

*Беленков Андрей Андреевич*  
*Студент 3 курса*  
*факультет “электрооборудование электрических станций и*  
*подстанций”*  
*ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан*

**СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ,  
КОНТРОЛИРУЕМЫЕ УЗЛЫ, ПЕРЕЧЕНЬ ДЕФЕКТОВ, ОСНОВНЫЕ  
ТРЕБОВАНИЯ**

*Аннотация:* Статья посвящена эффективности и надёжности функционирования электротехнического оборудования электростанций, подстанций, промышленных предприятий, электрических сетей и систем зависит от его технического состояния. В статье рассматриваются современные электротехнические оборудования имеющие достаточно высокие показатели надёжности.

*Ключевые слова:* трансформаторное масло, автоматизированный контроль состояния, хроматография, газ-носитель, диагностика, анализ растворенных газов.

*Belenkov Andrey Andreevich*  
*3rd year student*  
*faculty “Electrical equipment of power plants and*  
*substations”*  
*FGBOU VO "KGEU", Kazan, Republic of Tatarstan*

**SYSTEMS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF  
POWER TRANSFORMERS. BASIC FUNCTIONS, CONTROLLED  
PARTS, LIST OF DEFECTS, BASIC REQUIREMENTS**

***Abstract:** The article is devoted to the efficiency and reliability of the functioning of electrical equipment of power plants, substations, industrial enterprises, electrical networks and systems, depending on its technical condition. The article deals with modern electrical equipment with sufficiently high reliability indicators.*

***Key words:** transformer oil, automated condition monitoring, chromatography, carrier gas, diagnostics, analysis of dissolved gases.*

Большое внимание уделяется внедрению систем мониторинга силовых трансформаторов, соответствующих документу «Типовые требования к мобильным автоматизированным системам мониторинга и технического диагностирования силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше». Настоящий документ принят в декабре 2017 года и определяет основные требования к автоматизированным системам мониторинга и технического диагностирования (АСМД) силовых трансформаторов и автотрансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше. Целью установки мобильных АСМД является обеспечение контроля технического состояния силового оборудования в режиме реального времени для своевременного выявления возможных дефектов, предотвращения аварийных ситуаций и продления срока эксплуатации. Системы АСМД будут монтироваться на силовых трансформаторах, обладающих пониженным индексом технического состояния – менее 50. Предполагается, что система мониторинга позволит повысить надежность работы трансформаторов с большим сроком службы или находящихся в критическом состоянии.

Основные технические и эксплуатационные требования к мобильным системам АСМД силовых трансформаторов с низким уровнем технического состояния в документе «ПАО Россети» определяются в следующем виде: - Мобильность системы мониторинга. Это требование предполагает достаточно простой монтаж и демонтаж оборудования системы мониторинга на

практически любом силовом трансформаторе «без вмешательства в его конструкцию». - Ограниченное количество контролируемых параметров должно позволять проводить корректный расчет технического состояния трансформатора и динамику его изменения. Этим требованием накладываются ограничения на допустимое количество первичных датчиков.

- Минимальный объем первичной информации для работы экспертного ядра АСМД должен компенсироваться использованием расчетно-аналитических диагностических моделей как всего трансформатора, так и его отдельных подсистем. - Система АСМД обязательно должна включать в себя технические и программные средства передачи информации по беспроводным каналам связи на более высокие уровни системы технологического управления «ПАО Россети» по стандартным интерфейсам и протоколам. Оптимальная система АСМД мобильного мониторинга трансформатора не должна быть дорогой, так как такими системами необходимо оснастить достаточно большое количество эксплуатируемого оборудования.

Система АСМД потенциально должна состоять из набора локальных диагностических подсистем, каждая из которых представляет собой отдельную расчетно-аналитическую модель. Интегрирование результатов работы этих математических моделей позволяет получить информацию о текущем техническом состоянии всего силового трансформатора.

1 – Математическая модель температурных режимов работы силового трансформатора.

2 – Система оперативного контроля текущего состояния изоляционной системы трансформатора.

3 – Контроль технического состояния высоковольтных вводов трансформатора.

4 – Подсистема контроля состояния электромеханических элементов трансформатора.

