

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

А. Ю. Гурьянов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь»*

Научный руководитель Т. В. Алфёрова, канд. техн. наук, доцент

Современные промышленные предприятия работают в цикле непрерывного производства, перебои в работе которых приводят к тяжелым экономическим потерям. Это накладывает повышенные требования к системам производства и распределения электрической энергии, а следовательно, и к элементам, составляющим эти системы. Одними из главнейших элементов систем распределения электрической энергии являются силовые трансформаторы. Своевременное обнаружение дефектов трансформаторов позволяет предотвратить возникновение аварийных ситуаций, а также эффективнее планировать вывод трансформаторов из работы для проведения ремонтных работ.

Рассмотрим основные дефекты трансформаторов [1]. Отклонения от нормы могут возникнуть из-за несовершенства конструкции, скрытых дефектов материалов, плохой сборки, нарушений правил транспортировки, монтажа, эксплуатации. Все эти факторы постепенно влияют на надежность трансформатора и их раннее выявление позволит избежать аварий.

К основным дефектам трансформаторов относят:

- повреждение высоковольтных вводов (воздействие влаги на масляной гидрозатвор – масло увлажняется и в нем возникают разряды, расплзающиеся прожоги, короткие замыкания на заземляющую часть);
- повреждение устройств регулирования напряжения (перекосы, окисление контактов, нарушение кинематики);
- повреждения обмоток и главной изоляции трансформаторов (загрязнение или увлажнение трансформаторного масла, возникновение ползущего разряда, пробой, разбухание слабо намотанной изоляции, нарушения в работе системы охлаждения, чрезмерные перегрузки трансформатора по току и напряжению, местный нагрев);
- повреждения вспомогательных узлов и устройств (повреждение маслонасоса, попадание металлических частиц и других примесей в трансформаторное масло, неисправность стрелочного маслоуказателя).

В настоящее время существует множество методов оценки технического состояния трансформаторов. Предпочтительными являются те методы технической диагностики, для осуществления которых не требуется снятие рабочего напряжения. Наибольшее распространение получили следующие методы:

- тепловизионное обследование;
- вибродиагностика;
- анализ масла из бака трансформатора.

Тепловизионное диагностирование силовых трансформаторов является довольно сложной процедурой, так как при образовании локальных дефектов в трансформаторах они «заглушаются» естественными тепловыми потоками от магнитопровода и обмоток. К тому же функционирование охлаждающих устройств, которое способствует ускоренной циркуляции масла, сглаживает распределение температур в месте дефекта. При анализе результатов компьютерной диагностики необходимо учитывать конструктивные особенности трансформаторов, тип используемой системы ох-

лаждения обмоток и магнитопровода, условия и продолжительность эксплуатации, технологию изготовления и множество других факторов [2]. Кроме того, на погрешность измерения влияют массивные металлические части трансформаторов, в том числе бак, прессующие кольца, экраны, шпильки и т. п., в которых тепло выделяется за счет добавочных потерь от вихревых токов, наводимых полями рассеяния.

Тепловизионное диагностирование позволяет решать актуальные практические задачи, такие как:

- массовое обследование огромного объема электрооборудования одной бригадой из трех человек с одной тепловизионной камерой;

- выявление значительного количества аппаратов, находящихся в предаварийном состоянии (дефектные контактные соединения, трансформаторы тока, конденсаторы связи, вентильные разрядники и ОПН);

- выявление таких дефектов, которые не могут быть выявлены никакими другими методами, например, местный перегрев конструктивных элементов баков силовых трансформаторов, нагрев соединительных болтов в поддерживающих металлических конструкциях шинопроводов или перегрузки отдельных элементов вентильных разрядников 110 кВ и выше.

В настоящее время при проведении тепловизионного обследования ставят в основном задачи выявления участков локального теплового перегрева, обусловленного потенциальными дефектами, и при их обнаружении задачу считают выполненной. Это сужает рамки обследования и не позволяет использовать инфракрасную технику в полной мере. Превратить тепловизионное обследование в полноценный способ технического диагностирования можно на основе разработки математических методов и компьютерных технологий обработки результатов обследований. Для решения подобных задач широко используются нейронные сети (нейросети), при помощи которых можно сколь угодно точно равномерно приблизить любую непрерывную функцию многих переменных на любом замкнутом множестве. Обучение нейросети происходит на основе данных, получаемых системой мониторинга во время ее работы, что позволяет создать модель, учитывающую особенности конкретного трансформатора. Полученная таким образом модель позволит определять относительную скорость износа изоляции в зависимости от состояния следующих параметров: температуры охлаждающей среды, нагрузки, состояния систем охлаждения [3].

