

---

**УДК 543.544.25**

Ю.В. СНИГИРЕВА, зав. лабораторией (КГЭУ)  
ВУ НГОК ЗАН, аспирант (КГЭУ)  
НГУЕН ЗУИ ХЫНГ, аспирант (КГЭУ)  
А.В. ТАНЕЕВА, доцент (КГЭУ)  
В.Ф. НОВИКОВ, профессор (КГЭУ)  
г. Казань

**ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ  
МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

С целью профилактики аварийных ситуаций на трансформаторных подстанциях в энергетических системах постоянно проводят мониторинг и диагностику силового оборудования. Диагностика силовых трансформаторов осложняется отсутствием максимально полной информации об условиях технической эксплуатации оборудования, характеристик электрических нагрузок, количества коротких замыканий в системе, температурных режимов испытаний при текущих и капитальных ремонтах и др. [1].

При техническом обследовании трансформаторного оборудования под номинальным напряжением, как правило, анализируют результаты технических архивов, эксплуатационную документацию, экспериментальные результаты измерений и испытаний, тепловизионные исследования, определение уровня частичных разрядов, а также вибрационные характеристики. Кроме того проводят диагностику маслонаполненных систем охлаждения, силовых трансформаторов, переключающих устройств, а также физико-химический анализ трансформаторного масла в том числе с использованием хроматографических методов анализа [2].

Для определения концентрации легкокипящих газов, выделяющихся из трансформаторного масла в процессе эксплуатации силовых трансформаторов используется газохроматографический метод, на основании результатов которого проводится диагностика развивающихся в трансформаторном оборудовании дефектов. В данном случае диагностика проводится по соотношению концентрации газов, в качестве которых используются: метан, этан, этилен, водород, ацетилен, оксид и диоксид углерода. В результате определенной комбинации этих газов делается вывод о развитии термических и электрических дефектов в трансформаторном оборудовании [3-4].

Известно, что в силовых трансформаторах в качестве твердой изоляции используется электротехнический картон, который под воздействием

---

высокой температуры, влажности, вибрации и электромагнитных полей может подвергаться частичной деструкции в результате гидролитического и термоокислительного превращения целлюлозы. В результате деструкции электротехнического картона образуются фурановые производные, фурфурол, фурфуриловый спирт, 5-метил фурфурол и ацетилфуран, содержание которых необходимо контролировать, так как они ухудшают диэлектрические свойства трансформаторного масла, что может привести к выходу из строя трансформаторного оборудования.

К одним из наиболее перспективных методов диагностики маслona-полненного электрооборудования относятся хроматографические, которые позволяют с достаточно высокой точностью определять концентрацию газообразных и жидких продуктов деструкции трансформаторного масла и твердой изоляции. Для полного анализа трансформаторного масла используют хромато-масс-спектрометры, которые позволяют проводить идентификацию различных компонентов трансформаторного масла. Анализ газов, выделяющихся из трансформаторного масла проводят методом газовой хроматографии с использованием двух насадочных колонок, пламенно-ионизационного детектора и катарометра. Для пробоподготовки трансформаторного масла проводят извлечение легкокипящих компонентов с использованием технологии парофазного анализа, когда концентрация анализируемых компонентов в жидкой фазе равноценна концентрации в газовой фазе в соответствии с коэффициентом распределения в системе жидкость-газ.

Для определения фурановых соединений в трансформаторном масле используется высокоэффективная жидкость-жидкостная или тонкослойная хроматография [5-7], а фурановые соединения в трансформаторном масле определяют также методом газожидкостной хроматографии с использованием новых сорбентов, полученных на основе арсенированных органических соединений [8]. Были определены абсолютные времена удерживания фурановых соединений на различных по физико-химической природе сорбентах. В качестве стандартного образца сравнения использовали сорбент, полученный на основе полиэтиленгликоля молекулярной маркой -4000, который достаточно часто используется для анализа фурановых соединений в трансформаторном масле. Определён порядок элюирования компонентов из трансформаторного масла с использованием в качестве сорбента пара-метиларсиновой кислоты, нанесенной на инертный твердый носитель в количестве до 15% от массы.

Для определения в изоляционных маслах фенолсодержащих ингибиторов, антиокислительных присадок, пассиваторов и депрессорных присадок, понижающих температуру застывания используют комплекс хроматографических методов, включая газовую и высокоэффективную жидкость-

жидкостную хроматографию, масс-спектрометрию, гель проникающая хроматографию [9].

Таким образом хроматографические методы анализа позволяют осуществить достаточно полный контроль технического состояния маслona-полненного электрооборудования, что позволяет увеличить срок его эксплуатации.

Список литературы:

1. Ванин Б.В., Львов Ю.Н., Львов М.Ю., Неклепаев Б.Н., Антипов К.М., Сурба А.С., Чичинский М.И. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110- 500 кВ в эксплуатации электрических станций.// Электрические станции - 2001, № 9, С. 53-58.
2. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов: монография. - Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т., 2012. - 176 с.
3. РД 34.43.-105-89. Методические указания по эксплуатации трансформаторных масел. - М.: СПО Союзтехэнерго. -1989. - 86с.
4. Хамясмаа А.И., Дмитриев С.А., Кокин С.Е., Осотова М.В. Оценка состояния силовых трансформаторов на основе анализа данных технической диагностики. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2013. – Т. – 13. - № 2., С. 114-120.
5. Львов Ю.Н., Писарева Н.А., Сапожников Ю.М. Применение тонкослойной хроматографии при определении макроколичеств фурановых производных в изоляционном масле электрооборудования. // Электрические станции.- 1993.- № 8, С.48-51.
6. РД 34.43.201-88. Типовая инструкция по контролю качества и применению импортных трансформаторных масел.
7. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле// Известия высших учебных заведений: Проблемы энергетики.- 2016 № 1-2,- С. 138-143.
8. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле газохроматографический методом с использованием новых сорбентов // Известия высших учебных заведений: Проблемы энергетики.- 2016 № 1-2,- С. 47-52.
9. ГОСТ Р МЭК 60666 - 2013. Масла изоляционные нефтяные. Обнаружение и определение установленных присадок. Москва. Стандартинформ. 2014, - 28 с.