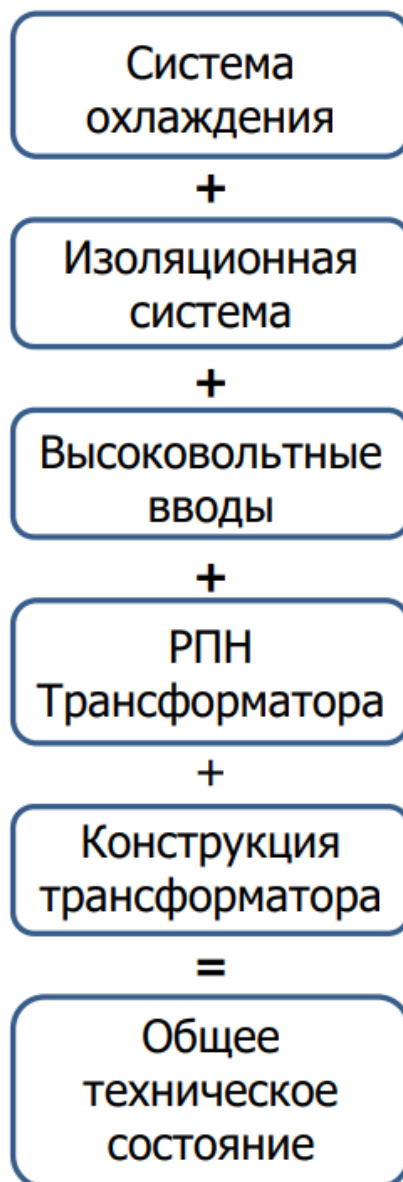
5 – Контроль общего состояния конструкции трансформатора на основе контроля вибрационных параметров.

По результатам совместной работы всех этих диагностических математических моделей в экспертной части программы мониторинга рассчитывается обобщенный коэффициент технического состояния трансформатора. Стабильность или изменение этого коэффициента позволяет оценивать возможность дальнейшей эксплуатации трансформатора с низким индексом технического состояния (рис. 1).

### Анализ температурных режимов работы трансформатора

Установка на баке трансформатора датчиков контроля температуры является обязательным условием для работы любой системы АСМД силового трансформатора. Информация о текущей температуре в баке позволяет получать важную диагностическую информацию о состоянии трансформатора: - При помощи экспертных алгоритмов АСМД может контролировать эффективность работы системы охлаждения трансформатора (при наличии дополнительной информации о текущей нагрузке трансформатора и параметрах окружающей среды). - Наличие в АСМД информации о температуре трансформатора дает возможность использовать модель контроля скорости старения изоляции обмоток, для которой расчетным путем определяются температура максимально нагретой точки обмотки. На основании важности даже этих двух диагностических подсистем очевидно, что включение в состав системы АСМД датчиков температуры бака трансформатора, хотя бы одного, является обязательным условием эффективного контроля состояния трансформатора. Монтаж «накладного» датчика температуры на трансформаторе полностью соответствует основному требованию о мобильности системы мониторинга - простоте монтажа и

демонтажа диагностического оборудования без вмешательства в конструкцию трансформатора



**Рис. 1 Структура узлов системы контроля технического состояния силового трансформатора**

## Контроль состояния изоляции трансформатора двумя методами, сравнение

Необходимость контроля изоляционных параметров трансформатора системой АСМД не вызывает сомнения. Сложность заключается в выборе оптимального метода контроля, так как все известные методы различаются информативностью и особенностями практической реализации. Сравнение параметров двух наиболее приемлемых для систем АСМД методов контроля изоляционных параметров, при помощи приборов контроля растворенных газов и по уровню и распределению частичных разрядов, приведено в таблице 1.

**Таблица 1**

### Сравнение методов контроля

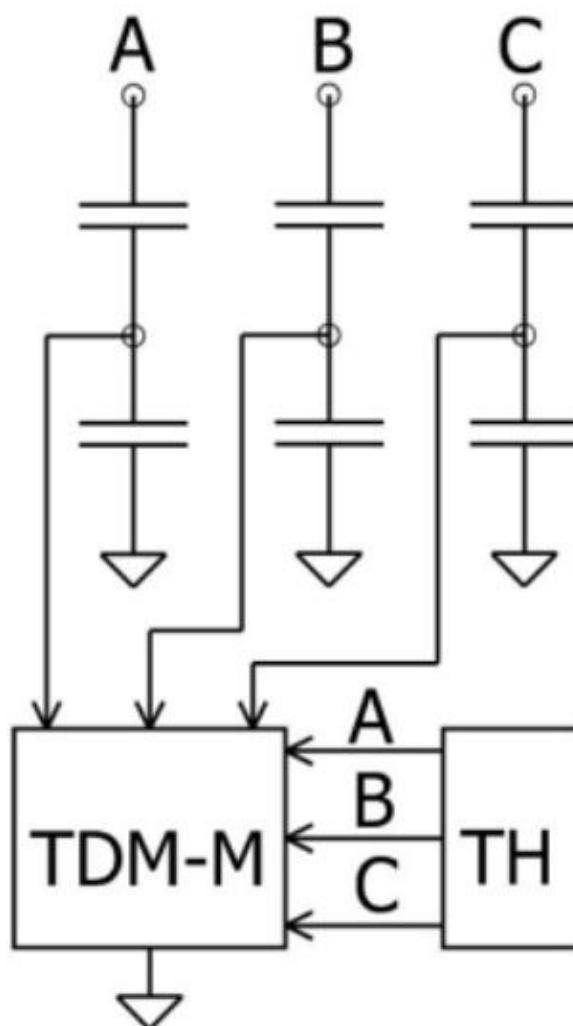
Параметр	Датчик в масле	Частичные разряды
Влагосодержание в масле	+	-
Разряды в баке	+	+
Перегревы	+	-
Мобильность	-	+