Вибрационное обследование силовых трансформаторов является достаточно эффективным способом оценки некоторых аспектов их технического состояния [4]. В процессе вибрационного обследования производится в основном определение качества взаимного крепления внутренних и внешних элементов трансформатора, определяется целостность конструкции, диагностируется состояние механизмов системы охлаждения.

По мере развития неисправностей происходит изменение динамических процессов, качественные и количественные изменения сил, воздействующих на отдельные детали. В результате изменяется как сам уровень механических колебаний, так и их форма. С физической точки зрения вибрация на поверхности бака мощного трансформатора качественно и количественно хорошо коррелируется с состоянием прессовки обмотки и магнитопровода. Изменение степени прессовки в процессе эксплуатации приводит к изменению общей вибрационной картины, усилению вибрации, изменению ее частоты, появлению модулированных колебаний. С данными изменениями довольно часто сталкиваются работники эксплуатационных служб, которые выполняют осмотры работающих трансформаторов.

Анализ вибрационных сигналов производится на основании сравнения спектров. Основной частотой в трансформаторах является 100 Гц [4]. Именно на этой частоте, равной удвоенной частоте питающей сети, действуют силы магнитоstriction в сердечнике и электродинамические усилия в обмотках.

Состояние прессовки магнитопровода определяется по вибрациям в режиме холостого хода. Совместный анализ вибрации в режимах холостого хода и нагрузки позволяет разделить вибрационные процессы в различных элементах трансформатора.

Важным достоинством применения вибрационных диагностических методов является возможность проведения технической оценки качества прессовки обмоток и магнитопровода трансформатора.

Хромотографический анализ газов, растворенных в масле трансформатора, позволяет выявлять повреждения трансформатора по наличию определенных наборов газов и их концентрации. С помощью анализа количества и соотношения газов в трансформаторном масле можно обнаружить следующие дефекты в трансформаторе [5]:

- перегревы токоведущих частей и элементов конструкции магнитопровода;
- дефекты твердой изоляции;
- электрические разряды в масле.

Состояние оборудования оценивается сопоставлением полученных при анализе количественных данных с граничными значениями концентрации газов и по скорости роста концентрации газов в масле. Важно различать нормальные и чрезмерные объемы газа. Нормальное старение или газовая генерация изменяется в зависимости от конструкции трансформатора, нагрузки и типа изоляционных материалов.

Как правило при таком методе диагностирования анализируются концентрация водорода, этана, диоксида углерода, ацетилен, метана, этилена, окиси углерода.

Таким образом, своевременное проведение технической диагностики трансформаторов позволяет снизить количество их неплановых отказов, повысить надежность и динамическую устойчивость систем электроснабжения.

### Л и т е р а т у р а

1. Хренников, А. Ю. Техническая диагностика, повреждаемость и ресурсы силовых и измерительных трансформаторов и реакторов : монография / А. Ю. Хренников, В. Г. Гольдштейн М. : Энергоатомиздат, 2007. – 86 с.
2. Современные методы диагностики тяговых трансформаторов железнодорожных дорог и построение экспертной системы для обработки результатов тепловизионной диагностики тяговых трансформаторов ВСЖД. – Режим доступа: <http://www.works.doklad.ru/view/uafmNRJjw0/all.html>. – Дата доступа: 03.05.2021.
3. Бережной, А. В. Применение нейронных сетей для моделирования относительной скорости износа изоляции трансформаторного оборудования / А. В. Бережной, Е. Г. Дашевский // Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. Техн. науки. – 2010. – № 5. – С. 44–46.
4. Гавриленко, А. В. Методика вибрационного обследования силовых трансформаторов / А. В. Гавриленко, А. П. Долин, 2004.
5. Сидельников, Л. Г. ООО «ТестСервис» Диагностика масла в силовых трансформаторах / Л. Г. Сидельников, А. М. Седунин, А. Ю. Сыкулев.