

# Экспертная поддержка при диагностике состояния силовых трансформаторов

Попов Г.В., Ватлецов А.В., Аль-Хамри С.С.

Оценка состояния и диагностика любых объектов опирается на соответствующую классификацию дефектов. Не исключением являются и силовые трансформаторы, для которых предложены разные подходы к подобной классификации, подробно рассмотренные в [1]. Там же была представлена достаточно логичная, но, как оказалось при практическом использовании, весьма громоздкая схема классификации дефектов.

Анализ показал, что решение данного, одного из ключевых в диагностике, вопроса возможно в рамках определенного компромисса, результатом которого оказалась классификация дефектов в силовых масляных трансформаторах представленная на рис. 1. Эта схема положена в основу новой версии автоматизированной оценки состояния силовых трансформаторов "Диагностика+".

## Рис. 1. Классификация дефектов в силовых трансформаторах

Несовершенство любой формализации подобного процесса объясняется следующими причинами:

- требованием наглядности, что способствует практическому применению предлагаемой классификации;
- явлением синонимии, когда одно и то же явление называется по-разному;
- динамикой развития повреждения, в которой один исследователь выделяет одно звено и по его названию присваивает имя всему дефекту, а другой – смежное звено, но, естественно, имеющее другое название.

В любом объекте различают скорости аномальных процессов [2]:

- развитие повреждения во времени не происходит;
- дефект развивается медленно, т.е. имеет место "вялотекущий" характер процесса;
- имеет место первая или вторая ситуация, но при определенных режимах работы оборудования;
- дефект развивается быстро, результатом чего является действие защиты или авария.

К счастью, в силовых трансформаторах случаи стремительного развития аварийных процессов встречаются относительно редко. Ниже такие ситуации не рассматриваются.

Рассмотрим, в качестве примера, цепочку развития дефекта от его зарождения до завершения с таким названием как "пожар в стали":

- замыкание через заусенцы соседних листов электротехнической стали;
- появление вихревых токов, протекающих через смежные листы;
- дополнительный перегрев рассматриваемого пакета, постепенное разрушение межлистовой изоляции (например, бумажной в горячекатанной стали);
- нарастание э.д.с.;
- увеличение величины вихревых токов, рост локального перегрева стали;
- деструкция межлистовой изоляции из-за высокой температуры, потенциала, воздействия масла;
- образование короткозамкнутого контура, охватывающего определенную площадь активной стали, которая постоянно увеличивается;
- значительный разогрев участка магнитопровода и прилегающих металлоконструкций;

- деструкция изоляции шпилек и полубандажей;
- "пожар в стали".

В приведенном сценарии можно выделить три-четыре звена, названия которых могли бы дать имя и собственно дефекту. Из рис. 1 видно, что в предлагаемой классификации рассмотренный процесс соответствует позиции 2.2.

Использование различными авторами собственных подходов к классификации дефектов в силовых трансформаторах вызывает ряд трудностей в практической деятельности по оценке их состояния. Так, в [3] приводится методика, позволяющая с высокой вероятностью выявлять дефекты, перечень которых в этом же руководящем документе содержится. Допустим, с коэффициентом доверия 0,8 здесь определен термический дефект в интервале температур от 150 до 300 °С.

Современная экспертная диагностическая система, например, "Диагностика+" [4], получив подобный результат будет его "рассматривать" как промежуточный и поставит задачу по детализации вида дефекта, посредством перехода к приведенной выше схеме (рис. 1). При этом, вероятен целый набор: 1.6, 2.2, 2.3, 3.1, 4.2 и т.д. с существенным уменьшением коэффициентов доверия для каждого конкретного случая (аналогично вероятностному закону о группе событий). Чтобы повысить достоверность результата, экспертная система "должна" привлечь новые диагностические правила, которые играют следующую роль:

- перераспределяют коэффициенты доверия в группе событий на основе априорной информации;
- повышают коэффициенты доверия отдельных событий из группы на базе апостериорной информации.
- К информации первого вида относится, например, следующая:
- статистика повреждений трансформаторов соответствующего класса напряжения, содержащаяся, например в [5];
- сведения о "слабых местах" в определенных партиях трансформаторов, типа приведенных в табл. [6] и т.д.