Метод контроля растворенных в масле газов имеет преимущества перед методом контроля частичных разрядов по информативности, особенно важно то, что при его использовании возможен контроль влагосодержания в масле. Однако установка датчиков растворенных газов и на новых трансформаторах имеет значительные сложности, а на трансформаторах, имеющих большой срок службы, может оказаться вообще невозможной. Поэтому чаще всего использование метода контроля растворенных газов в масле бака в АСМД затруднено. Также анализ растворённых газов в масле (АРГ) имеет определённую инертность по сравнению с анализом частичных разрядов. Например, превышение концентрации водорода по АРГ зафиксировать можно

только с течением времени и то при росте концентрации на 10 % в сутки. Метод же частичных разрядов (ЧР) позволяет фиксировать разряды практически моментально в момент их возникновения.

Предыдущие две системы контроля позволяют оценивать состояние элементов изоляции только внутри бака трансформатора. Однако достаточно часто выход трансформатора из работы происходит из-за проблем с изоляцией высоковольтных вводов. Мониторинг состояния изоляции вводов обычно производится на основании контроля величины емкости  $C_1$  изоляции вводов и при помощи регистрации и анализа частичных разрядов во вводах. Существуют две схемы измерения параметров вводов – с использованием напряжений от измерительных трансформаторов или по сравнительной схеме. Для системы АСМД силовых трансформаторов с низким индексом технического состояния более предпочтительно использование сравнительной схемы, так как она, при примерно одинаковой информативности, существенно проще в подключении. Дополнительную информацию о состоянии вводов трансформатора дает применение метода регистрации частичных разрядов. Для реализации этого метода используются комплексные датчики, контролирующие токи проводимости и частичные разряды, устанавливаемые на измерительных выводах вводов. При помощи этих же датчиков контролируются частичные разряды в баке трансформатора.

Контролировать появление частичных разрядов необходимо во вводах с современной твердой RIP изоляцией, где разряды возникают на начальных фазах возникновения и развития опасных дефектов (рис.2).



**Рис. 2** Схема подключения датчиков ЧР к ПИН выходам высоковольтных вводов трансформатора

Контроль состояния электромеханических элементов и конструкции трансформатора

Часто повреждаемым элементом силовых трансформаторов является устройство РПН. Это практически единственное устройство трансформатора, элементы которого перемещаются в процессе работы. Процент аварийности силовых трансформаторов по причине выхода из строя устройства РПН



достаточно велик, но в системах АСМД трансформаторов с низким индексом технического состояния его не контролируют по двум причинам: во-первых, элементы системы контроля РПН достаточно сложно монтируются, и во-вторых, у критических трансформаторов персонал предпочитает вообще не переключать РПН. Более простым и полезным элементом АСМД является система контроля состояния конструкции трансформатора, когда на корпусе бака устанавливается датчик контроля вибрации. При помощи одного датчика вибрации на поверхности бака трансформатора, используя соответствующую математическую обработку, можно контролировать несколько параметров: - Контролировать общий уровень вибрации бака трансформатора. - При повышении амплитуды гармоник в высокочастотной части спектра можно определять общую изношенность конструкции трансформатора. - На основании анализа гармоник, кратных 50 и 100 Гц в различных режимах работы, можно оценивать качество прессовки обмоток и сердечника. Установка датчиков вибрации на баке трансформатора не представляет большой сложности, поэтому их следует использовать в системах АСМД трансформаторов с низким индексом технического состояния.

Таблица диагностических свойств приборов, применимых для создания АСМД силовых трансформаторов (на примере компании «Димрус» Россия)

**Таблица 2**

**Сравнение характеристик систем контроля**

	TDM-Oil	TDM-M	ГИДРОМЕР	ИНТЕГАЗ
Влагосодержание в масле	+		+	+
Растворённые газы в масле			+	+
Частичные разряды в изоляции	+	+		
Контроль высоковольтных вводов		+		
Температура бака трансформатора	+	+	+	+
Состояние конструкции	+	+		

В таблице 2 были приведены сведения о диагностических возможностях измерительных приборов, на основе которых могут создаваться АСМД силовых трансформаторов с низким индексом технического состояния. Эти отечественные приборы в наибольшей степени соответствуют основным техническим требованиям, предъявляемым к таким системам: - Возможность оперативной оценки и изменений технического состояния силового трансформатора по минимуму первичной информации. - Передача комплексной информации о состоянии силового трансформатора по беспроводному интерфейсу на более высокий уровень АСУ-ТП. - Простота монтажа технических средств системы и мобильность.

