

Мониторинг маслонаполненных силовых трансформаторов с рабочим напряжением 10÷35 кВ

Система TDM-35 предназначена для контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов с рабочим напряжением 10-35 кВ. По сравнению с системой мониторинга марки TDM-10, эта система является более эффективной благодаря использованию дополнительных датчиков и более совершенной экспертной системы, используемой для оценки технического состояния и диагностики дефектов трансформатора.

Для контроля текущего технического состояния трансформаторов в системе TDM-35 реализовано несколько диагностических методов, результаты работы которых дополняют друг друга:

1. Регистрация и анализ температурных режимов работы трансформатора.
2. Контроль влагосодержания в масле бака трансформатора.
3. Контроль влагосодержания в твердой изоляции обмоток трансформатора.
4. Регистрация и анализ разрядных процессов внутри бака трансформатора.
5. Контроль технического состояния конструкции трансформатора по параметрам вибрации.
6. Контроль уровня масла в баке трансформатора по принципу защитного реле.

Конструктивно прибор системы мониторинга TDM-35 представляет собой единый металлический корпус, показанный на рисунке. В верхней части в отдельном герметичном металлическом корпусе располагается электронная часть всей системы мониторинга. Снизу в корпус вводятся кабель питания и кабели от внешних датчиков.

В нижней цилиндрической части корпуса прибора из нержавеющей стали, которая вводится внутрь бака трансформатора, находятся все первичные датчики, предназначенные для контроля параметров трансформатора. Длина цилиндрической части корпуса зависит от конструкции герметизирующего узла и особенностей посадочного места на крышке трансформатора.

Прибор системы мониторинга TDM-35 монтируется непосредственно на верхней крышке бака трансформатора. Для этих целей может использоваться или штатная горловина для заливки масла с посадочным узлом, или специальный переходной фланец с герметизирующим узлом, устанавливаемый на любой технологической крышке на баке. Посадочный герметизирующий узел является универсальным для приборов TDM-10 и TDM-35.

Дополнительно к датчикам, находящимся внутри бака трансформатора, к измерительному прибору системы TDM-35 подключаются два внешних датчика. Это датчик тока нагрузки трансформатора и комплексный датчик контроля температуры и влажности окружающей среды.

При помощи адаптивного цифрового двойника трансформатора, параметры которого получают уникальны для каждого контролируемого системой трансформатора, в программном обеспечении системы мониторинга TDM-35 выполняется оценка текущего технического состояния,

оперативная диагностика дефектов, осуществляется математическое прогнозирование развития технического состояния трансформатора на будущих этапах эксплуатации.

Результатом работы экспертной части программного обеспечения является:

- Информация о текущем техническом состоянии контролируемого трансформатора в целом и его отдельных подсистем.
- Перечень тревожных и предаварийных превышений контролируемых параметров, выявленных системой мониторинга за выбранный пользователем период времени.



Система TDM-35 для мониторинга
маслонаполненных трансформаторов.

- Расчет температуры наиболее нагретой точки обмотки трансформатора, определение скорости старения изоляции обмоток.
- Оценка эффективности работы системы охлаждения, учитывающая возникновение внутри бака трансформатора дополнительных зон нагрева.
- Список всех диагностированных экспертной системой признаков дефектных состояний трансформатора с оценкой степени их опасности.

Завершающим итогом работы экспертных алгоритмов программы мониторинга является создание акта текущего технического состояния трансформатора с рекомендациями по особенностям его дальнейшей эксплуатации, необходимости проведения дополнительных обследований, сервисных и ремонтных работ.

Вся информация о техническом состоянии трансформатора из системы TDM-35 передается в централизованную систему АСУ-ТП предприятия, для чего в системе предусмотрено использование трех стандартных интерфейсов передачи данных:

1. Проводной гальванически изолированный интерфейс связи марки RS-485. При помощи этого интерфейса можно передавать информацию в АСУ-ТП, проводить настройку режимов работы TDM-35, проводить специализированные разовые измерения параметров работы трансформатора.
2. Беспроводной интерфейс связи марки Bluetooth, предназначенный для передачи данных на смартфон, планшет, переносной компьютер, управлять режимами работы системы мониторинга. Эффективная дальность работы этого беспроводного интерфейса составляет десятки метров.
3. Беспроводной интерфейс связи марки LoRa (Lora Wan). Достоинством этого интерфейса связи является то, что информация может передаваться на большое расстояние, достигающее нескольких километров. Вторым преимуществом интерфейса LoRa является использование в нем двойного шифрования информации.