В качестве примера рассмотрим технологию использования информации из таблицы. Сначала администратор на специальном языке *Z*, приближенном к естественному, записывает ряд правил. Для исключения необходимости приведения здесь синтаксиса языка *Z* правило ниже дается на естественном языке: "ЕСЛИ тип рассматриваемого трансформатора соответствует ТДЦГ-90000/220 И этот трансформатор изготовлен не позднее 1966 года И в этом трансформаторе не было модернизации обмотки ВН, ТО возможна деструкция изоляции обмотки ВН".

**Таблица**

Тип трансформатора	Повышенный нагрев обмотки	Год изготовления
ТДЦГ-90000/220	ВН	до 1966 г. включительно
ТДГ-120000/220 (НН на 13,8 кВ)	—"	—"
ТДЦГ-125000/220	—"	—"
ТДЦГ-180000/220	ВН, НН	—"
АТДЦТГ-180000/220	ВН	—"
АТДЦТГ-120000/220	—"	—"
АТДЦТГ-240000/220	—"	—"
ТДЦТГА-180000/220	—"	—"
АТДЦТН-125000/220	—"	—"
АОДТГ-90000/500	—"	1957-1961
АОДТЦГ-90000/500	—"	1958-1966
ОДЦТГА-135000/500	—"	1957-1966
ОДЦГ-210000/500	ВН, НН	1963-1967
ОДТГ-90000/400	ВН	1955-1958

Затем это и подобные правила (всего 14) заносятся в базу знаний экспертной системы. При оценке состояния очередного трансформатора в случае подозрения на дефект в обмоточной системе (типы

дефектов 1.2 и 1.5) данное правило будет автоматически привлечено для анализа. В случае его истинности (для этого система должна ответить три раза "да") существенно повышается вероятность дефектов указанных типов в обмотке высокого напряжения. Если у экспертной системы имеются другие подходящие к ситуации правила, то она их будет автоматически использовать. В этом случае коэффициент доверия оценки состояния объекта и последующих рекомендаций будет повышаться.

Понятно, что априорная информация должна заноситься в базы данных экспертной системы не по принципу актуальности, а в случае ее доступности. Иными словами, при появлении подобных сведений в "поле зрения" администратора системы, они должны после соответствующей обработки оказаться в экспертной системе и "ждать своего часа". Очевидно, что пока, такой, казалось бы не относящейся к конкретной ситуации, информации немного, она существенного влияния на результат оценки состояния конкретного объекта оказывать не будет. Однако, при достижении некоторой "критической массы" занесенные, как бы "про запас", в экспертную систему сведения начинают активно повышать достоверность оценок и рекомендаций.

К этому же виду относится информация, содержащаяся в специальной базе дефектов, которая организована в последней версии "Диагностики+". Она представлена данными из результатов вскрытия трансформаторов, выведенных в ремонт. Обычно, эти сведения, собираемые из разных источников, содержат описание дефектного процесса в трансформаторе и некоторые результаты его испытаний до момента вывода в ремонт. Все это, а так же тип трансформатора, год изготовления, продолжительность эксплуатации и т.п. заносится в базу дефектов. Наиболее ответственным этапом формализации этой информации является идентификация вида дефекта по предлагаемой классификации на основе имеющегося в распоряжении администратора (эксперта) вербального описания. В дальнейшем предполагается также заносить в базу и изображение дефекта посредством сканирования обычных или непосредственного ввода цифровых фотографий. Определенный опыт этого уже имеется. Так, при вскрытии трансформатора ТДЦ-125000/110 Ивэнерго выявленный дефект (7.1. Наличие КЗ контура вокруг рабочего потока) был зафиксирован и занесен в базу.

