

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И МЕРЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА 330 - 750 КВ

А.Ф. Курбатова, АО НИИПТ, г. Санкт-Петербург, Россия
В.В. Соколов, ОАО НИЦ «ЗТЗ-Сервис», г. Запорожье, Украина
О.В. Кох-Коханенко, ОАО «ЗЗВА», г. Запорожье, Украина

Состояние измерительных трансформаторов с бумажно-масляной изоляции конденсаторного типа по-прежнему является предметом особого внимания. Исследования СИГРЭ показывают, что на долю трансформаторов 220-750 кВ приходится более 50% от общего числа отказов всех измерительных трансформаторов. Серьезные повреждения ТТ отмечались во многих энергосистемах (Канада, США, Франция, Финляндия и др.). Удельная повреждаемость ТТ в среднем в мире составляет 0.4-0.6 % с тенденцией увеличения с повышением класса напряжения. СИГРЭ отмечает, что внедрение мониторинга ТТ под напряжением позволяет значительно уменьшить число отказов.

Удельная повреждаемость ТТ в странах СНГ существенно ниже указанных цифр. Однако каждый случай повреждения вызывает особое внимание, поскольку взрыв ТТ представляет серьезную опасность для персонала и соседнего оборудования.

В последнее время вызывают озабоченность участвовавшие случаи повреждений ТТ серии ТФРМ (особенно ТФРМ-500). Отказы имеют избирательный характер по месту эксплуатации ТТ, а также по времени выпуска и длительности хранения в транспортном состоянии. Отмечается возникновение характерных «холодных» отказов в зимнее время, связанных преимущественно с развитием ионизационного пробоя конденсаторной изоляции, и «горячих» отказов в наиболее жаркое время года, связанных в основном с развитием теплового пробоя

Повреждаемость трансформаторов тока серии ТФРМ в период 1990-1999 г.г.

	ТФРМ-330	ТФРМ-500	ТФРМ-750
Начало выпуска	1971	1977	1974
Выпущено до 1999 г.	3764	883	836
Число повреждений в период 1990 – 1999 г.г.	$\frac{32}{153740\text{ТТ} - \text{лет}}$	$\frac{26}{37700\text{ТТ} - \text{лет}}$	$\frac{16}{36040\text{ТТ} - \text{лет}}$
Отказы в приработочный период	18 (56 %)	16 (64%)	8 (50%)
Отказы, связанные со старением	15 (47%)	нет	3

СЕРИЯ ТФРМ-500

Повреждаемость включительно до 1986 г. имела исключительно приработочный характер, и была обусловлена в основной недостаточной пропиткой или нарушением пропитки. Происходил пробой изоляции тора в зимнее время, часто непосредственно после включения.

Эти причины были эффективно устранены путем улучшения технологии.

В период 1990 – 1999 г.г. зарегистрировано 26 отказов. Соответствующая удельная повреждаемость составляет 0,068 %.

Причины повреждения в последние годы не связаны с проблемами старения. Так, например, 360 ТТ, (выпуск по 1984) работают без повреждений более 15 лет. В том числе нет повреждений ТТ, имеющих узел герметизации с «мешком» (табл.2, тип I, выпуск до 1983).

Из 3-х поврежденных ТТ, имеющих узел герметизации «мембрана» (табл.2, тип II, выпуск 1983 - 1987) два были инициированы ревизией узла герметизации (аварии через 1 – 6 месяцев после ремонта). Практически все аварии произошли в холодное время года при резких перепадах температур и с ТТ, имеющих узел герметизации типа III (табл.2), внедренного с 1987 г.

Изменение конструкции узла герметизации в ТТ серий ТФРМ

Таблица 2

Тип	Конструкция узла герметизации	ТФРМ-330	ТФРМ-500	ТФРМ-750
	Без узла герметизации	С 71 г. по 76 г.	-	С 75 г. по 78 г.
I	«Мешок» из фторолоновой лакоткани в металлическом баке	С 76 г. по 83 г.		С 78 г. по 83 г.
		По №1820	С №1 по №223	По №640/641 Верхняя ст. – 1 оболочка, Нижняя ст. – 2 оболочки сбоку в карманах Масло разделено по ступеням
II	«Мембрана» (диафрагма) из фторолоновой лакоткани или литой резины на масле	С 83 г. по 88 г.		
		С №1821, 1822, 1823...	С № 224, 228, 232, 237...	С №649/645 Масло в ступенях общее
III	Резиновая диафрагма между металлическими баками, масло под и над диафрагмой сообщается через патрубки	С I кв. 88 г.	С III кв. 87 г.	С I кв. 88 г.
		№2730. 2733, 2734...	№545, 546, 549, 550, 551...	№1268/1255, 1266/1270... масло разделено по ступеням

