

Для более точного определения наличия дефекта возможно увеличения количества гармоник в спектре.

После разборки трансформатора выяснилось, что дефектом является замыкание витков высоковольтной обмотки фазы В, возникшего в результате деградации витковой изоляции.

Таким образом метод одноступенчатого дефектографирования оказался достаточно эффективен для выявления дефектов обмоток высоковольтных силовых трансформаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Хренников А.Ю. Опыт обнаружения остаточных деформаций обмоток силовых трансформаторов // Энергетик – 2003. – № 7. – С. 18–20.
2. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество – 1966. – Т. 1. – № 1. – С. 77–81.
3. Хренников А.Ю., Киков О.М. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов // Электрические станции – 2003. – № 11. – С. 49–51.
4. Аликин С.В., Дробышевский А.А., Левицкая Е.И., Филатова М.А. Диагностика обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов // Электротехника – 1991. – № 12. – С. 30–35.
5. Хренников А.Ю., Киков О.М. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов // Электрические станции – 2003. – № 11. – С. 49–51.
6. Lavrinovich V.A, Mytnikov A.V. Development of pulsed method for diagnostics of transformer windings based on short probe impulse // IEEE Translation on Dielectric Electrical Insulation – 2015. – V. 22. – N. 4. – p. 2041–2045.
7. Lavrinovich V.A, Mytnikov A.V, Hongda Li. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse // Resource-Efficient Technologies – 2016. – V. 2. – N. 3. – p. 111–117.

Научный руководитель: А.В. Мытников, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

#### **АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТИПА НЦ**

В.Д. Лощенков<sup>1</sup>, Н.М. Космынина<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ОЭЭ, ИШЭ<sup>1,2</sup>, группа 5А8Б<sup>1</sup>

Продолжительность работы силовых трансформаторов в нормальном безаварийном режиме во многом зависит от такого параметра, как температура. Соблюдение температурного режима обеспечивает система охлаждения

трансформатора. Система охлаждения силовых трансформаторов является важным конструктивным фактором, определяющим срок его службы. Чем больше мощность трансформатора, тем эффективнее должно быть охлаждение его элементов.

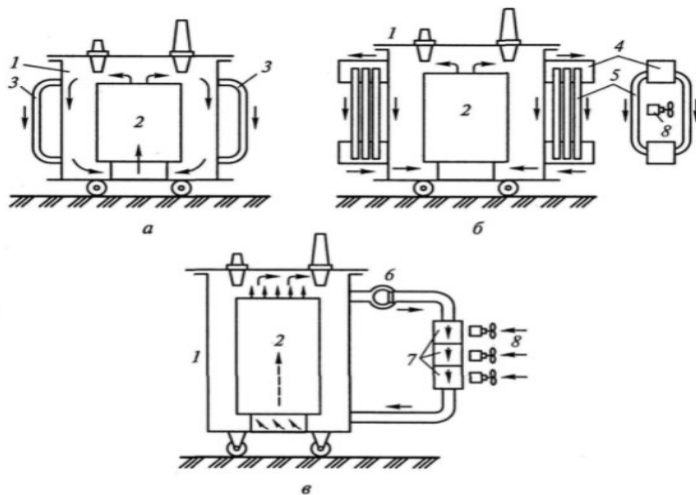
Существуют несколько видов систем охлаждения трансформаторов [1]

- **Естественное воздушное охлаждение**- данный вид подразумевает отсутствие охлаждающей жидкости. Охлаждение происходит за счет движения потоков воздуха из нижних, менее нагретых, частей трансформатора в верхние, более нагретые части. Такая система охлаждения неэффективна и используется до 1600 кВ·А; рис.1а.
- **Естественное масляное охлаждение (М)**- тепло от элементов трансформатора передается маслу, циркулирующее по баку и радиаторным трубам, теплообмен с окружающей средой происходит лучше; применение до 16 000 кВ·А. Схема естественного масляного охлаждения представлена на рис.1б.

**Масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла (Д)** – установка вентиляторов в навесные охладители, что позволяет принудительно осуществлять обдув верхней, более нагретой части трансформатора- увеличение мощности трансформаторов до 80 000 кВ·А. Схема масляного охлаждения с дутьем и естественной циркуляцией масла (Д) представлена на рис.1б.

**Масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители (ДЦ)** – циркуляция масла осуществляется за счет электронасосов, установленных в маслопроводах, а дутье производится вентиляторами. Трансформаторы с данным видом охлаждения обладают меньшими габаритами за счет компактности системы охлаждения. Такая система охлаждения используется в трансформаторах мощностью до 63 000 кВ·А. Схема масляного охлаждения с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители (ДЦ) представлена на рис.1в.

