

УДК 621.313.333

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Н. В. ГРУНТОВИЧ, И. В. ПЕТРОВ

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

П. М. КОЛЕСНИКОВ

ОАО «Гомельтранснефть «Дружба», Республика Беларусь

Введение

Отказы силовых маслонаполненных трансформаторов 110–330 кВ приводят к большим экономическим потерям как на промышленных предприятиях, так и в энергосистеме Республики. В табл. 1 приведены отказы силовых трансформаторов в 1994–1998 гг. [1].

Таблица 1

Отказы силовых трансформаторов

Компонент	Вид повреждения	Число отказов в общем числу, %
1. Обмотки	Электрический пробой	34
	Механические деформации	10,7
	Термический износ	1,6
	Всего	26,4
2. Главная изоляция обмоток и отводов	Диэлектрический пробой, частичные или ползущие разряды	14
3. Остов, электромагнитные шунты	Перегрев, искрение в масле	8,3
4. Отводы	Повышенный нагрев, механические повреждения	4,1
5. РПН	Перегрев контактов	8,3
	Повреждение или частичные разряды (ЧР) в изоляции	5,0
	Механические нарушения	0,83
	Всего	14
6. Вводы	Пробой внутренней изоляции	28
	Перегрев контактных соединений	5
	Всего	33
	<i>Итого</i>	100

Разные авторы приводят другие цифры. Например, имеются такие данные: отказы вводов – 28 %, отказы обмоток – 29 %.

Капитальный ремонт трансформатора стоит 50–70 % от стоимости нового в зависимости от объема работ, а стоимость нового трансформатора – в среднем, 15–20 \$ США за 1 кВА с учетом мощности [2].

Проблема старения высоковольтного электроэнергетического оборудования является крайне актуальной как для Республики Беларусь, так и для других стран. На-

пример, в США по состоянию на 1997 г. около 65 % силовых трансформаторов отработали более 25 лет, в Японии более 30 % парка трансформаторов старше 30 лет, в России около 50 % основных фондов электроэнергетики имеют наработку более 25 лет. По состоянию на конец 2005 г., средний срок эксплуатации электрооборудования Украины уже превышает половину проектного, что приводит к снижению надежности его функционирования, возрастанию аварийности [1], [2]. Обеспечение эксплуатационной надежности трансформаторов в условиях, когда темпы старения значительно опережают темпы их замены, возможно за счет разработки новых технологий и практических методов оценки их технического состояния. Наиболее квалифицированное решение по повышению надежности трансформатора может быть получено с применением методов экспертных систем, разработки которых успешно ведутся как в Украине, России, так и в Республике Беларусь.

Целью статьи является анализ принципов построения и функциональных возможностей экспертных систем, используемых для диагностирования высоковольтных маслонаполненных трансформаторов.

Решение задачи

За последние десятилетия разработан ряд эффективных методов технического диагностирования трансформаторов как во время работы под нагрузкой (хроматография, тепловизионный контроль, физико-химический анализ масла, регистрация частичных разрядов, измерение вибрации бака трансформатора), так и после отключения трансформаторов от сети (измерение потерь x_x и Z_k , коэффициент поляризации, измерение омического сопротивления обмоток). В последнее время $tg \delta$ вводов пытаются измерять во время работы в автоматическом режиме.



Рис. 1. Методы обнаружения дефектов, где A, B, C, D, E, F, G, K, L – условные обозначения дефектов

После накопления определенного опыта в диагностировании трансформаторов целый ряд фирм России и Украины начали разработку экспертных систем. В табл. 2 представлен сравнительный анализ одиннадцати систем, разработанных до коммерческой стадии, имеющих опыт эксплуатации [3].

