

ОПЫТ ВЫЯВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕФЕКТОВ В МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ВВОДАХ 110-750 КВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА МОЩНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ И ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРАХ

Соколов В.В., Ренев В. П., Шкрум В. А.
Научно- инженерный центр «ЗТЗ-Сервис»

1. Вступление

1.1. Предметом настоящего доклада является анализ опыта диагностики вводов завода «Мосизолятор», накопленный НИЦ «ЗТЗ-Сервис» при обследовании технического состояния большого числа силовых трансформаторов.

1.2. Длительный процесс устранения недостатков конструкции и технологии изготовления вводов завода «Мосизолятор», инициированный многочисленными авариями вводов, казалось, закончился успехом после замены масла Т-750 на масло ГК. В залитых маслом Т-750 вводах основной вид повреждения - пробой по внутренней поверхности нижней фарфоровой крышки.

Механизм развития этого повреждения хорошо известен и описан в многочисленных публикациях (Л2):

- специфическое старение масла с образованием коллоидов, содержащих атомы металла (сопровождается увеличением проводимости и $\text{tg}\delta$ масла);
- появление полупроводящего осадка на поверхности фарфора;
- возникновение частичных разрядов в результате снижения прочности масла и недостаточного экранирования подпорных деталей остова ввода;
- газообразование, поверхностные разряды, пробой.

Основные причины этих повреждений - недостаточная электрическая прочность нижнего узла вводов некоторых конструкций при ухудшении состояния масла, в том числе из-за увеличения напряженности под влиянием электрического поля трансформатора, а также ускоренное старение масла, причина которого выяснена недостаточно. Известно несколько причин старения масла (температура, вещества-катализаторы, ЧР). Однако вклад каждой из них и влияние на скорость процесса не определены. Полностью не ясно влияние напряженности неравномерного электрического поля: оно лишь способствует размещению продуктов старения масла в местах наибольшей напряженности, или является также инициатором ускоренного старения, например, посредством вызываемых ЧР с малыми значениями кажущегося заряда.

Отсутствие подобных явлений в конструкциях отдельных вводов, во вводах негерметичной конструкции, где напряженности ниже, а коэффициент запаса электрической прочности выше, позволяет предположить, что при критических напряженностях в изоляции резко ускоряется процесс старения масла.

1.3. Можно предположить, что эффект масла ГК, устранившего было повреждения вводов с пробоем по нижней фарфоровой крышке, связан с отсутствием образования проводящего осадка при работе с теми же напряженностями электрического поля. Несмотря на пониженную газостойкость (или благодаря ей?), в продуктах разложения масла не оказалось веществ и (или) их количеств, достаточных для образования проводящего осадка.

В настоящее время, по имеющимся в НИЦ «ЗТЗ-Сервис» сведениям, уже, по крайней мере, три ввода, залитые маслом ГК, повреждены из-за пробоя по нижней фарфоровой крышке (ввод 500 кВ, ПС «Вологодская», зав. № Т-60749 и ввод 110 кВ, ПС «Бучатская» «Кузбассэнерго», зав. № Т-60788 1986 г. запуска, ввод 110 кВ, ПС «Железнодорожск-330» «Курскэнерго», изготовленный в 1993 г.).

Т.к. нет коррекции между наработкой и повреждением вводов, естественно предположить, что причиной «включения» механизма пробоя явилось имеющее место повышение напряжения в высоковольтных сетях стран СНГ. Это могло привести к возрастанию напряженности электрического поля до величин, при которых эффект от применения масла ГК исчез. И это тревожный симптом, требующий пересмотра применявшихся до настоящего времени подходов к диагностике вводов, залитых маслом ГК.

Диагностику вводов затрудняет то, что причины разного поведения вводов до конца не проанализированы:

- ◆ Почему нет повреждений вводов 750 кВ;
- ◆ Почему нет повреждений реакторных вводов выпущенных после 1984г,
- ◆ Почему 80% поврежденных вводов были изготовлены в 1981-1982г.г.

1.4. Поиск и устранение причин повреждаемости вводов требуют более глубокого анализа и проведения специальных экспериментов, испытаний и расчетов. Для повышения надежности вводов, изготавливаемых «Мосизолятором», следует устранить несоответствие принятых в конструкции расчетных запасов электрической и тепловой прочности реальным запасам, определяемым качеством материалов, качеством изготовления, соблюдением технологических требований и реальными воздействующими на вводы уровнями напряжений и перенапряжений.