Эффективность подобной деятельности, как отмечалось выше, будет определяться объемом базы дефектов. Очевидно, что в числе заинтересованных пользователей этой базы должно находиться хотя бы несколько энергосистем. Среди последних в настоящее время имеются отдельные предприятия, в которых энтузиасты уже в настоящее время располагают значительными объемами информации о разнообразных дефектах в трансформаторах, маслонаполненных вводах и другом оборудовании. Наличие отработанных технологий формализации, хранения и использования подобной информации предполагает ее интеграцию в локальной или, возможно, глобальной сети.

В "Диагностике+" на базе дефектов функционирует запросная система, которая для конкретного аномального случая, подлежащего распознаванию, организует поиск и анализ информации, помогающей прояснить ситуацию.

Привлечение апостериорной информации в "Диагностике+" строится в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2. На данной схеме все действия персонала (затемненные блоки) и работа экспертной системы связаны с анализом трех множеств: испытаний – И, дефектов – Д и признаков – П.

### **Рис. 2. Активная схема оценки состояния объекта**

База знаний, основу которой составляют правила и алгоритмы, написанные на языке Z с учетом рекомендаций руководящих документов типа [4, 7], на рис. 2 укрупненно представлена в виде двух матриц: испытание-дефект (И-Д) и признак-дефект (П-Д).

Матрица содержит более 40 видов испытаний силовых трансформаторов и вводов. Дополнительная информация по матрице И-Д размещена в Интернете на специализированном сайте [www.transform.ru](http://www.transform.ru).

Формировать матрицу П-Д в явном виде обычно не требуется. Под ней понимается свод правил из базы знаний.

Процесс оценки состояния объекта предполагает:

- выявление выхода одного или нескольких контролируемых параметров за нормируемые значения; в случае двухсторонних ограничений ("сверху" и "снизу") имеет место "коридор", в котором должен находиться контролируемый параметр;
- подтверждение результатов с помощью того же или другого испытания для исключения ошибок измерений;
- учет "истории жизни" объекта, т.е. сопоставление его состояния со всеми воздействиями, которым он подвергался; здесь также необходимо учитывать степень значимости как воздействия, так и получаемого при оценке объекта результата по мере прохождения определенного времени, т.е. "период актуальности" анализируемой информации.

Рассмотренная укрупненная схема оценки состояния силовых трансформаторов и вводов реализована в экспертной системе "Диагностика+", которая подробно представлена на сайте [www.bjd.ispu.ru](http://www.bjd.ispu.ru).

## Список литературы

1. Классификация дефектов в силовых масляных трансформаторах / Л.В. Виноградова, Е.Б. Игнатъев, Т. Лхамсүрэнгийн, Г.В. Попов // Высоковольтная техника и электротехнология / ИГЭУ. – Иваново, 1999. – С.36-41.
2. Беркович Я.Д. О диагностике энергетического оборудования // Электрич. станции, 1989. – № 6. – С.16-20.
3. РД 34.46.302-89. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов (временные): / Утв. Главтехупр. Минэнерго СССР 12.12.88; Разраб. ВНИИЭ. Срок действ. установлен с 01.06.89: – М.: СПО Союзтехэнерго, 1989. – 28 с.
4. Попов Г.В., Игнатъев Е.Б. О совершенствовании технологий диагностирования маслонаполненного электротехнического оборудования // НРЭ. – 2001. – № 7. – С. 28-32.
5. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации / Б.В. Ванин, Ю.Н. Львов, М.Ю. Львов и др. // Электрич. станции, 2001. – № 9. – С. 53-58.
6. РД 34.46.501. Инструкция по эксплуатации трансформаторов. Изд. 2-е перераб. и доп.: / Утв. Главтехупр. Минэнерго СССР 08.12.76; Разраб. ВНИИЭ. – М.: Энергия, 1978. – 80 с.
7. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования: Издание шестое. – М.: ЭНАС, 1998. – 252 с.

Источник: © Электротехника.

Материал размещен на <http://www.transform.ru/index.html>: 21.02.2005 г.