

ОБРАБОТКА БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Лавриненко В. П.

НПФ «ЛАВР», а/я 532, г. Харьков, 61103, Украина
E-mail: lavrinenko_lavr@vk.kharkov.ua

Силовые трансформаторы - один из главных элементов в системе передачи и распределения электрической энергии. В электроэнергетике многих стран находится в эксплуатации большое количество силовых трансформаторов с длительным сроком службы. Значительная часть из них отработала нормативный срок службы, который составляет в основном 25 лет.

Замена трансформаторов, отработавших нормативный срок службы, требует существенных финансовых вложений и не всегда технико-экономически целесообразна. Поэтому весьма актуальна проблема обеспечения надёжности и продления срока службы силовых трансформаторов.

Известно, что в силовых трансформаторах процессы старения сильнее всего проходят в бумажно-масляной изоляции (БМИ), которая имеет органическое происхождение. Состояние твёрдой изоляции в конечном счёте фактически определяет ресурс работы силового трансформатора. Во время эксплуатации трансформатора в БМИ наблюдаются сложные физико-химические процессы, которые приводят к деградации изоляции и образованию различных продуктов старения. Поэтому в программах по повышению надёжности и продлению срока службы силовых трансформаторов особое внимание уделяют обработке и восстановлению характеристик БМИ.

Обработка БМИ силовых трансформаторов, длительно находящихся в работе, и особенно с низким уровнем технического обслуживания значительно отличается от аналогичных работ на новых трансформаторах как по объёму и сложности, так и по условиям их производства. Если при подготовке к вводу в эксплуатацию обработка БМИ в большинстве случаев сводится к процессам нагрева, сушки, дегазации и очистке от механических примесей, то при обработке БМИ старых трансформаторов к этим процессам добавляются более длительные и сложные работы по удалению продуктов старения, в частности смолистых веществ, нежелательных лёгких фракций масла, растворённых в масле газов, шлама. При капитальных ремонтах и модернизации трансформаторов объём обработки БМИ также значительно увеличивается из-за потребности в многократных сливах/заливах масла и нагревах трансформаторов.

Общепринято и технико-экономически обосновано проведение обработки БМИ работающих трансформаторов непосредственно на месте их установки и с незначительным объёмом демонтажа отдельных частей трансформаторов. В тоже время продолжительность обработки БМИ должна быть минимальной, так как на период вывода трансформатора из эксплуатации для обработки БМИ снижается надёжность электроснабжения и в отдельных случаях ограничивается потребление электроэнергии. В отличие от сетевых блочные трансформаторы не резервируются, поэтому удлинение сроков обработки БМИ, если они находятся на критическом пути работ по вводу блоков в работу, приводит к недоотпуску электроэнергии - для энергетических, и продукции - для технологических блоков. Обработка БМИ трансформаторов в условиях действующих электроустановок на ограниченной площади требует высокой организации работ и соблюдения повышенных мер безопасности.

Для успешной обработки БМИ трансформаторов с высоким качеством и минимальными затратами необходимо:

- иметь достоверные и полные данные о техническом состоянии трансформатора;
- располагать прогрессивными технологиями и неукоснительно их выполнять;

- быть оснащённым эффективными техническими средствами обработки и контроля;
- иметь персонал соответствующей квалификации.

Несмотря на то, что для обработки БМИ трансформаторов с длительным сроком службы используют в основном технологии и оборудование, которые изначально при разработке были ориентированы на обработку БМИ новых трансформаторов перед вводом их в эксплуатацию. Поэтому они не в полной мере учитывают специфические требования к обработке и качеству изношенной изоляции трансформаторов с длительным сроком службы. Несмотря на высокие затраты далеко не всегда достигается высокое качество БМИ.

Качество обработки БМИ является основным фактором, влияющим на надёжность и срок службы силовых трансформаторов. Низкое качество обработки БМИ дискредитирует саму идею повышения надёжности и продления срока службы трансформаторов. Повышение качества обработки БМИ - проблема по сути комплексная, в которой можно выделить следующие направления:

- ужесточение норм на влагосодержание твёрдой изоляции;
- совершенствование технологических процессов;
- совершенствование и повышение надёжности технологического оборудования;
- повышение квалификации персонала, занятого обработкой БМИ.

Установлено, что процессы старения в увлажнённой твёрдой изоляции протекают более интенсивно, чем в сухой. Принятые нормы по влагосодержанию твёрдой изоляции: 2 % - перед вводом трансформатора в эксплуатацию и 4 % - в процессе эксплуатации, в два раза выше, чем в ведущих странах мира. Однако ужесточение норм должно быть обеспечено соответствующими технологиями и оборудованием.

Так как основным технологическим процессом сушки твёрдой изоляции является термовакуумная обработка, эффективность которой определяется температурой твёрдой изоляции, то следует ограничить неравномерность нагрева твёрдой изоляции трансформатора в пределах 10-20 °С.