Таблица 2

ЭС диагностики маслонаполненного оборудования

Название диагностической системы	Информационные объекты					Выполняемые задачи							Стадия разработки и опыт работы			
	Трансформаторы, реакторы	Высоковольтные вводы	Измерительные трансформаторы	Выключатели	ОПН, разрядники, кабели	Диагностика	Планирование ТОиР	Интерпретация ХАРГ/Расчет хроматограмм	Анализ повреждаемости	Справочная система	Экономическая оценка, ранжирование	Динамическая система	Коммерческие образцы	Опытные образцы	Начало внедрения	Количество внедрений
«Диана», Чирков С. Л.	+	+	+	+	+	+	+							+	1990	8–10
«ДиаХром-2000/Полихром», МЭИ	+	+				+	+	/+						+	1991	100
«ЭДИС Альбатрос», УГТУ	+	+	+	+		+	+	+/-	+		+			+	1991	200
«Диагностика+», ИГУ	+	+	+	+	+	+	+	+/-		+		+	+		1992	30
«MultiTest», Владимирэнерго	+	+	+	+	+	+	+							+	1993	30
«Трансформатор/ Элхром», ВЭИ	+					+		/+						+	1987	3–6
«Хроматэк Аналитик/Энергетик», ЗАО «Хроматэк»	+	+				+		/+						+	1995	400
«Диагностика СТ», Донецкая ЭС, Украина	+					+								+	1995	5–10
«ИС диагностики состояния ЭО» ЭТЛ-Сервис, Украина	+	+	+			+	+	+		+				+	2000	7–9
«АС для оценки тех состояния ЭО», ДонОГРЭС	+	+	+	+	+	+	+			+				+	2001	1
«Диагностика СТ», ОАО «Транснефтьналадка»	+	+				+								+	2002	1–3

Ценность экспертных систем проявляется в нескольких аспектах:

- сбор, уточнение, кодирование и распространение экспертных знаний;
- решение проблем, сложность которых превышает человеческие возможности;
- решение проблем, требующих объема знаний, которого один человек не в состоянии охватить;
- решение проблем, для которых требуются экспертные знания из нескольких областей;
- сохранение наиболее уязвимой ценности коллектива – коллективных знаний и памяти.

Более 30 параметров должен контролировать эксплуатационный персонал, чтобы определить техническое состояние различных узлов, деталей и частей трансформатора. Только анализ трансформаторного масла должен проводиться по 13 критериям.

На рис. 2 представлена функциональная схема экспертной системы, разработанная группой специалистов ОАО «Белгорхимпром» под руководством профессора Н. В. Грунтовича.

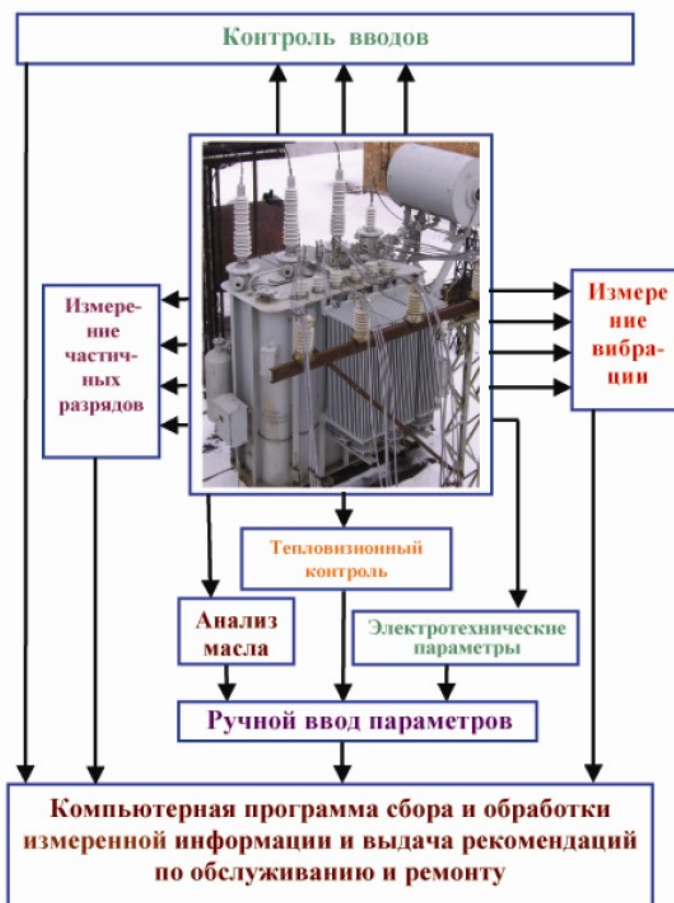


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной системы технического диагностирования трансформаторов 110–330 кВ