При заказе системы TDM-35 пользователю необходимо заранее определиться с необходимым для АСУ-ТП набором интерфейсов связи. В приборе системы мониторинга может быть установлен проводной интерфейс RS-485 (он может быть или не быть) и дополнительно один беспроводной интерфейс: Bluetooth или LoRa (необходимо выбрать один из двух).

Конструкция измерительного прибора системы мониторинга TDM-35 аналогична конструкции прибора системы TDM-10. В верхней герметизированной части корпуса прибора располагается вся электронная часть системы мониторинга. В нижней цилиндрической части корпуса, которая вводится внутрь бака (по диаметру она аналогична прибору TDM-10), находятся измерительные датчики.

Измерительный прибор TDM-35 монтируется на верхней крышке бака трансформатора. Для этого используется переходной фланец с герметизирующим узлом, который по конструкции и размерам аналогичен переходному узлу для установки прибора TDM-10, показанный на рисунке. Переходный узел устанавливается на любой технологической крышке, имеющейся на поверхности бака трансформатора. В основе герметизирующего узла лежит шаровой кран с проходным отверстием DN не менее 30 мм.

Для первичного монтажа переходного узла (как минимум шарового крана) необходимо слить масло в баке трансформатора до уровня верхней крышки бака и осуществить монтаж переходного фланца. В дальнейшем монтаж и демонтаж измерительного прибора системы мониторинга TDM-35 может производиться даже без частичного слива масла.

Если нет возможности смонтировать измерительный прибор системы TDM-35 на верхней крышке бака трансформатора, то его можно смонтировать на боковой поверхности бака. В этом случае система мониторинга сохранит свою работоспособность и функциональные возможности, но некорректно будет работать функция защитного реле минимального уровня масла в баке.

Проводной монтаж при установке измерительного прибора системы TDM-35 не требует больших затрат. Поскольку все основные датчики параметров трансформатора объединены в общий блок, который уже введен в масло бака трансформатора на этапе монтажа, к измерительному прибору системы необходимо подключить четыре кабельные линии:

1. Кабель питания AC/DC.
2. Кабель от датчика марки IFCT-5 для контроля тока нагрузки трансформатора.
3. Кабель линии связи, если в системе будет использован проводной интерфейс RS-485.
4. Кабель для подключения датчика температуры и влажности окружающего воздуха.

Антенна выбранного беспроводного интерфейса связи (Bluetooth или LoRa) монтируется на корпусе прибора на заводе и не требует для подключения внешней кабельной линии.

Технические параметры системы TDM-35.

	Параметр	Значение
1	Напряжение ВН контролируемого трансформатора, кВ	10 ÷ 35
2	Величина тока нагрузки трансформатора (в цепи ТТ), А	0 ÷ 5
3	Выходное (входное) напряжение трансформатора, В (АС)	110/220
4	Диапазон контролируемой температуры бака, град	-40 ÷ +125
5	Влагосодержание в масле бака трансформатора, ppm	0 ÷ 400
6	Влагосодержание в твердой изоляции, %	0,5 ÷ 63,7
7	Диапазон контролируемых разрядных импульсов, dBm	-60 ÷ -8
8	Диапазон контролируемой вибрации в баке, Гц	10 ÷ 1000
9	Уровень срабатывания реле уровня масла в баке, мм	±20
10	Размеры корпуса прибора для электроники Ш*Г*В, мм	410*200*170
11	Размеры корпуса с встроенными датчиками D*H, мм	25*320
12	Масса прибора в сборе, кг	3
13	Рабочая температура, град	-40 ÷ +85
14	Напряжение питания, В (АС)	110÷220
15	Потребляемая мощность, не более, Вт	5

Для максимально эффективного использования результатов работы систем мониторинга в целях управления эксплуатацией и обслуживанием трансформаторов необходимо использовать программное обеспечение INVA, которое реализует функции управления обслуживанием трансформаторного и другого высоковольтного оборудования на уровне АСУ-ТП всего предприятия.