Больше внимания следует уделять надёжности технологического оборудования, используемого для обработки БМИ, с целью предотвращения, в частности, следующих нарушений:

- внутренних повреждений нагревательных элементов в ленточных маслонагревателях;
- прорыва защитных сеток в адсорберах, приводящих к попаданию силикагеля и цеолита в трансформаторы;
- выброса масла из вакуумных насосов в трансформаторы;
- разрыва загрязнённых фильтровальных элементов.

В целях существенного повышения качества, сокращения продолжительности и снижения стоимости обработки БМИ силовых трансформаторов научно-производственной фирмой «ЛАВР» в 2000 г. была принята концепция, основные положения которой сводятся к следующему:

-бумажно-масляная изоляция силовых трансформаторов, несмотря на всё многообразие конструктивных элементов и их массы, применяемых материалов и их массы, должна обрабатываться по одной технологии, с использованием одной установки и по одной технологической схеме;

-в зависимости от состояния изоляции, габаритов и массы трансформаторов может изменяться только продолжительность процессов обработки.

В концепции также были определены основные цели и средства для их достижения. Основные цели сформулированы следующим образом:

- повышение качества обработки БМИ;
- сокращение номенклатуры и стоимости технологического оборудования и оснастки;

- сокращение продолжительности и снижение стоимости обработки БМИ;
- внедрение объективного контроля и архивирования процессов обработки БМИ;
- улучшение условий труда персонала.

В части силовых трансформаторов напряжением 110-1150 кВ данная концепция была реализована в следующих разработках НПФ «ЛАВР»:

- пакетная обработка БМИ по технологии ТРИТОК;
- многофункциональные установки НИТА2711 и НИТА2721;
- компьютерная система контроля КАСО;
- программа научно-практического семинара по внедрению новых методов обработки БМИ силовых трансформаторов.

Главным достижением реализации концепции следует считать создание технологии ТРИТОК, предназначенной для пакетной одновременной обработки масла и твёрдой изоляции. Технология ориентирована, в первую очередь, на обработку БМИ силовых трансформаторов напряжением 110-1150 кВ, в том числе оснащённых плёночной и азотной защитами масла и длительно находящихся в работе.

Сущность технологии ТРИТОК состоит в том, что в процессе заполнения трансформатора маслом под вакуумом выполняются все или часть следующих технологических процессов:

- прямоточная обработка трансформаторного масла (нагрев, сушка, дегазация, фильтрация);
- сушка, дегазация и пропитка маслом твёрдой изоляции;
- обработка масла, залитого в трансформатор;
- нагрев трансформатора циркуляцией горячего масла.

Технология ТРИТОК, как и предусмотрено концепцией, всегда реализуется по одной простой постоянной схеме в виде ряда непрерывно и параллельно выполняемых технологических процессов. Переход с одного процесса на другой осуществляется с помощью запорно-регулирующей арматуры и изменением режима работы технологического оборудования. Продолжительность перехода не превышает 30 мин.

Технология ТРИТОК наряду с большими функциональными возможностями и мощностью отличается гибкостью и простотой регулирования всех параметров в широких пределах, что особенно важно при назначении режимов обработки изоляции трансформаторов, длительно находящихся в работе.

Полный цикл обработки БМИ силовых трансформаторов с использованием технологии ТРИТОК включает следующие основные этапы:

- нагрев трансформатора горячим маслом;
- измерение характеристик БМИ;
- слив масла из трансформатора под вакуумом;
- выполнение работ, связанных с разгерметизацией трансформатора и сливом масла (при необходимости);
- вакуумирование и заполнение трансформатора маслом с одновременным нагревом его залитым маслом;
- измерение характеристик БМИ.

Каждый этап обработки состоит из нескольких технологических процессов, количество и параметры которых можно изменять, исходя из конкретных условий. Например, во время заполнения трансформатора маслом под вакуумом заливается масло подвергается нагреву, сушке, дегазации и фильтрации. Одновременно с нагревом трансформатора горячим маслом под вакуумом происходит сушка и дегазация твёрдой изоляции, а также сушка, дегазация и фильтрация масла, находящегося в трансформаторе.

Одно из несомненных достоинств технологии ТРИТОК состоит в том, что каждый обрабатываемый трансформатор может пройти глубокую термовакуумную сушку твёрдой изоляции в процессе заполнения трансформатора маслом под вакуумом. Для этого не требуются дополнительные технические средства и проникновение в трансформатор, достаточно изменить режим работы технологического оборудования.

Высокое качество и минимальные сроки обработки сушки достигаются в результате совместного действия ряда факторов:

- равномерный нагрев твёрдой изоляции в зоне сушки;
- постоянное направление движения влаги в твёрдой изоляции;
- оптимальная продолжительность воздействия температуры и вакуума на твёрдую изоляцию.