2. Проблемы и задачи диагностики вводов

2.1. В настоящее время выработались несколько способов предотвращения повреждения силовых трансформаторов из-за повреждения вводов:

- замена вводов на более надежные (в большинстве стран Восточной Европы - на вводы западных фирм; в отдельных регионах бывшего СССР - на отремонтированные или новые вводы завода «Изолятор» - при первых симптомах наличия развивающегося дефекта);
- установка устройств непрерывного контроля вводов под рабочим напряжением (КИВ, усовершенствованные системы, контролирующие токи утечки и небаланса вводов, датчики состава газов типа «Hidran» и др., датчики давления и температуры);
- применение учащенного контроля состояния вводов и ремонт – перезаливка масла при первых признаках ухудшения его характеристик.

Реализация первых двух способов для всего огромного количества вводов нереальна из-за проблем экономической целесообразности, возможностей энергосистем. Второй способ требует решения ряда технических проблем, связанных с достоверностью показаний датчиков в условиях помех, с определением критических значений контролируемых параметров. Затруднения с определением критических значений контролируемых параметров (необходимых, как для устройств непрерывного контроля, так и при традиционных периодических оценках состояния вводов) вызваны отсутствием корреляции между значениями параметров и скоростью развития дефектов, приводящих к повреждению (публикации Л1, Л2, Л4). Для преодоления этих затруднений приходится обращаться, как к динамике изменения параметров во времени, так и к характеру зависимости параметра от напряжения, от температуры.

Третий способ требует частых отключений от сети.

Любой из способов требует совершенствования старых и разработки новых методов диагностики.

Актуальность проблем диагностики определена тем, что в эксплуатации находилось и продолжает находиться огромное количество вводов разных конструкций и с разной степенью устранения конструктивных дефектов.

2.2. Диагностика может быть направлена на решение одной или нескольких задач из ниже перечисленных;

- оценка состояния нормально работающего оборудования с целью подтверждения его бездефектного состояния или возможности продолжения нормальной эксплуатации;
- определение возможности (условий и длительности) продолжения эксплуатации при

превышении отдельными нормируемыми показателями допустимых значений, либо при срабатывании устройств непрерывного контроля на сигнал;

- определение наличия и (или) характера и местонахождения дефектов, а также возможности их устранения в процессе ремонта.

Для решения первой задачи необходимо иметь модель бездефектного состояния оборудования. О бездефектном состоянии ввода судят по зависимости характеристик участков изоляции от температуры и напряжения, по характеристикам масла, характеру и количеству растворенных в масле газов и динамике их содержания, по температуре и ее распределению по элементам ввода, по изменению давления в герметичных вводах. Разработка такой модели производится практически для каждого ввода с учетом его конструкции, года выпуска, длительности эксплуатации, особенностей работы в данном оборудовании.

Для второй задачи строится модель дефекта и проверяется наличие его влияния на характеристики ввода.

Третья задача - это синтез первых двух.

3. Опыт НИЦ «ЗТЗ-Сервис» по диагностике вводов

3.1. Особенность диагностических работ заключается в том, что практически все измерения изоляционных характеристик производятся в условиях помех от работающих линий высокого напряжения, что сильно сказывается на результатах измерений характеристик, установленных на трансформаторе вводов, особенно при применении традиционных мостов переменного тока (P-5026).

Начиная с 1995 г., для измерения $\text{tg}\delta$ изоляции специалисты НИЦ используют устройство M-4000 американской фирмы «Doble». Устройство снабжено системой отстройки от помех и исключает ошибки персонала. Для отстройки от помех измерения проводятся на двух частотах $f_{\text{ном}}+5\%$ и $f_{\text{ном}}-5\%$. Ошибки персонала исключаются полным программированием измерений, автоматической записью результатов измерений и расчетов и выдачей протокола.

3.2. В зависимости от задачи диагностики создается модель бездефектного состояния или конкретного дефекта обследуемого ввода. При этом учитывается конструкция, год изготовления, тип масла (с учетом многочисленных доливок маслами разных марок в процессе эксплуатации), условия и длительность эксплуатации.

