

## Системы мониторинга маслонаполненных силовых трансформаторов с напряжением 6÷35 кВ

### Система TDM-10 для мониторинга маслонаполненных трансформаторов 6÷10 кВ

Система мониторинга TDM-10 предназначена для оперативного контроля и диагностики маслонаполненных силовых трансформаторов с рабочим напряжением 6÷10 кВ. При помощи этой системы осуществляется контроль технического состояния трансформаторов, оценивается остаточный ресурс.

TDM-10 в режиме мониторинга контролирует 6 основных параметров силового трансформатора:

- Температура масла в баке трансформатора. На основании этого важного эксплуатационного параметра в системе мониторинга определяется нагрузочная способность трансформатора, рассчитывается остаточный ресурс изоляции.
- Влажность в масле бака. Этот параметр во многом определяет электрическую прочность масла, влияет на возможность работы трансформатора при низких температурах.
- Уровень масла в баке – параметр эксплуатационной защиты.
- Разрядная активность внутри бака, которая возникает при наличии проблем в изоляционной системе трансформатора.
- Вибрация в баке трансформатора - это параметр, который связан с техническим состоянием механических элементов конструкции трансформатора.
- Давление внутри бака трансформатора.



Внешний вид прибора системы мониторинга TDM-10

Первичная и итоговая информация о техническом состоянии трансформатора из системы TDM-10 оперативно передается в единую систему АСУ-ТП предприятия, которая осуществляет мониторинг всего высоковольтного электротехнического оборудования, управляет работой ремонтных и сервисных служб предприятия.

Для передачи информации о техническом состоянии трансформатора в общую АСУ-ТП предприятия в системе мониторинга TDM-10 предусмотрены три стандартных интерфейса передачи данных:

- Проводной гальванически изолированный интерфейс связи марки RS-485. При помощи этого интерфейса можно передавать информацию в АСУ-ТП, проводить настройку режимов работы TDM-10, проводить специализированные разовые измерения параметров работы трансформатора. Интерфейс применяется при создании комплексной системы контроля высоковольтного оборудования подстанции.

- Беспроводной интерфейс связи марки Bluetooth, предназначенный для передачи данных на смартфон, планшет, переносной компьютер, для управления режимами работы системы TDM-10. Дальность работы такого беспроводного интерфейса составляет десятки

метров. Этот интерфейс обычно используется при автономном монтаже системы мониторинга, когда информация о состоянии трансформатора периодически считывается из прибора в смартфон с дополнительным программным обеспечением при периодических обходах оборудования эксплуатационным персоналом.

- Беспроводной интерфейс связи марки LoRa (LoRa Wan). При помощи этого интерфейса информация может передаваться на большие расстояния, достигающие нескольких километров. Вторым достоинством интерфейса LoRa является использование в нем двойного шифрования информации. Самым существенным недостатком интерфейса LoRa является его низкая пропускная способность: одна посылка информации может содержать в себе только несколько десятков байт. Обычно это может быть только интегральная информация о техническом состоянии контролируемого трансформатора.

В минимальной конфигурации прибор всегда оснащается беспроводным интерфейсом Bluetooth. При необходимости в приборе могут быть установлены технические средства для дополнительных интерфейсов: проводного RS-485 и беспроводного LoRa.

При заказе системы TDM-10 пользователю необходимо заранее определиться с необходимым для АСУ-ТП предприятия набором дополнительных интерфейсов связи. В приборе системы мониторинга могут быть установлены проводной интерфейс RS-485 и дополнительно беспроводной интерфейс LoRa. В этом случае интерфейс Bluetooth будет доступен только при открытой крышке прибора (или только на очень близком расстоянии, несколько метров), так как на металлическом корпусе прибора предусмотрено место для антенны только одного беспроводного интерфейса.



Монтаж TDM-10 на крышке бака с использованием переходного устройства

Конструктивно прибор системы мониторинга TDM-10 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 кабель проводного интерфейса связи RS-485. В третьем (пластиковом) кабельном вводе в корпусе располагается антенна выбранного пользователем интерфейса беспроводной связи.

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-10 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. Конструкция переходного узла для монтажа прибора на крышке бака зависит от особенностей конструкции трансформатора, пример конструкции приведен на рисунке.

Установка переходного узла на верхней крышке бака трансформатора 10 кВ обычно производится без слива масла на отключенном трансформаторе. Любой монтаж и демонтаж измерительного прибора TDM-10 в переходный узел производится оперативно также без слива масла за счет использования шарового крана и уплотняющего узла в верхней части монтажного узла.

После монтажа прибора подключение и включение в работу системы мониторинга TDM-10 осуществляется просто и оперативно. Поскольку все первичные датчики системы мониторинга находятся в цилиндрической части корпуса прибора, введены в масло бака трансформатора и уже подключены к измерительной схеме, необходимо только подать питание на прибор. Для этого нужно подключить два провода к выводам вторичной обмотки трансформатора: к фазе и нейтральной точке вторичной обмотки. Включение и выключение системы мониторинга в этом случае будет происходить автоматически при включении и отключении контролируемого трансформатора.



