

РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Бузаев В.В., Сапожников Ю.М. (ОАО «ВНИИЭ»),
Дарьян Л.А., Смекалов В.В., Чичинский М.И. (ОАО «ФСК ЕЭС»)**

В настоящее время для оценки эксплуатационного состояния трансформаторного оборудования широко применяются физико-химические методы исследования жидкой (трансформаторное масло) и твердой (целлюлоза) изоляции. Эти методы позволяют выявлять незначительные изменения в изоляции и эффективно оценивать развитие в ней тепловых и электрических процессов, сопровождаемых химическими процессами, в присутствии таких эксплуатационных факторов, как вода, кислород, кислородосодержащие соединения кислого характера и др.

Известно, что физико-химический анализ трансформаторного масла, накапливающего в себе информацию о происходящих в эксплуатируемом трансформаторном оборудовании процессах, являющихся следствием ухудшения состояния изоляционной и теплоотводящей систем, позволяет выявлять более 60 % его возможных дефектов. В работах [1,2] показана высокая диагностическая ценность хроматографических, спектральных и ряда других методов, позволяющих выявлять происходящие в оборудовании физико-химические процессы и, как следствие, связанные с ними дефекты оборудования на ранних стадиях их развития. Физико-химические методы анализа совершенно обоснованно включены в основной нормативный документ, определяющий требования к контролю состояния трансформаторного оборудования – «Объем и нормы испытания электрооборудования» [3]. Следует отметить, что физико-химические подходы используются не только для контроля, но и для восстановления работоспособности жидкой и твердой изоляции трансформаторов [4].

Одним из наиболее ценных методов диагностики медленно развивающихся в трансформаторном оборудовании дефектов, является газохроматографический метод анализа растворенных в масле газов [5,6]. В ОАО «ВНИИЭ» активно развивается научно-практическое направление, главной целью которого является создание на базе метода газовой хроматографии унифицированного комплекта методических указаний по определению важнейших компонентов эксплуатационных трансформаторных масел для диагностики маслonaполненного трансформаторного оборудования. Внедрение такого комплекта на предприятиях ОАО "ФСК ЕЭС" облегчается тем, что в настоящее время метод газовой хроматографии уже получил широкое распространение: во многих лабораториях энергопредприятий имеются соответствующая аппаратура и обученный работе на этой аппаратуре персонал.

Постоянное совершенствование применяемых в настоящее время диагностических методов осуществляется в следующих трех основных направлениях:

• *Разработка и привлечение новых физико-химических методов анализа.*

Так, например, в последнее время достаточно широко стала применяться жидкостная хроматография, позволяющая кроме уже известных компонентов [7], анализировать в маслах органические и неорганические соли и продукты уплотнения масла.

• *Развитие уже существующих методов в направлении повышения их области применения селективности, чувствительности и точности.*

Это направление обеспечивается применением более совершенной аппаратуры и методических приемов [8, 9, 10].

• *Совершенствование методов оценки и прогнозирования состояния оборудования по результатам анализов.*

Это направление развивается, в основном, за счет разработки методических и математических подходов к уже имеющимся системам и разработкой новых систем диагностики. Данное направление является наиболее актуальным и перспективным.

На основании классификации диагностической ценности характеристик масла, целесообразно разработать нормативные документы по расширению количества контролируемых физико-химических параметров трансформаторного масла и твердой изоляции, а также интерпретации полученных результатов измерений. В частности, представляется целесообразным разработать нормативные документы по выполнению измерений и внедрить в практику использование в системе диагностики следующих физико-химических характеристик.

Для текущего контроля состояния:

- содержание в масле ионола методом газовой хроматографии;
- содержание в масле фурановых производных методом газовой хроматографии.

Для более тщательного контроля состояния (комплексное обследование):

- степень полимеризации бумажной изоляции;
- содержание кислорода и азота в масле;
- содержание в масле связанной влаги;
- содержание в масле продуктов старения по ИК-спектру;
- число омыления масла;
- содержание полиароматических углеводородов в масле;
- содержание полихлорированных бифенилов в масле;
- содержание в масле растворенных металлов (катионов) и металлических частиц.