**Масляное-водяное охлаждение с принудительной циркуляцией масла(Ц)**- эта система охлаждения по конструкции аналогична системе охлаждения (ДЦ), за исключением добавления трубок, по которым циркулирует вода, охлаждающее масло, которое движется между ними. Такая система охлаждения используется в трансформаторах мощностью 160000 кВ·А и более.

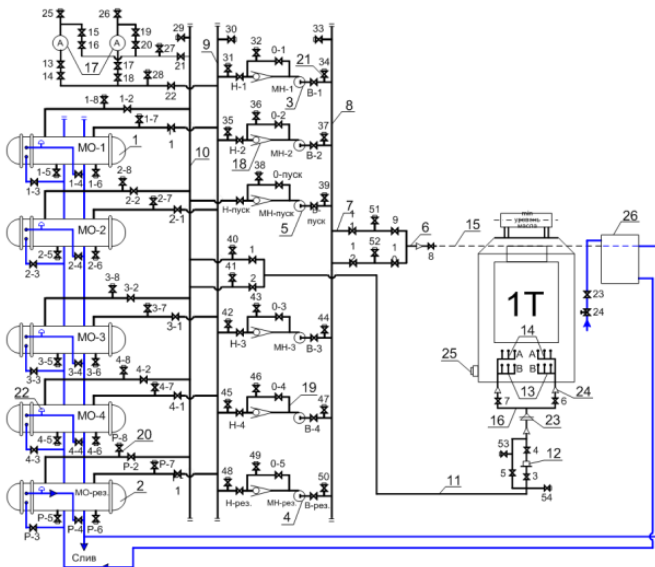


Цифрами на схеме обозначены следующие элементы: 1 - бак, 2 - выемная часть, 3 - охлаждающая поверхность, 4 - коллектор, 5 - трубчатый радиатор, 6 - электронасос, 7 - охладители, 8 - вентиляторы.

Рис. 1. Схемы систем охлаждения без направленного потока масла: а - типа М, б - типа Д, в-типа ДЦ

### Масляное-водяное охлаждение с направленным потоком масла (НЦ) –

Такая система охлаждения применяется в трансформаторах большой мощности: 630 МВ·А и более; рисунок 2 [2-Техническая документация]



Цифрами обозначены следующие элементы: 1 - маслоохладитель рабочий, 2 - маслоохладитель резервный, 3 - электронасос рабочий, 4 - электронасос резервный, 5 - электронасос пусковой, 6 - коллектор горячего масла, 7 - магистральный маслопровод, 8 - всасывающий коллектор, 9 - промежуточный коллектор, 10 - нагнетательный коллектор, 11 - магистральный напорный маслопровод, 12 - маслоочистительный фильтр, 13 - патрубки подачи масла в бак, 14 - патрубки подачи масла в обмотки НН

15 - патрубки забора горячего масла, 16 - коллектор охлаждения масла, 17 - адсорбционный фильтр, 18 - обратный клапан, 19 - обводной маслопровод, 20 - технологический патрубок, 21 - воздухоспускные пробки, 22 - устройство визуального контроля наличия масла в воде, 23 - дросселирующие шайбы, 24 - диафрагмы камерные, 25 - пробки для отбора пробного масла, 26 - бак разрыва струи.

Рис. 2. Схема системы охлаждения ТНЦ-1000000/500-У1

### Принцип работы системы охлаждения

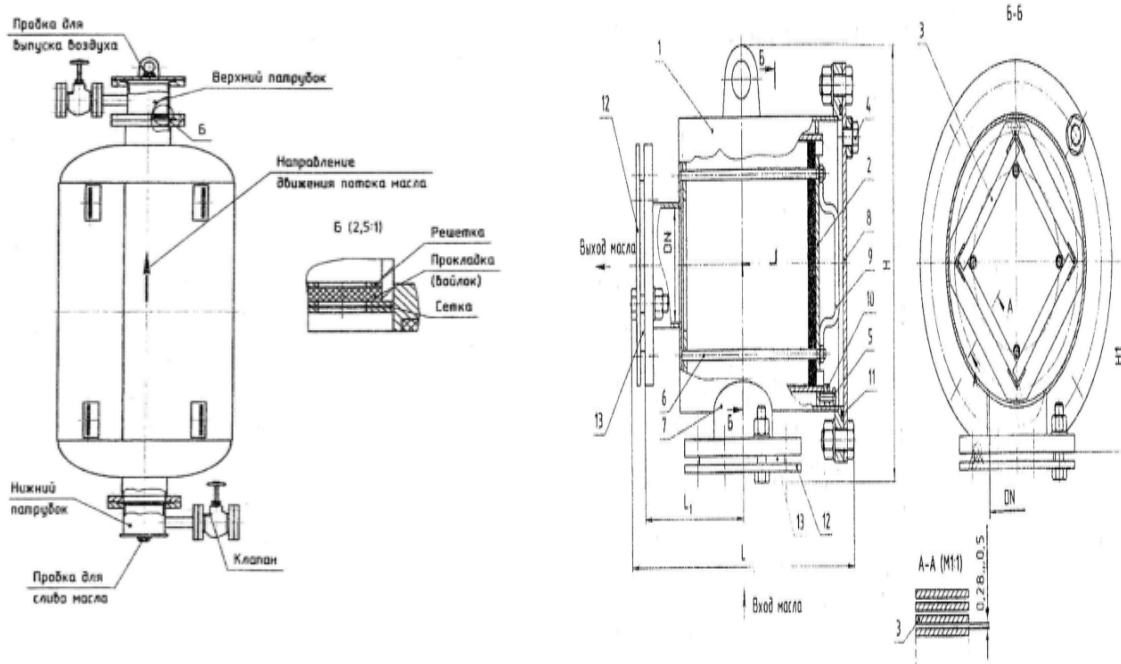
Разогретое масло из верхних слоев (наиболее нагретых), поступает в коллектор горячего масла, где перераспределяется по магистральному маслопроводу, ведущему к маслоохладителям. В них масло охлаждается и далее по магистральному напорному маслопроводу и систему фильтрации возвращается через