Блок расширения марки TDM-10/U

Если работа системы TDM-10 предполагается в автономном режиме с использованием только беспроводных интерфейсов связи, то необходимо подключить только кабель питания. Если предполагается подключение TDM-10 к системе АСУ-ТП при помощи проводного интерфейса RS-485, то необходимо подключить информационный кабель.

Для расширения диагностических функций и возможностей системы мониторинга марки TDM-10 на контролируемый трансформатор может быть смонтирован дополнительный модуль расширения марки TDM-10/U. Этот модуль предназначен для контроля и мониторинга токов нагрузки и напряжений вторичной обмотки трансформатора и

в базовую поставку системы мониторинга не входит.

Дополнительный измерительный модуль TDM-10/U монтируется на крышке бака трансформатора рядом с выводами обмотки низкого напряжения. Питается модуль от измеряемого трехфазного напряжения вторичной обмотки трансформатора. Для измерения токов нагрузки трансформатора используются катушки Роговского, которые монтируются вокруг изоляторов выводов вторичной обмотки трансформатора.

Информацию о зарегистрированных параметрах работы трансформатора дополнительный модуль передает в основной модуль мониторинга по радиointерфейсу Bluetooth.

Использование модуля расширения для контроля электрических параметров трансформатора увеличивает стоимость системы мониторинга, но дает возможность более эффективно контролировать технологические параметры работы трансформатора. В частности, он позволяет регистрировать перенапряжения и импульсные сквозные токи через трансформатор.

Достоинства применения системы мониторинга марки TDM-10:

- Система TDM-10 является максимально эффективным и сравнительно дешевым решением для мониторинга силовых распределительных трансформаторов 6-10 кВ.

• Использование в TDM-10 беспроводного канала позволяет оперативно собирать информацию в систему АСУ-ТП при помощи стандартного приемника WDM или периодически контролировать техническое состояние трансформатора во время обходов оборудования при помощи обычного смартфона.

**Технические параметры системы TDM-10**

	Параметр	Значение
1	Напряжение ВН контролируемого трансформатора, кВ	6 ÷ 10
2	Диапазон контролируемой температуры в баке, град	-40 ÷ +125
3	Диапазон контроля влагосодержания в масле, ppm	0,63 ÷ 63,69
4	Перепад уровня масла в баке, мм	50
5	Разрядная активность в баке трансформатора, dBm	-60 ÷ -8
6	Вибрация в баке, G	4
7	Размеры корпуса прибора Д*Ш*В, мм	400*150*80
8	Масса прибора, кг	1,5
9	Рабочая температура, град	-40 ÷ +85
10	Напряжение питания, В (АС)	110/220
11	Потребляемая мощность, не более, Вт	5

## **Система марки TDM-35 для мониторинга маслонаполненных трансформаторов 10÷35 кВ**

Система TDM-35 предназначена для контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов 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:

- Регистрация и анализ температурных режимов работы трансформатора.
- Контроль влагосодержания в масле бака трансформатора.
- Контроль влагосодержания в твердой изоляции обмоток трансформатора.
- Регистрация и анализ разрядных процессов внутри бака трансформатора.
- Контроль технического состояния конструкции трансформатора по параметрам вибрации.
- Контроль уровня масла в баке трансформатора.

Датчики для регистрации этих важных параметров трансформатора конструктивно объединены в единый модуль, который вводится внутрь бака трансформатора через верхнюю крышку.

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 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.
- 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:

- 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.

- Беспроводной интерфейс связи марки Bluetooth, предназначенный для передачи данных на смартфон, планшет, переносной компьютер, позволяет управлять режимами работы системы мониторинга. Дальность работы этого интерфейса составляет десятки метров.

- 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 из двух беспроводных интерфейсов: Bluetooth или LoRa.



Система TDM-35 для мониторинга  
маслонаполненных трансформаторов с  
напряжением 10-35 кВ

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 контроля 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:

- Кабель питания AC/DC.
- Кабель от датчика марки IFCT-5 для контроля тока нагрузки трансформатора.
- Кабель линии связи, если в системе будет использован проводной интерфейс RS-485.

- 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,	0,63 ÷ 63,69
6	Влагосодержание в твердой изоляции, %	0 ÷ 10
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	400*200*170
11	Размеры корпуса с встроенными датчиками D*H, мм	30*250
12	Масса прибора в сборе, кг	2,5
13	Рабочая температура, град	-40 ÷ +85
14	Напряжение питания, В (АС)	110÷240
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 <sup>(1)</sup>	1	-	1 <sup>(2)</sup>	1
TDM-35	Маслонаполненные трансформаторы 10÷35 кВ	1	1	1	1	1 <sup>(1)</sup>	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
<b>1. Изоляция обмоток трансформатора</b>				
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	+	+
<b>2. Сердечник трансформатора</b>				
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	++	++
<b>3. Состояние конструктивных элементов трансформатора</b>				
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	-	++
<b>4. Управление эксплуатацией и обслуживанием трансформатора</b>				
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.