Разработанная экспертная система диагностирования трансформаторов решала следующие задачи:

- создание банка дефектов, признаков и выдача протоколов по результатам диагностирования;
- определение остаточного ресурса и аварийного состояния трансформатора по уровню вибрации;
- определение остаточного ресурса и аварийного состояния трансформатора по уровню частичных разрядов;
- определение остаточного ресурса и аварийного состояния трансформатора по результатам термографического обследования;
- определение остаточного ресурса и аварийного состояния вводов 110 кВ по комплексу параметров;
- определение остаточного ресурса и аварийного состояния трансформатора по концентрации газов, растворенных в масле;

– локализация дефектов в трансформаторе по результатам контроля электротехнических параметров;

– определение остаточного ресурса и аварийного состояния трансформатора по величине частичных разрядов и уровню вибрации.

Для выявления дефектов в экспертных системах используются эталоны и различные математические модели. Эталоны могут быть представлены в табличной форме (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Физико-химический анализ масла

Дата измерения	Пробивное напряжение, кВ	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С	Влажосодержание, г/г	Содержание механических примесей, %	tgδ, % 90 °С	Содержание водорастворимых кислот и щелочей, мг КОН/г
Бак							
норма	35	0,25	125	30	13	15	0,014
14.03	79	0,005	136	8	12	0,695	отсутствует

Таблица 4

Хроматографический анализ растворенных в масле газов

Дата измерения	Концентрация растворенных в масле газов, ppm (мкл/л)						
	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂
Бак							
Граничные значения	0,01	0,01	0,06	0,8	0,01	0,005	0,001
14.03	0,0069	0,0089	0,045	0,13	0,0014	0,0106	0,00006

Эталоны могут быть представлены в виде графиков виброакустических характеристик (рис. 3).

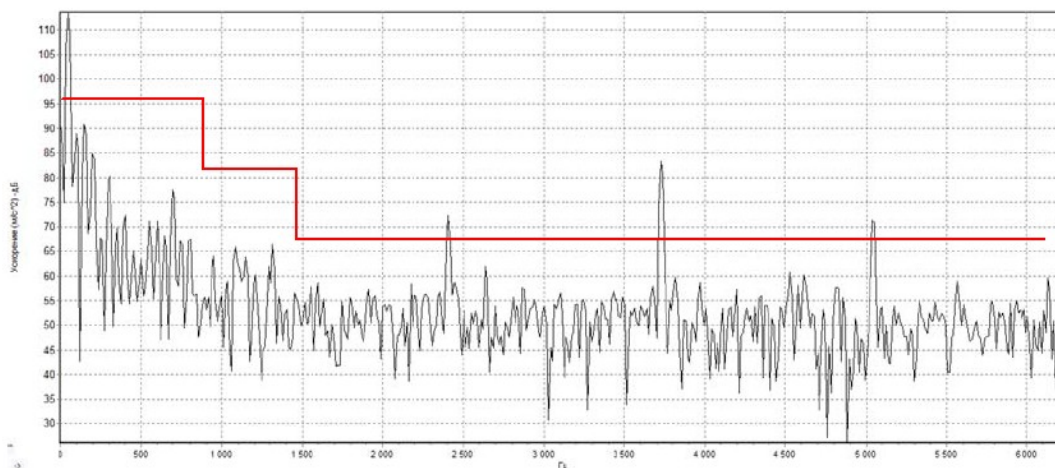


Рис. 3. Виброакустическая характеристика трансформатора

Хроматографический анализ газа может быть представлен в виде графиков-эталонов (рис. 4).