В технологии ТРИТОК обработка трансформаторного масла производится по прямоточной схеме, согласно которой сушка, дегазация и фильтрация масла осуществляется непосредственно в процессе заливки в трансформатор. Для обеспечения такого режима обработки после слива масла из трансформатора необходимо произвести тестирование оборудования для обработки масла.

Технология ТРИТОК значительно меньше зависит от погодных условий, что улучшает организацию и сокращает продолжительность работ.

Технология ТРИТОК может быть реализована с использованием существующего технологического оборудования, однако максимальный эффект будет достигнут только при применении установок НИТА 2711 и НИТА 2721, разработанных и изготавливаемых НПФ «ЛАВР».

Технология ТРИТОК успешно внедрена на силовых трансформаторах и шунтирующих реакторах напряжением 220 и 1150 кВ на подстанциях ОАО КЕГОС (Республика Казахстан).

Технология ТРИТОК по сравнению с применяемым в настоящее время набором разрозненных технологий обработки БМИ отличается рядом существенных преимуществ:

- обработка изоляции происходит при оптимальных режимах, исключающих отрицательное воздействие процессов обработки на материалы и характеристики электрической изоляции трансформаторов;
- значительно улучшается организация и повышается оперативность обработки БМИ;
- продолжительность обработки наряду с высоким качеством сокращается в 1,5-3 раза;
- объём вспомогательных работ снижается в несколько раз.

Многофункциональная установка НИТА2721 обеспечивает выполнение следующих технологических процессов:

- перекачку, нагрев, сушку, дегазацию, фильтрацию масла;
- сушку, дегазацию, пропитку маслом твёрдой изоляции силовых трансформаторов;
- отмывку активной части и внутренней поверхности баков трансформаторов от механических примесей и продуктов старения;
- низкотемпературную обработку твёрдой изоляции с использованием ловушки вымораживания паров воды;
- заполнение трансформаторов горячим дегазированным маслом под вакуумом;
- нагрев трансформаторов горячим маслом.

Установка НИТА2721 благодаря широким функциональным возможностям полностью заменяет применяемый сегодня комплект технологического оборудования, который, в частности, включает:

- установку цеолитовую;
- установку дегазационную;
- установку вакуумную;
- установку подсушки твёрдой изоляции с применением ловушки вымораживания паров воды;

-установку нагрева и фильтрации масла.

Создание установки по принципу «всё - в одной» позволило решить две важные задачи обработки БМИ силовых трансформаторов: сокращение потребности в технологическом оборудовании и значительное уменьшение объёма вспомогательных работ.

В конструктивном отношении установка намного проще, чем комплект заменяемых ею установок. Для её изготовления требуется меньше дорогостоящих комплектующих изделий, в первую очередь масляных и вакуумных насосов, приборов и электроаппаратуры.

В технологическом отношении это привело к тому, что многоразовые временные соединения между отдельными установками, выполняемые при сборке локальных технологических схем на месте обработки БМИ, были заменены однократно выполняемыми постоянными соединениями отдельных частей установки на предприятии-изготовителе. Благодаря этому объём подготовительных работ сведен к минимуму: после доставки установки к месту производства работ достаточно нескольких часов, чтобы собрать только одну технологическую схему, подать напряжение на установку и начать обработку БМИ.

Существенно и то, что при использовании одной установки в несколько раз сокращаются затраты на техническое обслуживание, перевозку и хранение.

В основу работы установки НИТА2721 была заложена высоко интегрированная технология пакетной обработки БМИ силовых трансформаторной изоляции, разработанной в НПФ «ЛИАВР». Однако наряду с этой технологией установка поддерживает также все традиционные технологии.

Прототипом при создании установки НИТА2721 послужила установка для термовакuumной обработки масла (дегазационная установки), однако методика расчёта которой коренным образом была переработана, в схему и конструкцию её были внесены принципиально новые решения.

Основные технические данные установки НИТА2721

Подача масла, м ³ /ч:	
-при обработке	1...6
-при нагреве трансформатора	6..50
Температура масла, °С:	
-при обработке масла	30...60
-при нагреве трансформатора, не более	90
Показатели масла после обработки:	
-влагосодержание массовое, % (г/т), не более	1·10 ⁻³ (10)
-газосодержание объёмное, %, не более	0,1
-номинальная толщина фильтрации, мкм	3; 5; 10
-давление на выходе установки, МПа	0,1...0,2
Маслонагреватели:	
-мощность, кВт	100
-мощность ступени регулирования, кВт	33
-количество, шт.	2
Насосы масляные:	
номинальная подача, м ³ /ч	63
напор, м вод. ст.	20
-количество, шт.	2
Насосы вакуумные:	

-быстрота действия, м ³ /ч	280
-предельное остаточное давление, Па	0,66
-количество, шт.	3
Максимально потребляемая мощность, кВт	242
Напряжение питания трёхфазной сети частотой 50 Гц, В	380
Габаритные размеры, мм:	
-длина	3650
-ширина	2200
-высота	2300
Масса, кг	3640

Установке НИТА2721 состоит из следующих функциональных систем:

- система масляная;
- система вакуумная;
- система охлаждения вакуумных насосов;
- система электропитания, управления и контроля.

