

Сушка бумажной изоляции силового трансформатора под нагрузкой

В процессе эксплуатации трансформаторное масло и целлюлозная изоляция силовых трансформаторов и автотрансформаторов подвергаются воздействию таких факторов, ускоряющих их старение, как влага, кислород, различные примеси, температура. Остановить процесс старения невозможно, но его можно замедлить, существенно снизив воздействие данных негативных факторов.

Редькин С.М., заместитель генерального директора по стратегическому и инновационному развитию АО «НПО «Стример»

Талакин С.А., начальник ЦСД ПАО «Россети Московский регион»

Лапшин Е.А., начальник ОВЭС ВАО Московские высоковольтные сети — филиал ПАО «Россети Московский регион»

Огнев Е.А., начальник СОСЭАид Московские высоковольтные сети — филиал ПАО «Россети Московский регион»



- 1 – выпускной клапан, возврат масла в трансформатор
- 2 – деаэрактор
- 3 – проботборный клапан на выходе
- 4 – датчик влагосодержания и температуры масла на выходе
- 5 – фильтр микрочастиц
- 6 – промежуточный воздухоперепускной клапан
- 7 – быстроразъемные муфты
- 8 – цилиндры с молекулярным ситом (цеолит)
- 9 – электровыключатель
- 10 – стравливающий воздушный клапан
- 11 – индикатор потока
- 12 – насос
- 13 – проботборный клапан на входе
- 14 – впускной клапан, вход масла в модуль

Рис. 1. Устройство модуля TRANSEC CL3AM

Для целлюлозной изоляции трансформатора наибольшую опасность представляет влага. Она оказывает негативное влияние на диэлектрические характеристики, химическую стойкость к разложению и механическую прочность бумажной изоляции. Влага значительно ускоряет температурное старение целлюлозы. Поэтому сушка изоляции является важным и наиболее ответственным процессом восстановления эксплуатационных характеристик изоляционной системы силовых трансформаторов, позволяющим существенно увеличить срок службы бумажной изоляции и сохранить проектный ресурс трансформатора.

Традиционные методы сушки (циркуляция горячего масла, термомодифузия, разбрызгивание горячего масла) требуют наличия сложного оборудования, квалифицированного персонала, значительных затрат. Следует отметить, дело не только в цене, более интенсивные методы сушки твердой изоляции связаны с воздействием повышенных температур, а при вакуумировании — макромеханическими воздействиями на целлюлозу при удалении влаги. В результате этого процесса наблюдается ускоренное старение бумажной изоляции и, как следствие, снижение ее степени полимеризации (на 50–250 ед.) [1]. Необходимо также учитывать возможность окисления нагретого масла и загрязнения изоляции продуктами старения.

Нередко же режим работы электрической сети не позволяет выводить из работы оборудование на длительный срок для проведения обслуживания. В усло-

виях дефицита времени можно эффективно удалять влагу только из масла, и тогда уже периодическая подсушка масла не будет давать результата, после включения трансформатора в работу бумажная изоляция будет выделять накопленную влагу в масло и через некоторое время показатели влажности масла вновь станут неудовлетворительными.

В условиях дефицита времени особенно востребованными становятся технологии, которые позволяют производить техническое обслуживание силового оборудования под нагрузкой.

Именно такую технологию ПАО «МОЭСК» применило прошедшим летом на ПС 220кВ «Чертаново» для сушки изоляции трансформатора типа ТРДЦН-63000/110 (1984 года выпуска) с помощью модуля TRANSEC производства АО «НПО «Стример» (рисунок 1).

Модули TRANSEC укомплектованы блоком контроля и мониторинга. На входе и выходе из системы установлены два датчика Vaisala MMT 162, которые в режиме реального времени измеряют влагосодержание (в ppm) и температуру (в °C) масла. Информация отображается на жидкокристаллическом дисплее (рисунок 2) блока контроля и мониторинга.

Основанием для выполнения работ по сушке изоляции силового трансформатора явилось отклонение показателей качества трансформаторного масла от требуемых регламентирующими документами значений [2]. Влагосодержание бумажной изоляции трансформатора, определенное методом равновесных кривых (рисунок 3), не превышало допустимого значения в 4% (для трансформаторов, отработавших установленные нормативно технической документацией сроки [2]).

Справочно. Согласно последним рекомендациям МЭК и СИГРЭ, для надежной и безопасной работы силовых трансформаторов требуется поддержание влагосодержания целлюлозной изоляции на уровне, не превышающем 2%.