патрубки подачи масла в обмотки НН. Трансформатор заливается трансформаторным маслом соответствующего ГОСТа, ТУ. Для нормальной работы системы охлаждения необходимо масло с постоянным контролем его качества. Для этого производится отбор масла на химический анализ и газосодержание. Кроме того, возможно увеличение влагосодержания.

К характерным неисправностям, которые могут привести к увлажнению, относятся нарушение герметичности надмасляного пространства в расширителе, повышенная влажность силикагеля в адсорбционных фильтрах; нарушение плотности водяной поверхности охладителей системы охлаждения.

Важным фактором успешной работы трансформатора является температура охлаждающей жидкости. При нагрузке трансформатора не выше номинальной температура верхних слоёв масла в баке трансформатора не должна превышать длительно  $+60^{\circ}\text{C}$  при максимальной температуре охлаждающей воды  $+33^{\circ}\text{C}$ . При работе трансформатора не рекомендуется допускать снижения температуры масла в баке ниже  $+15^{\circ}\text{C}$ . Для поддержания температуры выше  $+15^{\circ}\text{C}$  следует уменьшить подачу воды в маслоохладители.

За сохранение качества масла в трансформаторе отвечают следующие элементы: адсорбционные и маслоочистительные фильтры (рис.3.)



Адсорбционный фильтр

Маслоочистительный фильтр

Цифрами на схеме маслоочистительного фильтра обозначены следующие элементы: 1 - корпус, 2 - фильтрующий пакет, 3 - пластина, 4 - пробка, 5 - болт, 6 - шпилька, 7 - патрубок, 8 - заглушка, 9 - ручка, 10 - бобышка, 11 - прокладка, 12 - заглушка, 13 - прокладка.

Рис. 3. Адсорбционный и маслоочистительный фильтры

Каталожные параметры силовых трансформаторов ТНЦ, выпускаемых в России, представлены в таблице 3 [3].

Таблица 1. Каталожные параметры силовых трансформаторов ТНЦ

Тип	S <sub>ном</sub> МВ·А	Напряжение об- мотки, кВ			Потери, кВт			
		ВН	СН	НН	Р <sub>х</sub>	Р <sub>к</sub>		
						ВН- СН	ВН- НН	СН- НН
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТНЦ-630000/220	630	242	-	15,75; 20;24	400	-	1200	-
ТНЦ-1000000/220	1000	242	-	24	480	-	2200	-
ТНЦ-630000/330	630	347	-	15,75; 20;24;	345	-	1300	-
ТНЦ-1250000/330	1250	347	-	24	715	-	2200	-
ТНЦ-1000000/500	1000	525	-	24	570	-	1800	-

Продолжение Таблицы 1

Тип	U <sub>к</sub> , %	I <sub>х</sub> , %	Габариты, м			Масса, т		
			ВН- НН	Длина	Ширина	Высота	масла	полная
ТНЦ-630000/220	12,5	0,35	13,8	5,3	8,2	58	455	
ТНЦ-1000000/220	11,5	0,4	14,85	5,45	9,0	110	520	
ТНЦ-630000/330	11,5	0,35	14,85	5,65	8,8	-	455	
ТНЦ-1250000/330	14,5	0,55	14,05	5,5	8,75	85	595	
ТНЦ-1000000/500	14,5	0,45	13,25	5,6	10,25	70	556	

ЛИТЕРАТУРА:

1. Старшинов И.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие. - М.: Издательский дом МЭИ, 2015 г.
2. Техническая документация. Инструкция по эксплуатации трансформатора типа ТНЦ-1000000/500-У1 – 2017 - 101 с.
3. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие/ Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. -СПб.: БЧВ-Петербург, 2013.-608 с.: ил.