

тий по установке БДЗ и возможные ущербы при отказе от их установки (с учетом установки АЛАР на ТЭЦ «Восточная»).

Учитывая остроту проблемы управления надежностью электроснабжения, необходимо обеспечить сохранение ее экономически обоснованного уровня. Для этого целесообразно:

- 1) требование запретить разгрузку станций (кроме АЭС) путем отключения генераторов при возмущениях III группы признать излишним и не соответствующим действующим НТД;
- 2) исключить из типовых требований СО пункты, направленные на запрет действия отключения генераторов (кроме АЭС), т.е. приведение их в соответствие требованиям МУ по устойчивости;
- 3) проводить дополнительное усиление сети с целью повысить надежность (при наличии заключения об экономическом обосновании).

---

1. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем, утвержденные приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 281.

2. Методические указания по устойчивости ЭЭС, утвержденные приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277.

3. НИР «Разработка предварительного технико-экономического обоснования реконструкции системы противоаварийной автоматики в энергосистеме операционной зоны филиала ОАО «СО ЕЭС» Приморское РДУ; «Расчеты режимов и устойчивости энергосистемы операционной зоны филиала ОАО «СО ЕЭС» Приморское РДУ на перспективу развития энергосистемы до 2010 и до 2015 годов».

4. Официальный сайт АО «ДРСК» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.drsk.ru/>

5. Официальный сайт АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://so-ups.ru/>

6. Стандарт организации АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.240.001-2011.

7. Стандарт организации АО «СО ЕЭС» СТО 9012820.29.240.001-2011 (в ред. 2014 г.)

УДК 621.314.2.001.4

**М.В. Апенин, А.А. Большачков, А.Н. Козлов**

### **МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

*В статье показан качественный анализ методов диагностики состояния маслонаполненного электрооборудования с целью сравнения их эффективности.*

*Ключевые слова: диагностика, трансформатор, хроматография, тепловизор, спектрограмма.*

### **DIAGNOSTIC METHODS OF OIL-FILLED ELECTRIC EQUIPMENT**

*The article gives a qualitative analysis of diagnostic methods of oil-filled electrical equipment condition in order to compare their efficiency.*

*Key words: diagnostics, transformer, chromatography, thermal imager, the spectrogram.*

На протяжении последних лет наблюдается неуклонный рост количества силовых трансформаторов, срок эксплуатации которых по действующим нормам приблизился к предельно допустимому. Наиболее разумным выходом из сложившейся ситуации могла бы стать массовая замена изношенных трансформаторов новыми. Однако по экономическим причинам это мероприятие в короткие

сроки осуществить затруднительно. С другой стороны, надежная работа трансформаторов должна быть обеспечена несмотря ни на что. В связи с этим актуальным является выполнение комплекса организационных и технических мероприятий для поддержания надежности на уровне не ниже заданного. Среди этих мероприятий необходимо выделить диагностику как информационную основу данного комплекса. Трансформаторы – дорогостоящие элементы, поэтому своевременное обнаружение и устранение дефектов в отдельных их элементах значительно дешевле по сравнению с ремонтом в результате аварийного выхода из строя.

Согласно ПТЭ п. 5.3.1: «При эксплуатации трансформаторов (автотрансформаторов) и шунтирующих масляных реакторов должны выполняться условия их надежной работы. Нагрузки, уровень напряжения, температура отдельных элементов трансформаторов (реакторов), характеристики масла и параметры изоляции должны находиться в пределах установленных норм; устройства охлаждения, регулирования напряжения, другие элементы должны содержаться в исправном состоянии» и п. 5.14.1: «При эксплуатации энергетических масел должны быть обеспечены: надежная работа технологических систем маслonaполненного оборудования; сохранение эксплуатационных свойств масел; сбор и регенерация отработанных масел в целях повторного применения по прямому назначению». Согласно РД п. 6.1: «В процессе эксплуатации трансформаторного масла выполняется сокращенный анализ масла, при необходимости выполняются различные испытания масла, входящие в объем полного анализа (помимо сокращенного анализа)» [1, 2].