Рис. 2. Блок мониторинга осушителя TRANSEC

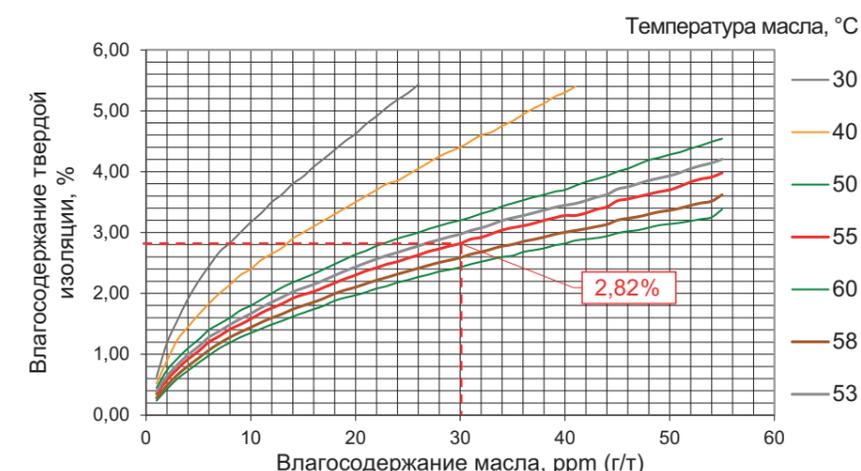


Рис. 3. Равновесное распределение влаги в изоляции трансформатора до сушки



Рис. 4. Монтаж осушителя TRANSEC на ПС «Чертаново»



Модуль TRANSEC был установлен на стене камеры охладителя и подключен к трансформатору. Монтажные работы производились бригадой в количестве трех человек и с учетом подготовки заняли менее двух суток без использования специальной техники и грузоподъемных механизмов (рисунок 4). Все работы производились на работающем оборудовании, отключение трансформатора понадобилось лишь на несколько часов при запуске модуля в эксплуатацию для проверки отсутствия воздуха в системе.

До начала процедуры сушки силами ПАО «МОЭСК» (ПАО «Россети Московский регион») были проведены испытания качества трансформаторного масла.

Для контроля качества сушки трансформатора через четыре месяца после ввода модуля TRANSEC в работу ПАО «МОЭСК» были проведены промежуточные испытания транс-

Табл. 1. Показатели качества масла в период сушки

Показатель качества масла	Значение показателя	
	29.04.2019	27.08.2019
Цвет масла (по шкале Оствальда)	3	2
Пробивное напряжение по ГОСТ 6581-75 кВ	34,9	71,0
Кислотное число по ГОСТ 5985-79, мг КОН/г масла	0,03	0,01
Температура вспышки в закрытом тигле по ГОСТ 6356-75, °С	143	145
Массовое влагосодержание по ГОСТ 24614-81, % (г/т)	30,2	15,2

форматорного масла. Сравнение показателей качества масла до сушки и по состоянию на конец августа приведены в таблице 1.

В результате работы осушителя значительно улучшились показатели влагосодержания и пробивного напряжения масла, после сушки они соответствуют нормам [2].

Фактический объем влаги, извлеченной из изоляции транс-

форматора, был определен путем взвешивания цилиндров и сравнения значений их веса до и после сушки. Взвешивание проводилось на подстанции 17 декабря 2019 года, результаты представлены в таблице 2.

До начала сушки общий рассчитанный объем влаги в твердой изоляции и масле составлял около 78,716 кг. За время работы модуля было извлечено 4,74 кг влаги, из них ≈ 432,1 г — из мас-

Табл. 2. Показатели веса цилиндров

Серийный номер цилиндра	Вес цилиндра		Вес извлеченной влаги
	до сушки	после сушки	
№ 6542	36,8 кг	39,0 кг	2,2 кг
№ 6543	36,8 кг	38,38 кг	1,58 кг
№ 6544	36,6 кг	37,56 кг	0,96 кг
Суммарно			4,74 кг

ла, что привело к снижению влагосодержания масла с 30,2 г/т до 15,3 г/т. Количество влаги, извлеченной из твердой изоляции, составило 4,307 кг, при этом влагосодержание снизилось с 2,82 % до 2,67%.

Для оценки качества проведенных работ высоковольтной лабораторией были проведены измерения диэлектрических характеристик изоляции после сушки. Для проведения анализа и сравнения изоляционных характеристик до и после сушки было выполнено приведение по температуре измеренных после сушки характеристик (R60 и tgδ) к условиям испытаний до сушки. Результаты представлены в таблице 3.