Перечень приведенных характеристик не претендует на абсолютную полноту и, по-видимому, требует дополнительного уточнения.

С другой стороны, требуется постоянно обеспечивать качественное и полное выполнение физико-химических измерений тех параметров, которые уже внедрены в эксплуатации и используются для целей диагностики электрооборудования. Причинами некачественных измерений до сих пор являются ошибки, вносимые на стадии отбора и доставки образца изоляции, недостаточно качественное, порой устаревшее, измерительное оборудование и погрешности, вносимые операторами в процессе подготовки и проведения измерений. Кроме того, проводимые на многих электросетевых предприятиях испытания и измерения являются неполными по причине отсутствия необходимого измерительного оборудования, методик и специалистов соответствующей квалификации [11].

Таким образом, для обеспечения необходимой достоверности результатов физико-химических измерений необходимо оснастить лаборатории современной измерительной техникой и методиками, организовать должный контроль на всех стадиях выполнения измерений. Следует также учитывать, что активно применяемые в эксплуатации и перспективные физико-химические методы анализа, являясь основой оценки эксплуатационного состояния трансформаторного оборудования, требуют квалифицированного подхода, поскольку приходится работать с высокоточным оборудованием и методиками, определяющими малые и сверхмалые количества вещества.

В последнее время на энергообъектах России активно внедряется высоковольтное элегазовое оборудование. Существующий опыт использования элегазового оборудования, в том числе и поставляемого из-за рубежа, показывает, что, несмотря на заявляемые производителями высокие показатели надежности и срока службы указанного оборудования, необходимость в проведении диагностических мероприятий не отпадает. Проведение диагностики требует разработки и внедрения методов и аппаратуры для анализа элегаза и продуктов его разложения, а также обучение персонала качественным измерениям физико-химических характеристик. Кроме того, должна быть разработана методология проведения диагностики элегазового оборудования, которая на сегодняшний день находится только в начальной стадии развития.

В связи с вышеизложенным, представляется целесообразной разработка и выполнение специальной "Программы создания единой системы обеспечения физико-химических измерений для диагностики электрооборудования ОАО "ФСК ЕЭС".

В Программе должны быть приведены: ответственная организация-исполнитель и соисполнители; сроки ее выполнения; порядок проведения сбора информации о наличии на предприятиях ОАО "ФСК ЕЭС" лабораторий для измерения физико-химических характеристик, степени их оснащенности и наличия квалифицированного персонала; порядок обеспечения лабораторий необходимым унифицированным измерительным

оборудованием (техническое перевооружение) и методиками, включая их разработку и усовершенствование; порядок проведения обучения (повышения квалификации) персонала, аттестации лабораторий и персонала на местах; порядок организации контроля качества измерений.

В результате реализации Программы должна быть создана единая система, включающая следующие основные элементы: объединенную сеть аттестованных лабораторий на предприятиях ОАО "ФСК ЕЭС"; систему обеспечения лабораторий унифицированной измерительной аппаратурой и методиками измерения; систему контроля качества проводимых измерений; систему сертификации средств измерений; систему обучения и повышения квалификации персонала.

Для эффективной организации работ по выполнению Программы целесообразно создать "Центр физико-химических измерений для диагностики электрооборудования", который будет заниматься разработкой и сертификацией методов и средств измерений, обучением и повышением квалификации персонала, контролем за качеством проводимых физико-химических измерений в лабораториях энергопредприятий ФСК.

Целесообразно также сформировать в ОАО "ФСК ЕЭС" "Координационный совет по диагностике высоковольтного электрооборудования", который смог бы стать органом, объединяющим ведущих специалистов в области диагностики. В состав Координационного совета должна быть включена секция "Физико-химических измерений для диагностики электрооборудования".

В обеспечение выполнения Программы Координационный совет и Центр под общим руководством ОАО "ФСК ЕЭС" должны взять на себя реализацию следующих основных направлений:

- Обучение (повышение квалификации) персонала лабораторий энергопредприятий ФСК современным физико-химическим методам анализа изоляционных и охлаждающих сред электрооборудования.