Для диагностики маслonaполненного оборудования разработан ряд методов и технических средств, основными из которых являются методы физико-химической диагностики, тепловизионная техника, методы акустического контроля и некоторые методы электрического контроля. Каждый метод направлен на выявление определенных дефектов, и до настоящего времени не разработан такой, который бы позволял выявлять повреждения и отклонения от нормы во всех узлах трансформатора.

В качестве рассматриваемых методов анализа и диагностики электрооборудования были выбраны хроматографический, тепловизионный и спектрографический.

*Тепловизионные обследования.* Инфракрасная термография, или тепловизионные обследования электрооборудования – достаточно эффективная технология для обнаружения точек повышенного нагрева электрооборудования и точек контактов в местах их соединения. Тепловизионное обследование позволяет сэкономить на ремонте последствий возможных аварий, повысить срок эксплуатации оборудования и не допустить существенных затрат благодаря своевременному обнаружению возможных дефектов. Тепловизор дает возможность выявить нагрев, часто невидимый невооруженным глазом, что позволяет сделать количественный анализ повышения температуры. Чувствительность тепловизора позволяет отображать и записывать перепады температуры в пределах  $0,3^{\circ}\text{C}$ , что намного превышает значения, необходимые для выявления дефектов в электрооборудовании.

Обследование дает возможность мгновенно обнаружить и отобразить нагрев зон наиболее часто встречающихся повреждений в электрооборудовании, вызванных различными отклонениями условий его эксплуатации.

Основные недостатки тепловизионной диагностики электрооборудования:

солнечная радиация способна нагревать контролируемый объект и давать ложные аномалии на объектах с высокой отражательной способностью, поэтому оптимальное время для проведения диагностики – ночь или пасмурный день;

ветер – диагностика на открытом воздухе сопряжена с влиянием на тепловые поля динамики воздушных масс. Причем охлаждающее влияние может быть настолько интенсивным, что данные диагностики могут иметь нерелевантный характер. Не рекомендуется проводить обследования при скорости ветра, превышающей 8 м/с [3].

По результатам тепловизионных обследований компонентов электрооборудования готовится доклад с комплектом фотоснимков объектов обследования. При обнаружении в ходе обследования серьезных дефектов немедленно информируется персонал, обслуживающий электроустановку. Весь процесс тепловизионного обследования также записывается на компакт-диск для просмотра, анализа и архивирования [4].

*Хроматографический анализ.* Хроматографический анализ газов, растворенных в трансформаторном масле, смог бы обеспечить надежное качественное и количественное определение содержащихся в нем соединений. Это комплексный метод, объединивший стадию разделения сложных смесей на отдельные компоненты и стадию их количественного определения. По результатам хроматографического анализа проводится оценка состояния маслonaполненного оборудования [5].

Хроматографический анализ газов, растворенных в масле, позволяет выявить дефекты трансформатора на ранней стадии их развития, предполагаемый характер дефекта и степень имеющегося повреждения. Состояние трансформатора оценивается сопоставлением полученных при анализе количественных данных с граничными значениями концентрации газов и скорости роста концентрации газов в масле. Этот анализ для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше должен осуществляться не реже одного раза в 6 месяцев [5].

Основными газами, характеризующими определенные виды дефектов в трансформаторе, являются: водород  $H_2$ , ацетилен  $C_2H_2$ , этан  $C_2H_6$ , метан  $CH_4$ , этилен  $C_2H_4$ , окись  $CO$  и двуокись  $CO_2$  углерода [5].

Водород характеризует дефекты электрического характера (частичные, искровые и дуговые разряды в масле); ацетилен – перегрев активных элементов; этан – термический нагрев масла и твердой изоляции обмоток в диапазоне температур до  $300^\circ C$ ; этилен – высокотемпературный нагрев масла и твердой изоляции обмоток выше  $300^\circ C$ ; окись и двуокись углерода – перегрев и разряды в твердой изоляции обмоток [5].

Метод жидкостной хроматографии позволяет определять и контролировать необходимое содержание в трансформаторном масле антиокислительных присадок, защищающих масло и другие изоляционные материалы трансформатора от старения [5].

Принципиальный недостаток большинства таких методов – необходимость сложных лабораторных анализов, которые невозможно (или очень сложно) реализовать в виде экспресс-анализа и в системах online мониторинга трансформаторов.

Кроме того, по результатам традиционных исследований характер и глубина деструктивных изменений углеводородной основы масел остаются невыясненными [6].

