работоспособности), по­иск возникшего дефекта и прогнозирование технического состояния.

В основу методологии технической диагностики положены следующие исходные положения.

1. Допущение о том, что объект может находиться в конечном множестве состояний S, которое определяется ограниченными воз­можностями измерительных средств (рис.1.). В множестве S выде­ляются два непересекающихся подмножества S*р и SН : Sр* - подмножество работоспособных состояний; S*н -* подмножество неработо­способных состояний.



Рис.1. Иллюстрация конечности множества состояний ОД.

Подмножество S*р={si}, i =* 1,n *в*ключает все состояния, которые позволяют ОД выполнить возложенные на него функции или решить поставленные перед ним задачи, т.е. когда ОД работоспособен. Каждое состояние в этом подмножестве различается запасом работоспособности, который характеризуется приближением состояния объекта **к** предельно допустимому Состояние оценивается путем измерения и контроля параметров или характеристик.

Подмножество Sн = {sj}, j = 1,n включает все состояния, соответствующие возникновению в объекте дефектов, приводящих к потере его работоспособности. Мощность подмножества S*Н* определяется количеством различимых дефектов или глубиной поиска дефектов.

2. Решение задач по оценке состояния объекта сводится к анали­зу множества S, если отсутствует информация о состоянии ОД; под­множества S*н* или Sp, если информация о состоянии ОД имеется.

При контроле работоспособности проверяются условия работо­способности и полученные результаты относят к одному из подмно­жеств Sp или Sн.Условия работоспособности определяются как ог­раничения на диагностические признаки, при выполнении которых ОД может выполнить поставленные перед ним задачи или возло­женные на него функции.

При поиске возникшего дефекта, когда установлено, что объект неработоспособен, осуществляется анализ подмножества состояний SН и устанавливается, какому именно состоянию sj соответствует его текущее состояние. В случае резкого снижения запаса работоспособ­ности поиск дефекта возможен в подмножестве работоспособных состояний Sр. Необходимость поиска дефектов определяется ремон­топригодностью объекта и требованием минимизации времени его технического обслуживания и восстановления.

При прогнозировании работоспособного состояния объекта осуществляется анализ подмножества SР состояний, причем каждому состоянию si € Sp соответствует определенный запас работоспособ­ности объекта. Анализ состояний объекта в подмножестве S*р* позво­ляет установить характер изменения запаса его работоспособности и в ряде случаев предсказать моменты перехода объекта в подмножество состояний SН и, следовательно, спрогнозировать состояние объ­екта.

3. Возникновение в объекте дефекта не означает, что он нерабо­тоспособен. Появление дефекта приводит к тому, что объект из одного состояния s*к* переходит в другое состояние s*l.* Однако при этом могут не нарушаться условия работоспособности. Это происходит том случае, когда s*к* и slотносятся к подмножеству состояний *SР* (в случае резервирования). **Таким образом, работоспособный объект может иметь дефект, так же, как и неработоспособный**. Следовательно, заключение о том, что ОД работоспособен, не означает, что в нем









 Рис. 2. Структурная схема системы диагностирования

отсутствуют дефекты. С другой стороны, если ОД неработоспо­собен, то в нем обязательно имеется дефект.

4. В процессе диагностирования участвуют объект диагностиро­вания (ОД), средства технического диагностирования (СТД) и чело­век оператор (ЧО). Их совокупность образует ***систему диагностиро­вания***(рис.2).

**Диагностирование в жизненном цикле элементов ЭУ**

Длялюбого технического объекта характерны следующие стадии жизненного цикла: **проектирование, изготовление, эксплуатация**.

**Проектирование** - процесс анализа и планирования затрат, сро­ков разработки, задание требований к системам электроснабжения, Разработка технической документации, по которой создаются системы, и эксплуатационно-технической документации, по которой этисистемы будут эксплуатироваться.

 **Изготовление** - процесс реализации технических требований в "металле", включая испытание как этап комплексной проверки ха­рактеристик оборудования, собранного из частей.

**Эксплуатация -** совокупность организационно-технических мероприятий, обеспечивающих технически-правильное применение электроснабжения, постоянную готовность к применению, подержание работоспособного состояния и продления ресурса. Эксплуатация включает в себя транспортировку, хранение, техническое обслуживание, ремонт и применение по назначению.

Диагностирование возможно на всех стадиях жизненного цикла электроустановок (рис. 3).



Рис.3. Диагностирование в жизненном цикле электроустановок

На самом начальном этапе проектирования ЭУ необходимо ре­шать задачи организации системы диагностирования (определения периодичности и продолжительности использования и диагности­рования, показателей безотказности, контроля и ремонтопригодно­сти элементов). Для оценки состояния элементов ЭУ необходимо, во-первых, спроектировать объект, приспособленный к оценке его состояния с требуемой глубиной и достоверностью; во-вторых, соз­дать ТСД, которые позволяли бы оценивать состояние объекта в за­данных условиях; в-третьих, определить роль и функции ЧО, участ­вующего в процессе диагностирования. Чтобы ЭУ была приспособ­лена к диагностированию, при ее проектировании необходимо раз­работать перечень оцениваемых диагностических признаков, мето­ды их оценивания, условия работоспособности и признаки наличия дефектов, алгоритмы диагностирования. В процессе проектирования определяется эффективность, которую можно достичь при исполь­зовании системы диагностирования.

В процессе изготовления элементов ЭУ необходимо оценивать их состояние. Так, при выходном контроле проверяется правиль­ность сборки и монтажа. В случае несоответствия элемента ЭУ предъявленным требованиям осуществляется поиск дефектов.