После сушки диэлектрические характеристики твердой изоляции значительно улучшились (рисунок 5) — сопротивление изоляции увеличилось на 20–30%, в то же время tgδ снизился на 34–44% (значения показателей варьируются для различных схем измерений).

По результатам проведенных испытаний и расчетов влагосодержания твердой изоляции можно отметить следующее:

- масло в трансформаторе уже после 3,5 месяцев сушки по физико-химическим параметрам соответствует требованиям СТО 34.01-23.1-001-2017;
- влагосодержание твердой изоляции снизилось на 0,16% относительно начального значения, что соответствует ≈5 литрам извлеченной влаги;
- диэлектрические характеристики твердой изоляции значительно улучшились

Табл. 3. Сравнение показателей изоляции до и после сушки

Значения параметров		Измеренные		Приведенные	Δ, %
Дата испытаний		30.05.2018	14.01.2020		
$T_{изм.}, °C$		48	42	48	
ВН-НН1+ НН2+К	R60, МОм	1900,00	2910,00	2293,51	+21%
	tgδ, %	0,520	0,247	0,293	-44%
НН1-ВН+НН2+К	R60, МОм	2500,00	4100,00	3231,40	+29%
	tgδ, %	0,560	0,310	0,367	-34%
НН2-ВН+НН1+К	R60, МОм	2500	4100	3231,4	+29%
	tgδ, %	0,563	0,316	0,374	-34%

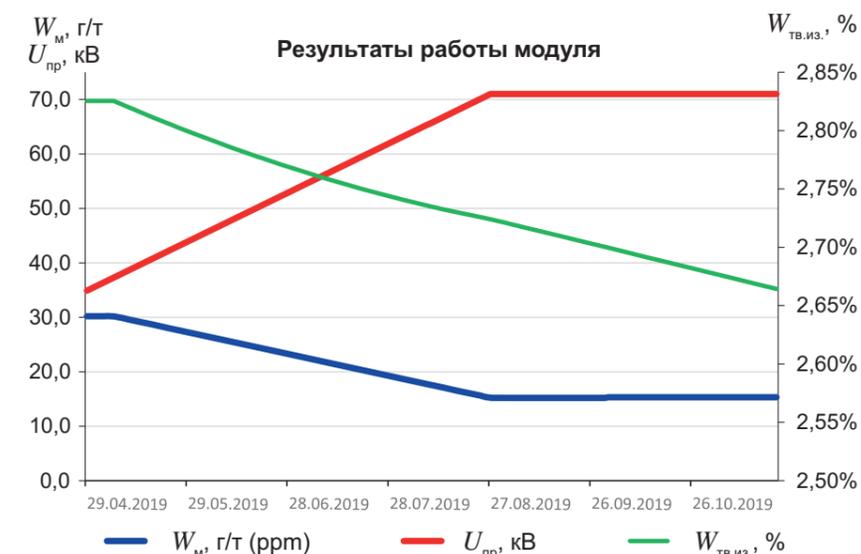


Рис. 5. Показатели качества сушки

увеличилось сопротивление изоляции, снизились диэлектрические потери. В процессе эксплуатации модуля TRANSEC замечаний выявлено не было:

- сушка изоляции производилась непрерывно на работающем трансформаторе без участия персонала;
- визуальным контролем подтверждена безопасность применения модуля — отсутствуют утечки масла;
- отсутствие фактов срабатывания газовой защиты говорит о надежности и герметичности системы.

Опыт применения модуля TRANSEC производства АО «НПО «Стример» на ПС 220 кВ «Чертаново» оказался положительным. Полученные результаты сушки масла и твердой изоляции силового трансформатора с приме-

нением осушительного модуля TRANSEC подтвердили эффективность метода и свою востребованность в условиях перехода на риск-ориентированную модель управления активами. **Р**

ЛИТЕРАТУРА

1. Долин А.П., Смекалов В.В. Ремонт силовых трансформаторов с длительным сроком службы // ЭЛЕКТРО, 2004, № 1. С. 41–46.
2. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытания электрооборудования. Введен в действие распоряжением ПАО «Россети» № 280р от 29.05.2017. М.: ПАО «Россети». 262 с.



Стример[®]
 сохраняя свет
+7 (812) 327-08-08
order@streamer.ru
www.streamer.ru