Признаки дефектных состояний маслонаполненных трансформаторов, диагностируемые системами мониторинга марки TDM-10 и TDM-35.

Перечень первичных параметров, контролируемых системами мониторинга, приведен в таблице.

Система	Тип, рабочее напряжение ВН, технологическая значимость трансформатора	Контролируемые параметры трансформатора								
		Ток нагрузки	Температура трансформатора	Влага в масле	Влага в твердой изоляции	Уровень масла	Разрядная активность	Температура и влага воздуха	Давление в баке	Вибрация
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
TDM-10	Маслонаполненные трансформаторы 6-10 кВ	-	1	1	-	1 ⁽¹⁾	1	-	1 ⁽²⁾	1
TDM-35	Маслонаполненные трансформаторы 10-35 кВ	1	1	1	1	1 ⁽¹⁾	1	1	1	1

Примечание к таблице:

(1) – защитная функция системы мониторинга.

(2) – дополнительная опция для системы мониторинга TDM-10.

Эти системы мониторинга различаются количеством первичных датчиков и их типом, в результате имеют различную достоверность получаемых диагностических заключений. Чем больше количество датчиков и сложнее система, тем она дороже, но информативнее.

Перечень наиболее часто встречающихся локальных дефектных состояний маслонаполненных трансформаторов, выявляемых встроенной диагностической экспертной системой, приведен в таблице.

№	Дефектное состояние	Параметры из табл. 1.	Достоверность	
			TDM-10	TDM-35
1. Изоляция обмоток трансформатора				
1.1.	Контроль электрической прочности масла в баке трансформатора по наличию растворенной воды.	2, 3	++	++
1.2.	Контроль влагосодержания в твердой изоляции обмоток трансформатора.	2, 3, 4	-	++
1.3.	Учет естественного старения изоляции обмоток на основании контроля наработки трансформатора.	1	++	++
1.4.	Контроль температурных превышений, приводящих к ускоренному старению изоляции обмоток.	1, 2	+	++
1.5.	Выявление локальных дефектов в изоляционной системе трансформатора по частичным разрядам.	6, 7	+	+
1.6.	Определение типа выявленных дефектов, оценка степени их развития, опасности для эксплуатации.	6, 7	+	+
2. Сердечник трансформатора				
2.1.	Контроль усилия прессовки сердечника трансформатора по спектру вибрационного сигнала.	1, 9	++	++
2.2.	Контроль наличия короткозамкнутых контуров в сердечнике трансформатора.	1, 2, 6, 9	++	++
3. Состояние конструктивных элементов трансформатора				
3.1.	Контроль целостности конструкции трансформатора по спектрам вибрационных сигналов.	9	++	++
3.2.	Определение эффективности охлаждения трансформатора по температурам бака, воздуха и току нагрузки.	1, 2, 7	-	++
4. Управление эксплуатацией и обслуживаем трансформатора				
4.1.	Контроль текущего технического состояния трансформатора по параметрам цифрового двойника.	1 – 9	+	++
4.2.	Определение скорости ухудшения технического состояния, оценка остаточного ресурса трансформатора.	1 – 9	++	++
4.3.	Планирование сроков и объемов проведения сервисных и ремонтных работ.	1 - 9	++	++

Достоверность выявления дефектных состояний в таблице иллюстрируется следующим образом:

(++) – достаточно высокая достоверность;

(+) – сравнительно невысокая достоверность.

Для каждой из трех контролируемых подсистем трансформатора: для изоляционной системы, для сердечника трансформатора и для его конструкции в программном обеспечении системы мониторинга строятся локальные математические модели.

Итоговая математическая модель трансформатора, его цифровой двойник, комплексно строится на основе объединения параметров локальных моделей подсистем трансформатора.