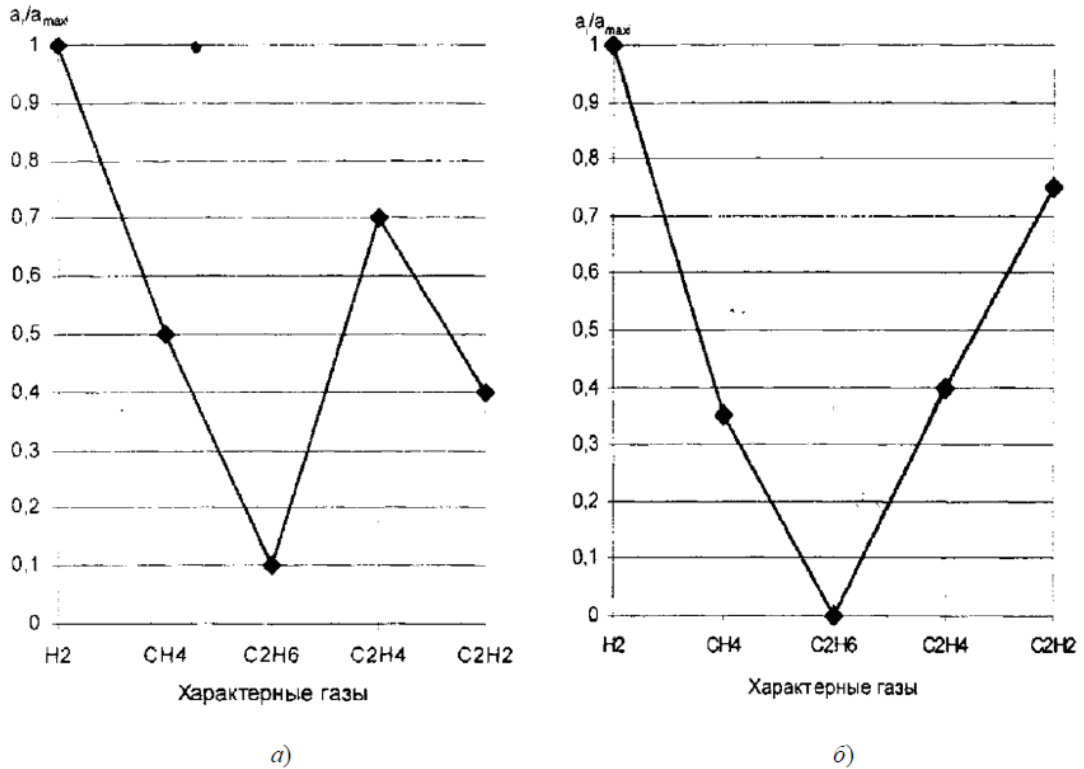


Рис. 4. Хроматографический анализ газов, вызванных:
а – искрением; б – дугой

Заключение

1. Экспертные системы позволяют сохранять и формализовать большой объем знаний специалистов экспертов, которые можно использовать как для практического диагностирования, так и для обучения специалистов по эксплуатации трансформаторов.
2. Экспертные системы технического диагностирования трансформаторов строятся по модульному принципу. Количество модулей зависит от объема решаемых задач.
3. Из опыта эксплуатации трансформаторов следует, что стационарными системами контроля должны быть системы диагностирования вводов и интегральная оценка горючих газов. Остальные системы могут быть мобильными и устанавливаться для мониторинга предотвращения аварийных ситуаций.

Литература

1. Агопян, Г. Е. Основные принципы системы технической диагностики маслонаполненного электрооборудования высокого напряжения / Г. Е. Агопян, В. В. Смекалов, П. М. Сви // Электрические станции. – 1991. – № 3.
2. Бедерак, Я. С. Построение систем мониторинга силовых трансформаторов / Я. С. Бедерак, Ю. Л. Богатырев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://silovoytransformator.ru>.
3. Шутенко, О. В. Анализ функциональных возможностей экспертных систем, используемых для диагностики состояния высоковольтного маслонаполненного оборудования / О. В. Шутенко, Д. В. Баклай. – НТУ. – ХПИ.