

Оценка состояния бумажной изоляции силовых трансформаторов по содержанию метанола, растворенного в трансформаторном масле

Л.А. Дарьян^{*}(^a), Р.М. Образцов(^a), А.В. Максимченко(^a), Л.Х. Ле(^b)

^aАО «Техническая инспекция ЕЭС»

Россия

leonid.darian@gmail.com

^bХанойский энергетический университет

Социалистическая республика Вьетнам

Силовые трансформаторы являются одним из важных видов оборудования электрических станций и подстанций. Срок службы силового трансформатора определяется состоянием его бумажной изоляции, которое оценивается по показателю степени полимеризации (СП). В эксплуатации СП оценивается с помощью маркеров старения – продуктов деградации бумажной изоляции, растворенных в трансформаторном масле. Маркеры старения принято делить на три поколения.

К маркерам первого поколения относят воду, оксид и диоксид углерода, а к маркерам второго поколения – фурановые производные. К маркерам третьего поколения относят метиловый спирт (метанол). Известно, что на скорость образования маркеров старения всех трех поколений влияет множество факторов, например, температура масла, конструкция трансформатора, тип бумаги, ее влагосодержание, концентрация кислорода в масле. Оценка степени старения бумажной изоляции по количеству образовавшихся продуктов разложения изоляции (ПРИ) возможна по экспериментальным зависимостям, устанавливающим связь между степенью полимеризации бумажной изоляции и количеством образовавшегося и растворившегося в трансформаторном масле ПРИ. К сожалению, для маркеров старения первого и второго поколений установить однозначную связь между их количеством и степенью старения (деполимеризации) бумажной изоляции в оборудовании, находящемся в эксплуатации, не представляется возможным. Так, например, увеличение содержания воды, оксида и диоксида углерода в трансформаторном оборудовании может произойти за счет проникновения этих компонентов из окружающего трансформатор атмосферного воздуха. Обратная картина наблюдается для маркеров второго поколения: в трансформаторах, оснащенных адсорбционными и термосифонными фильтрами, фурановые производные разлагаются, приводя к «занижению» их концентрации в трансформаторном масле. Таким образом, маркеры, как первого, так и второго поколения не могут обеспечить надежной оценки степени старения бумажной изоляции трансформаторного оборудования.

В последние годы значительно возрос интерес к продукту деградации бумажной изоляции – метанолу. Это химическое соединение отвечает основным требованиям, которые предъявляют к маркерам старения бумажной изоляции. Кроме того, метанол лишен недостатков маркеров старения первого и второго поколений.

Проведенный авторами анализ литературных данных, в частности, методик исследований образования метанола при старении бумажной изоляции под действием повышенной температуры показал актуальность продолжения исследований по двум основным направлениям:

- совершенствование методики проведения исследований и расширение номенклатуры исследуемых материалов, в частности, бумажной изоляции и трансформаторного масла российского производства;

- сбор данных по содержанию метанола в трансформаторном оборудовании различных конструкций и возраста, а также условий эксплуатации.

Объектами выполненного авторами эксперимента явились кабельная бумага марки К-120 и трансформаторное масло марки ГК российского производства. Эксперименты проводились для трех групп образцов бумажной изоляции с различной исходной влажностью: 2 %, 1 % и менее 0,5 %. Подготовленные образцы кабельной бумаги были размещены в испытательные ячейки специальной герметичной конструкции, обеспечивающие компенсацию температурного расширения масла в условиях старения образцов при температуре до 130^oС. При этом соотношение «бумага/масло» по массе выбрано равным 1/18, что является средним показателем для силовых трансформаторов, эксплуатируемых в распределительных сетях Российской Федерации.

Важным требованием при проведении ускоренного старения образцов кабельной бумаги являлось обеспечение поддержания одинаковой температуры во всех испытательных ячейках (более 50-ти) на протяжении всего эксперимента. Для обеспечения этого требования испытательные ячейки размещались в специально разработанном циркуляционном термостате с жидким теплоносителем. Циркуляционный термостат позволял поддерживать градиент температуры в объеме жидкого теплоносителя не более 0,1^oС, что обеспечивало одинаковые условия старения испытуемых образцов бумажной изоляции во всех испытательных ячейках на протяжении всего эксперимента.

Анализ трансформаторного масла на содержание метанола выполнялся на специально сконфигурированном авторами хроматографическом комплексе российского производства. Хроматографический комплекс позволяет уверенно регистрировать концентрацию метанола в трансформаторном масле на уровне 10 ppb.

По результатам лабораторных исследований построена зависимость СП бумажной изоляции марки К-120 от концентрации метанола в трансформаторном масле марки ГК. Проведено сравнение полученных результатов с результатами аналогичных исследований, проведенных в лабораториях различных стран. Результаты сравнительного анализа показали, что марка масла и тип бумажной изоляции не влияют на характер зависимости концентрации метанола от СП бумажной изоляции. Однако значения концентраций метанола при одной и той же степени полимеризации бумажной изоляции разных производителей отличаются. Дано объяснение этому факту.

На основании полученных зависимостей предложена методика интерпретации результатов анализа метанола, растворенного в масле силовых трансформаторов для оценки состояния бумажной изоляции. Предложенная методика была апробирована на трансформаторах, находящихся в эксплуатации. Для этого было проведено обследование 94-х силовых трансформаторов классов напряжения 35-110 кВ, эксплуатируемых в распределительных сетях Российской Федерации. В пробах масла из двух трансформаторов была зафиксирована аномально высокая концентрация метанола по сравнению со средним её значением для обследованных трансформаторов такого «возраста». Один из этих двух трансформаторов был вскрыт. Степень полимеризации его бумажной изоляции оказалась близка к критической, на что и указывала высокая концентрация метанола в масле. Такой результат подтверждает практическую значимость предложенной методики оценки состояния бумажной изоляции силовых трансформаторов по содержанию маркера старения третьего поколения – метанола.

По результатам апробации методики авторами сделан еще один важный вывод: для применения экспериментальных зависимостей, полученных при лабораторных исследованиях, на практике для интерпретации результатов анализа метанола из силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации, целесообразно перейти от зависимости вида «концентрация метанола от СП бумажной изоляции» к зависимости вида «удельный объем метанола от СП бумажной изоляции». Данный подход позволяет учесть конструктивные и технологические особенности изготовления силовых трансформаторов.

В заключение отметим, что в настоящее время продолжают работы по усовершенствованию методики, направленной на повышение достоверности результатов оценки состояния бумажной изоляции силовых трансформаторов по

содержанию метанола в трансформаторном масле. С этой целью проводится сбор и анализ данных о содержании метанола в масле силовых трансформаторов различных конструкций, находящихся в эксплуатации.