- Аттестацию лабораторий энергопредприятий ФСК, применяющих физико-химические методы анализа изоляционных и охлаждающих материалов и сред электрооборудования; контроль качества измерений.

- Экспертную оценку и сертификацию предлагаемых к внедрению на энергопредприятиях ФСК методов и приборов для физико-химических измерений.

- Проведение арбитражных (контрольных) физико-химических измерений в качестве аттестованной лаборатории.

- Проведение работ по созданию нормативно-технической документации (методические указания, методические рекомендации, руководящие документы и т.п.) по вопросам проведения физико-химического анализа изоляционных и охлаждающих материалов и диагностике состояния электрооборудования.

- Координацию работ по разработке критериев, схем, методов и средств диагностики эксплуатационного состояния электрооборудования на основе физико-химических исследований изоляции и материалов.

- Метрологические аспекты измерений и оценки состояния электрооборудования на основе результатов физико-химических анализов.

- Внедрение на энергопредприятиях прогрессивных физико-химических методов оценки состояния электротехнического оборудования.

- Координацию работ объединенной сети аттестованных лабораторий энергопредприятий ОАО "ФСК ЕЭС".

Создание Координационного совета, Центра и выполнение предлагаемой Программы может стать важной частью создаваемой в настоящее время единой информационно-диагностической системы по электротехническому оборудованию ОАО "ФСК ЕЭС".

Общая схема "Единой системы обеспечения физико-химических измерений для диагностики электрооборудования ОАО "ФСК ЕЭС" приведена на прилагаемом рисунке.

Литература

1. Ванин Б.В., Львов Ю.Н., Львов М.Ю. и др. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации. – Электрические станции, 2001, № 9, с.53-58.
2. Львов М.Ю. Информативность контролируемых показателей при диагностике силовых трансформаторов.– В сб. "Инновации в энергетических технологиях. Доклады юбилейной научно-практической конференции, посвященной 50-летию ИПК Госслужбы" – Т.3. Под ред. О.А. Терешко. М.: ИПК Госслужбы, ВИПКЭнерго, 2002, с.219-224.
3. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97. – М.: изд-во НЦ "ЭНАС", 2000, 256 с.
4. Долин А.П., Крайнов В.К., Смекалов В.В., Шамко В.Н. Повреждаемость, оценка состояния и ремонт силовых трансформаторов. – Энергетик, 2001, №7, с.30-34.
5. Методические указания по подготовке и проведению хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов. РД 34.46.303-98. – М.: ОАО "ВНИИЭ", 1998, 48 с.
6. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. РД 153-34.0-46.302-00. – М.: ОАО "ВНИИЭ", 2001, 41 с.
7. Методика количественного химического анализа. Определение содержания производных фурана в электроизоляционных маслах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. РД 34.43.206-94. – М.: СПО "ОРГРЭС", 1995, 12 с.

8. Бузаев В.В., Сапожников Ю.М. Хроматографический комплекс для анализа газов, воздуха и воды, растворенных в трансформаторных маслах. В сб. "Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 5". – С-Петербург: ПЭИПК, 1997, с.151-153.
9. Туркот В.А. Аппаратура и методики измерения электрических характеристик масел. В сб. "Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 16". – С-Петербург: ПЭИПК, 2001, с.150-153.
10. Дарьян Л.А. Пробоотборники "ЭЛХРОМ" для хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле. В сб. "Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 11". – С-Петербург: ПЭИПК, 2000, с.234-237.
11. РД 153-34.3-46.304-00. Положение об экспертной системе контроля и оценке состояния условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения./Утв. РАО "ЕЭС России" 14.01.00; Разраб. Департамент генеральной инспекции по эксплуатации электрических станций и сетей РАО "ЕЭС России", АО "Фирма ОРГРЭС", АО "ВНИИЭ"; Ввод в действие с 01.06.00. – М.: РАО "ЕЭС России", 2000. – 30 с.

Единая система обеспечения физико-химических измерений для диагностики электрооборудования ОАО «ФСК ЕЭС»