Модель строится по схеме замещения ввода, указанной на рис.1.

При этом M-4000 обеспечивает измерения $\text{tg}\delta$ и емкости большинства из указанных изоляционных промежутков. При подозрении наличия (или при поиске) дефекта производятся измерения с экраным поясом, изолировкой фланца ввода от бака трансформатора.

Особое внимание уделяется достоверности полученных результатов. При оценке отдельных изоляционных промежутков внутри ввода проверяется и учитывается влияние на результат измерений других шунтирующих участков, особенно наружной изоляции. Диагностирующим признаком считается отличие более чем на 0.2% в результатах измерения $\text{tg}\delta_1$ по прямой и инверсной схеме. При этом следует убедиться, что отличие связано с состоянием изоляции, а не вызвано некорректной схемой измерения $\text{tg}\delta_1$. Другим признаком наличия проводящего осадка является отрицательная температурная зависимость $\text{tg}\delta$ от температуры. Окончательное подтверждение наличия осадка можно получить, анализируя состояние масла - наличие продуктов старения в ИК-спектре и пр.

3.3. Эффективность диагностики подтверждена в процессе выполнения ремонтов отбракованных вводов. По результатам ремонтов вносятся коррективы в модели дефектов и в предельно допустимые зависимости параметров состояния.

3.4. За период 1996-1993 г.г. НИЦ «ЗТЗ-Сервис» провел обследование 264 вводов напряжением 110-750 кВ, установленных на 94 трансформаторах. При этом дефекты вводов выявлены в 35 трансформаторах (37%). Среди дефектов:

- увлажнение и загрязнение масла - во вводах 16 тр-ров (17%);
- частичные разряды - 1 тр-р;

- загрязнение внешней изоляции - 5 тр-ров;
- негерметичность тр-ра по уплотнению в верхней части ввода - 1 тр-р;
- повреждение сифонов вводов 110 кВ - 2 тр-ра;
- дефекты изоляции, потребовавшие замену вводов - 9 вводов (3.5%)

3.5. _О том, что вводы завода «Мосизолятор» требуют повышенного внимания, говорят результаты обследования, проведенного НИЦ на объектах Болгарии в 1997 г. (см. таблицу).

Негерметичные вводы уже выработали свой ресурс и требуют замены. Не обнаружены дефекты только в одном из 27 обследованных вводов.

Список использованной литературы

1. Эксплуатационный контроль вводов силовых трансформаторов. П. М. Сви. Москва. 1994г. Обзор.
2. Experience in evaluating typical defective conditions of HV oil- impregnated bushings. V. Sokolov, V. Ruzhenko.
3. Анализ аварийных отключений трансформаторов, изготовленных предприятием п/я М-5111 мощностью свыше 80 МВА за 1983 год. 0ВБ.120.401.8. Власов А.А., Соколов В.В. и др.
4. Анализ аварийных отключений трансформаторов, изготовленных предприятием п/я М-5111 мощностью свыше 80 МВА за 1984 год. 0ВБ.120.401.9. Филиппишин В.Я., Соколов В.В. и др.
5. Проблемы эксплуатации маслonaполненных вводов. Смекалов В.В. «Электрические станции» 1999г.
6. Анализ повреждаемости маслonaполненного трансформаторного оборудования. Монастырский А.Е. Сб. «Современные проблемы оценки состояния и обслуживания маслonaполненного оборудования».
7. Унифицированная методика обследования состояния трансформаторов в эксплуатации РАО «ЕЭС России». Ю.Н. Львов. Сб. «Современные проблемы оценки состояния и обслуживания маслonaполненного оборудования».

РЕЗУЛЬТАТЫ
 проведенного в 1997 г. обследования вводов на объектах Болгарии

№№ п/п	Наименование дефектов	Негерметичные вводы 110 кВ	Герметичные вводы 110 кВ	Герметичные вводы 220 кВ
1.	Увлажнение остова	23	1	1
2.	Старение масла	21	6	19
3.	Разрядные процессы в масле и на поверхности остова	5	3	15
4.	Источник нагрева	5	1	5
5.	Дефекты системы компенсации температурного расширения масла	-	1	1
Всего вводов с дефектами		26	10	26
Общее количество обследованных вводов		27	23	36