Все системы размещены в одном общем контейнере и соединены между собой по постоянной схеме в определённой технологической последовательности. Ниже кратко приведены основные конструктивные и технологические решения, принятые в установке НИТА2721.

Масляная система установки предназначена для перекачки, нагрева, сушки, дегазации и фильтрации трансформаторного масла. Система выполнена в виде двух соприкасающихся контуров, в одном из которых происходит обработка масла, заливаемого в трансформатор, а во втором - обработка масла, залитого в трансформатор, и нагрев трансформатора горячим маслом. Сушка и дегазация масла осуществляется термовакuumным способом.

Во втором контуре установлены герметичные масляные насосы большой производительности, два мощных маслонагревателя и фильтры тонкой очистки масла, которые обеспечивают быструю перекачку и эффективную очистку масла от механических примесей, а также интенсивный равномерный нагрев масла.

Гибкая система управления маслонагревателями позволяет, в зависимости от назначенного режима, подводить к обрабатываемому трансформатору вместе с горячим маслом мощность от 33 до 200 кВт.

Вакуумная система установки предназначена для откачки паров воды, воздуха и других газов, выделяющихся при обработке из масла и твёрдой изоляции. Основные режимы работы вакуумной системы:

- термовакuumная сушка и дегазация масла;
- вакуумирование трансформатора до, во время и после заполнения трансформатора маслом;
- термовакuumная сушка и дегазация твёрдой изоляции;
- одновременное выполнение всех режимов.

В вакуумной системе установлены три одинаковых пластинчато-роторных вакуумных насоса, которые по сравнению с золотниковыми имеют меньшие размеры и массу, пониженный уровень вибрации. На входе системы установлена ловушка паров воды и масла. Заданные параметры вакуумирования обеспечиваются включением необходимого количества вакуумных насосов и открытием/закрытием соответствующих вакуумных клапанов.

Система охлаждения вакуумных насосов обеспечивает оптимальный температурный режим работы вакуумных насосов в пределах 10-60 °С, работает по замкнутому контуру. В качестве теплоносителя используется трансформаторное масло, которое в зависимости от температуры насосов нагревается или охлаждается. Циркуляция масла осуществляется встроенным в систему насосом. При повышении температуры насосов автоматически включается вентилятор, обдувающий теплообменник, через который прокачивается теплоноситель. Если температура насосов опускается ниже 10 °С, вентилятор выключается и включается масляный нагреватель системы.

Установка НИТА2721 оснащена современными аппаратами управления, контрольно-измерительными приборами и средствами визуального отображения состояния машин и аппаратов, а также мнемосхемой, на которой с помощью светодиодов индицируется состояние параметров обработки БМИ.

По требованию потребителя установка НИТА2721 может комплектоваться компьютерной системой контроля КАСО, которая осуществляет контроль технического состояния технологического оборудования и процессов обработки изоляции. Результаты контроля архивируются и могут быть представлены в табличном или графическом виде.

Для улучшения условий труда персонала, занятого обработкой БМИ силовых трансформаторов, запланирована разработка специального контейнера, в котором будет оборудовано рабочее место оператора, оснащённое компьютером, наборами технических средств и бытовой техники.

Установка НИТА2721 с успехом может быть использована для отмывки твёрдой изоляции и других частей трансформаторов от продуктов старения и механических примесей с применением специальных присадок к маслу и моющих жидкостей. При доукомплектовании установки адсорбером эффективна регенерация масла с использованием гранулированных природных или синтетических сорбентов.

Технология ТРИТОК и установка НИТА2721 коренным образом изменяют организацию и проведение обработки БМИ силовых трансформаторов, обеспечивают высокое качество обработки изоляции с одновременным сокращением продолжительности и снижением стоимости работ.

ВЫВОДЫ

1 Обработка БМИ силовых трансформаторов с применением существующих технологий и оборудования требует значительных материальных и трудовых затрат.

2 Будущее принадлежит высоко интегрированным технологиям и многофункциональному технологическому оборудованию.

3 Технология ТРИТОК и установка НИТА2721 обеспечивают высокое качество обработки БМИ силовых трансформаторов в кратчайшие сроки и с минимальными затратами, что делает их особенно необходимыми в экстремальных ситуациях.