*Оптическая спектроскопия.* Это один из перспективных методов диагностики маслonaполненного электрооборудования, позволяющих провести анализ в наиболее короткие сроки.

Свет, попадающий на стеклянную призму, разлагается в спектр, только применяют не стеклянную призму, а дифракционные решетки. Проходящий через пробирку с веществом свет изменяет свой спектр, и по этим изменениям можно понять, что за вещество и какие частицы примесей она содержит, их температуру и химический состав.

Исследования трансформаторного масла, помещенного в кварцевую кювету, проводятся при помощи спектрофотометра. Технически это происходит следующим образом: на молекулу падает фотон от лазера, который передает ей часть энергии, энергия расходуется на колебания атомов и возбуждает в молекуле какое-либо из возможных движений атомов. Рассеянный фотон теряет энергию, а значит, увеличивается его собственная длина волны. Как раз эта длина рассеивания волны и анализируется спектрометром. Так как каждая молекула имеет свой уникальный набор колебаний и вращений атомов, становится возможным их распознавать. Результат спектрального разложения мы видим в виде графика, который помогает определить содержание примесей в исходном образце.

Спектрограмма – наиболее эффективный метод, так как весь эксперимент занимает не более минуты, что позволяет считать его экспресс-анализом качества масла в электрооборудовании.

Оптический экспресс-анализ дает возможность определить окисленность масел и оценить глубину их термоокислительной деструкции, выявить и дифференцировать термические и разрядно-дуговые процессы в оборудовании, установить концентрацию в масле присадки ионов.

Оптические исследования изоляционных масел в фундаментальной ИК-области позволяют определять отдельные продукты окисления в маслах, оценить деградацию их углеводородной основы, концентрацию сработавшего ионнола.

1. РД 34.20.501-95 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» [Электронный ресурс] URL: [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/2/2785/#i813912](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2785/#i813912) (дата обращения 18.09.2016).

2. РД 34.43.105-89 «Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел» [Электронный ресурс] URL: [http://www.transform.ru/sst/\\$rd/34.43.105-89.htm](http://www.transform.ru/sst/$rd/34.43.105-89.htm) (дата обращения 18.09.2016).

3. Некоторые аспекты тепловизионной диагностики электрооборудования [Электронный ресурс] URL: [http://www.geo-engine.ru/article/article\\_7.html](http://www.geo-engine.ru/article/article_7.html) (дата обращения 18.09.2016).

4. Диагностика электрооборудования [Электронный ресурс] URL: <http://teplovizo.ru/diagnostika-elektrooborudovaniya.htm> (дата обращения 18.09.2016).

5. Хроматографический анализ – Эксплуатация силовых трансформаторов [Электронный ресурс] URL: <http://leg.co.ua/instrukcii/pidstanciyi/ekspluatatsiya-silovyh-transformatorov-5.html> (дата обращения 18.09.2016).

6. Использование методов оптической спектроскопии для диагностики минеральных изоляционных масел [Электронный ресурс] URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33055> (дата обращения 18.09.2016).

УДК 621.314.24.004

Д.Е. Ленский, Ю.В. Мясоедов

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ  
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ 3-1150 КВ:  
ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА**

*В статье рассматриваются виды, методы цифровой диагностики высоковольтного оборудования, а также выявляется наиболее эффективный способ диагностики.*

*Ключевые слова: цифровая диагностика, online контроль оборудования.*

**MODERN DIAGNOSTIC METHODS FOR THE TRANSFORMER SUBSTATIONS  
EQUIPMENT OF KV 3-1150 VOLTAGE CLASS: TECHNICAL DIAGNOSTICS**

*The article discusses types and digital diagnostics methods for high voltage equipment, and identifies the most effective diagnostic method.*

*Key words: digital diagnostics, online control equipment.*

Техническая диагностика – это контроль работоспособности и исправности обследуемого объекта по результатам специально проводимых испытаний, измерений, наблюдений.

Результатами диагностики являются: 1) прогноз о сроках (длительности) сохранения рабочих качеств и свойств в течение последующей эксплуатации, указывается дата следующего контроля; без прогноза диагностика не может считаться полноценной; 2) выявление вида дефекта или повреждения,