Аварии избирательно сосредоточены на нескольких объектах и часто происходят в одних и тех же ячейках: ПС "Итатская 1150 кВ" - 11; "Экибастузская" - 5, ПС "Костромская АЭС" - 3, Балаковская АЭС - 3, Ново-Воронежская АЭС - 2.

Из 26 отказов 16 произошли в очевидно приработочный период. В ряде случаев отмечалось длительное хранение повредившихся ТТ в горизонтальном положении до ввода в эксплуатацию. В остальных случаях 3 повреждения на ПС Костромской АЭС (2 из которых были инициированы ремонтными работами) и 4 на ПС "Итатская 1150 кВ", где отмечаются частые коммутации разъединителями (648 операций в 1998).

Все повредившиеся ТТ были заполнены маслом ГК, которое используется с 1985 г.

Наиболее вероятным видом повреждения является ионизационный пробой, что подтверждается результатами разборки ТТ №642, снятого из эксплуатации на ПС "Итатская-1150 кВ" из-за роста ЧР.

Из результатов осмотра поврежденных ТТ можно выделить следующие особенности:

- пробой изоляции в верхней части тора - отмечен определенно в 5 случаях;
- пробой изоляции в тройнике - 2 случая;
- плохое заземление "о" обкладки - 2 случая;
- влага под диафрагмой - 1 случай;

- выброс масла через патрубок воздухоосушителя - 1 случай;
- вздутие крышки маслорасширителя - 1 случай.

Общими чертами повреждаемости являются:

- особая конструкция узла герметизации
- масло ГК
- холодное время
- ионизационный пробой
- приработочный период
- избирательные объекты эксплуатации (возможные повышенные воздействия)

Таким образом, в классе 500 кВ мы имеем дело только с повреждениями ионизационного вида, в основном с отказами приработочного типа (с учетом иницирующих ремонтов - 70 %), а также с влиянием особых (Итатских) условий эксплуатации.

Наиболее вероятными причинами повреждений являются повышенное содержание воздуха (прямое попадание воздуха) и образование вакуума при резком понижении температуры в зимнее время.

СЕРИЯ ТФРМ-330

Удельная повреждаемость в последние 10 лет составляет 0.084%.

Отмечается две тенденции повреждаемости: развитие теплового пробоя после 20-25 лет работы ТТ, которые ранее работали почти безотказно, и развитие ионизационных процессов в начальный период эксплуатации некоторых ТТ.

Около 50 % отказов связаны со старением материалов. Они произошли в жаркое время года и, вероятно, обусловлены диэлектрическим перегревом изоляции.

52% отказов ТТ, имеют выраженный приработочный характер (несколько аварий произошли сразу же после включения). В ряде случаев отмечается длительное (1,5-6 лет) хранение ТТ в горизонтальном положении, а также перевозка между объектами.

Так как и для ТФРМ-500 отмечаются те же особенности, но и разгерметизацию, течи и низкий уровень масла.

Наиболее вероятным видом повреждения является развитие ионизационного пробоя, а причинами - ухудшение состояния изоляции, в частности из-за депропитки во время хранения, а также попадания воздуха.

Эти причины подтверждаются специальными испытаниями в НИИПТ ТТ, перевезенных на другой объект после длительного хранения. Из 12 ед. 3 не выдержали испытания, а в одном, примерно через 100 час испытаний начал развиваться ионизационный пробой.

ТФРМ-750

Удельная повреждаемость в последние 10 лет составляет около 0.04 %; в последние два года в парке ТТ= 836 ед. отмечено два отказа. Более 80% отказов связано с повреждением изоляции в повреждениях произошли с ТТ, изготовленными в 1988-1989г.г. Из 13 повреждений изоляции: 8 произошли в приработочный период в основном в зимнее время (6 отказов); 9 произошли с верхней ступенью ТТ; 9 в ТТ, имеющих узел герметизации типа III (табл.2). В последние годы такие отказы практически не отмечаются.