В процессе эксплуатации диагностирование выполняют непре­рывно или периодически. При необходимости осуществляют про­гнозирование или поиск возникшего дефекта для профилактических или восстановительных работ. Диагностирование на этом этапе по­зволяет обосновать дальнейшее использование элементов ЭУ. Диагностированию подвергают хранящуюся переведенную специально в режим диагностирования ЭУ.

Задачи, связанные с необходимостью диагностирования ЭУ на разных стадиях, могут оказаться различными, что необходимо учитывать при разработке системы диагностирования. Отличие в задачах, решаемых при диагностировании объекта на различных стадиях, требует разработки средств диагностирования, предназначенных для использования на конкретных стадиях, например, технические средства предназначенные для диагностирования в процессе изготовления или в процессе эксплуатации. Система диагностирования эффективна лишь в тех случаях, когда состояние элементов ЭУ будет оцениваться на всех стадиях ее жизненного цикла. Это позволит по­высить эффективность использования ЭУ, а надежность ее можно поддерживать на уровне, заложенном при проектировании.

**Особенности диагностирования элементов ЭУ**

При создании систем диагностирования электротехнического оборудования подстанции и линий электропередачи 10-220 кВ и выше необходимо учитывать следующее:

1. Имеющиеся в эксплуатации силовые трансформаторы отличаются большим разнообразием (различные системы охлаждения, переключающие устройства и средства защиты от грозовых перенапряжений, а также различие в технологии изготовления).

2. Различный уровень надежности силовых трансформаторов, трудность сбора статистических данных о надежности крупных силовых трансформаторов.

3. Различие в нагрузочных режимах в процессе эксплуатации.

4. Ограниченные возможности восстановления силовых транс­форматоров вне заводских условий.

5. Имеющиеся в эксплуатации масляные выключатели мало приспособлены для диагностирования (отсутствие счетчиков числа срабатывания, датчиков для оценивания величины тока к.з. и состояния изоляции и т.д.).

6. Конструкция отдельных измерительных трансформаторов, выпускаемых в настоящее время, не дает возможности диагностирования под рабочим напряжением.

7. Оборудование распределительных устройств подстанций 35-220 кВ имеют большую разнотипность КРУН-10 (КРН-3, К-6, КРН-10, К-12, К-13, К-37, К-47, К-57), разные сроки эксплуатации и укомплектованы разными типами выключателей (ВМГ-133, ВМГ-10, ВК-10, ВМПП-10, ВММ-10), что затрудняет организацию их диагностирования.

8. Формы использования подстанции разнообразны: без дежурства персонала, с дежурством на дому, с дежурством в спецкомнате, постоянное дежурство на щите управления. Поэтому при первых трех видах использования из структурной схемы (см. рис.2) выпадает звено "человек-оператор".

9. Большие трудности возникают при диагностировании изоляции линии 10—220 кВ под рабочим напряжением с использованием измерительных штанг или прибора "филин", так как первый метод трудоемок, а при втором затруднено измерение при ясной солнечной погоде. По условиям эксплуатации ВЛ пробой гирлянды изоляторов
приводит к отключению линии. Поэтому задачей диагностирования является определение начальной стадии дефекта и прогнозирование появления в гирляндах "нулевых" изоляторов.

10. Интенсивное влияние факторов окружающей среды на со­стояние изоляции.

**Характеристика методов диагностирования элементов ЭУ**

Работоспособность электрооборудования можно оценить при его функционировании, наблюдая за его состоянием (рабочее диаг­ностирование) или подавая на него внешнее воздействие и наблюдая за его реакцией (тестовое диагностирование).

Достоинство рабочего диагностирования в том, что для его реализации не нужны специальные внешние источники энергии, а информация снимается и обрабатывается в процессе эксплуатации. На рис.4 приведена характеристика методов рабочего диагностирова­ния.

Состояние объектов в процессе его функционирования оцени­вают по различным внешним признакам: нагрев отдельных частей или общее тепловое поле, электромагнитное поле, частичные и акустические разряды, высокочастотные излучения, вибрации и т.д.создаваемые объектом при функционировании. Изменение вышепе­речисленных параметров может свидетельствовать об изменении со­стояния элементов ЭУ. Для оценки состояния маслонаполненного оборудования (трансформаторы, реакторы) в процессе их функцио­нирования используют результаты анализа газов, растворенных в масле.



Рис.4. Методы рабочего диагностирования



Рис.5. Методы тестового диагностирования

Выполнение тестового диагностирования требует специальных генераторов, вырабатывающих тестовые воздействия, подаваемые в ЭУ и стимулирующие его реакцию. На рис.5. приведена характе­ристика методов тестового диагностирования.

Тестовое диагностирование осуществляется как в рабочем, так и в резервном состоянии. Для тестового диагностирования использу­ют как рабочие входы (входы, предназначенные для введения рабо­чих воздействий), так и входы, специально организованные для ди­агностирования (например, измерительные выводы проходных изо­ляторов).

Это положение справедливо и для съема информации реакции объекта на тестовое воздействие при его диагностировании.

Тестовое диагностирование осуществляют одиночным воздействием, например, одиночным импульсом или многократным воз­действием (серия импульсов), т.е. по результатам совокупности элементарных проверок. При тестовом диагностировании возможен одномерный случай, когда оценивают один показатель или многомерный, когда оценивают более одного показателя. К многомерным сводится и случай, когда на выходе объекта оценивают один сигнал по нескольким параметрам (например, по амплитуде и частоте).

Для сложных ЭУ, состоящих из нескольких взаимосвязанных элементов, используют сочетание разных методов при диагностированииразличных элементов. При этом допустимо применение для одной ЭУ как рабочего, так и тестового диагностирования.

**Литература.**

1. **Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика элементов электроустановок. Йошкар-Ола, Марийский госуниверситет, 2000. - 369 с.**