Система мониторинга силовых трансформаторов на основе комплексного прибора TDM-Oil



**Рис. 3 Внешний вид системы TDM-Oil**

Система АСМД на основе прибора TDM-Oil производства ДИМУС. Прибор марки TDM-Oil имеет четыре датчика внутри бака:

1. Датчик влагосодержания в масле бака трансформатора – контроль электрической прочности масла.

2. Датчик частичных разрядов СВЧ диапазона частот. Это наиболее информативный и защищенный от помех способ регистрации ЧР.

3. Датчик температуры внутри бака трансформатора. При помощи этого датчика производится оценка эффективности работы системы охлаждения.

4. Датчик вибрации в баке трансформатора. При помощи этого датчика контролируется общее техническое состояние конструкции трансформатора и качество прессовки обмоток и сердечника.

**Достоинства системы АСМД:** - Минимальный объем первичной информации, достаточный для проведения комплексной оценки состояния трансформатора. - Минимальная стоимость технических средств АСМД мониторинга силового трансформатора. - Простота монтажа и демонтажа.

**Недостатки системы на основе TDM-Oil:** - Крепление TDM-Oil на переходном фланце сливного крана бака трансформатора, что достаточно часто невозможно на старых трансформаторах, особенно при наличии у них на баке сливного крана вентильного типа.

Система мониторинга силовых трансформаторов на основе комплексного прибора TDM-M



**Рис. 4 Внешний вид системы TDM-M**

Система АСМД для силовых трансформаторов с низким индексом технического состояния на основе прибора TDM-M производства фирмы ДИМРУС. Монтируется в защитном шкафу рядом с контролируемым трансформатором. Система АСМД включает в себя:

1. Датчик температуры. Позволяет реализовать возможности температурной модели трансформатора.
2. Датчики токов проводимости вводов и частичных разрядов контроль вводов и изоляции трансформатора.
3. Датчик тока нагрузки трансформатора для использования в расчетах температуры наиболее нагретой точки обмотки.

4. Датчик вибрации бака трансформатора для контроля параметров конструкции трансформатора.

**Достоинства АСМД на основе TDM-M:** - Сравнительно низкая стоимость технических средств АСМД при достаточном объеме информации для оценки технического состояния трансформатора. - Высокая мобильность - система может оперативно монтироваться на трансформаторах любой конструкции.

**Недостатки.** - Отсутствие информации о влагосодержании в масле. - Использование внешнего шкафа несколько затрудняет монтаж и эксплуатацию системы мониторинга.

Система мониторинга силовых трансформаторов на основе приборов TDM-M + ГИДРОМЕР



**Рис.5 Внешний вид TDM-M + ГИДРОМЕР**

Этот вариант системы мониторинга силовых трансформаторов с низким индексом технического состояния отличается тем, что совместно с прибором TDM-M рядом с трансформатором монтируется прибор ИНТЕГАЗ

производства фирмы ИНТЕРА. Он устанавливается в специальном защитном шкафу и соединяется с баком трансформатора при помощи двух масляных трубопроводов. Прибор ИНТЕГАЗ наряду с оперативным контролем влагосодержания в масле бака трансформатора контролирует содержание водорода и сумму горючих газов в масле, что позволяет лучше и достовернее оценивать техническое состояние контролируемого трансформатора. Достоинства АСМД в составе TDM-M + ИНТЕГАЗ: - Большой объем первичной информации, позволяющий проводить комплексную оценку состояния трансформатора. - Возможность монтажа оборудования на практически любом трансформаторе. Недостатки: - Самая высокая стоимость системы мониторинга (сравнительно, из четырех приведенных в обзоре). - Использование еще одного внешнего шкафа и дополнительные трубопроводы с маслом от бака трансформатора до прибора существенно затрудняют эксплуатацию, монтаж и демонтаж такой системы мониторинга.

#### **Список литературы:**

1. Методы контроля состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов. – М.: ОГРЭС. – 2007.
2. Г.В. Попов, Е.Б. Игнатъев Определение индекса технического состояния силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации / «Вестник ИГЭУ» Вып. 4 2014 г.
3. Алексеев, Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов/ Б.А. Алексеев. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2008.
4. Алексеев, Б.А. Системы непрерывного контроля состояния крупных силовых трансформаторов. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2009.