3 случая относятся к числу "жарких" аварий, предположительно связаны с проблемами старения и вызывают особую озабоченность Повреждения сопровождались выбросом масла, появлением характерного шума в верхней ступени. В одном случае разрушение ТТ было предотвращено срабатыванием установленного КИВ.

Испытания, выполненные по программе, разработанной НИЦ "ЗТЗ-Сервис", включающую специальный (расширенный) анализ масла, выявили очевидную тенденцию

аномального старения масла в верхних ступенях ТТ после 15-16 лет работы. ТТ залиты маслом Т-750 с повышенной ароматикой. Обнаружено появление большого количества полярных продуктов и поверхностно активных веществ, недопустимый рост тангенса угла потерь, наличие коллоидов. В некоторых ТТ отмечается рост тангенса угла потерь с тенденцией увеличения с повышением температуры.

Контроль и диагностика

Существующий нормированный в эксплуатации объём испытаний практически (в частности измерение tgδ изоляции при 10 кВ на отключенном ТТ) не позволяет обнаружить ни дефекты, приводящие к вышеуказанным повреждениям, ни явления аномального старения.

- Система испытаний должна быть изменена с включением в основном методом испытания под рабочим напряжением, с тестовыми проверками масла, а также испытаний с использованием передвижных установок.
- Отдельной задачей является отработка методов контроля параметров ЧР, а также разработка рекомендаций по отбору проб масла с указанием эффективных методов и браковочных характеристик.
- Другой задачей является разработка эффективной системы мониторинга.

К сожалению, для ТТ не используется богатый опыт эффективного предотвращения повреждений изоляции во вводах с использованием тока небаланса и его амплитудно-фазового изменения.

В энергосистемах США, Канады, Австралии успешно применяется мониторинг диэлектрических характеристик аналогичной системе КИИ, но выполненный на современной технической базе. Во Франции используется устройство регистрирующее ток ЧР в высокочастотном спектре с сигналом о возникновении критического состояния.

Считаем, что в СНГ имеются все необходимые предпосылки для разработки и быстрого внедрения систем мониторинга.

- Отдельные меры требуются для ТТ в случае их длительного хранения. НИИПТ разработал специальную программу испытания ТТ на работоспособность перед включением в работу для таких случаев.
- Для выявления дефектного состояния изоляции в работе ТТ разработана программа комплексного обследования, включающая периодическое измерения диэлектрических характеристик под рабочим напряжением, специальный анализ масла (с использованием проб малого объёма), измерение характеристик изоляции и параметров частичных разрядов.
- Перечисленные рекомендации могут быть выполнены, если ПС будут оснащены современным оборудованием для диагностики состояния изоляции ТТ, устройствами присоединения для измерения tgδ или γ, а также ЧР без снятия напряжения, хроматографами и тепловизорами. Передвижная высоковольтная лаборатория (с источником не менее 300 кВ) даст возможность оценить изменение характеристик изоляции ТТ при изменении напряжения вплоть до рабочего. При этом персонал должен быть обучен современным методам контроля и работе с новым измерительным оборудованием.

Специальные меры

На ПС, где имелись случаи повреждений целесообразно провести специальные работы по оценке состояния ТТ. В частности следует:

- проверить уровень масла в маслорасширителе ТФРМ выпуска после 87 г. и при необходимости провести ревизию и ремонт узла герметизации с участием представителя завода-изготовителя;
- на ПС "Итатская" выполнить исследования режимов работы ТТ и воздействующих

высокочастотных перенапряжений с целью оценки опасности таких воздействий на изоляцию ТТ и выбора защиты от них на основе натуральных испытаний в НИИПТ;

- проверить условия хранения и состояние резервных ТФРМ.

Эффективными мерами предупреждения «приработочных зимних» аварий может быть перезаливка и перепропитка ТТ маслом с прогревом изоляции, а также реконструкция узла герметизации типа Ш. Работы по ревизии узла герметизации должны производиться по специальной технологии, исключающей попадание внутрь влаги и воздуха.