

УДК 621.314

https://doi.org/10.33619/2414-2948/98/32

ПАТЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

©**Тимергалиев Р. Р.**, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Нижнекамск, Россия, timergliev-job@yandex.ru

©**Гаврилов Е. Н.**, SPIN-код: 8536-2670, канд. техн. наук, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Нижнекамск, Россия, noble-86@mail.ru

©**Сagdеева Г. С.**, SPIN-код: 2953-4605, канд. пед. наук, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Нижнекамск, Россия, sagdeeva_g@mail.ru

PATENT RESEARCH OF SYSTEMS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF TRANSFORMERS

©**Timergaliev R.**, Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, timergliev-job@yandex.ru

©**Gavrilov E.**, SPIN-code: 8536-2670, Ph.D., Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, noble-86@mail.ru

©**Sagdeeva G.**, SPIN-code: 2953-4605, Ph.D., Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, sagdeeva_g@mail.ru

Аннотация. Раскрываются основные причины возникновения неисправностей у силовых трансформаторов на промышленных предприятиях. Также представлены основные технические параметры электрооборудования, которые могут дать информацию о его техническом состоянии. В статье проводится сравнение систем мониторинга технического состояния электрооборудования различных производителей. Все это представлено в профессиональном контексте, с акцентом на ключевые аспекты.

Abstract. This article reveals the main causes of malfunctions in power transformers at industrial enterprises. The main technical parameters of electrical equipment are also presented, which can provide information about its technical condition. The article compares systems for monitoring the technical condition of electrical equipment from various manufacturers. All this is presented in a professional context, with an emphasis on key aspects.

Ключевые слова: патентный поиск, силовой трансформатор, системы мониторинга.

Keywords: patent search, power transformer, monitoring systems.

Выход из строя силового электрооборудования на повышающих, распределительных и понижающих подстанциях могут привести к авариям и происшествиям на опасных производственных и гражданских объектах. Снижения качества электроэнергии, а также полное отключение зачастую приводят к массовым убыткам и создают угрозу жизни и здоровью людей. Основные причины выхода из строя силового трансформатора: старение изоляции из-за действия электрического поля и катализаторов; увлажнение масла, снижение его уровня в баке; внутренние или внешние перенапряжения; повышенный нагрев элементов активной части, вызванный перегревом вихревыми токами, перегрузкой и старением; износ

контактов распределительного устройства; частичные разряды в изоляции [1].

С целью своевременной ликвидации и предупреждений отказов необходимо постоянно следить за техническим состоянием электрооборудования, своевременно предпринимая действия по предупреждению нештатных ситуаций. В основе сбора данных по числу выхода из строя энергетического оборудования проведен сбор данных по отказам силовых трансформаторов на одном нефтехимическом производстве Татарстана за период с 2020 по 2022 гг. В работе, на данном предприятии, используются трансформаторы в количестве более 600 шт. В данной статистике представлены аварии, повлекшие существенный экономический ущерб по недоотпуску продукции, долгому простое и значительным затратам на восстановление.



Рисунок 1. Статистика инцидентов в системах электроснабжения

Основными причинами выхода из строя трансформатора послужило: наличие воздуха в маслосистеме трансформатора; недостаточный уровень масла; наличие развивающихся дефектов твердой изоляции, вызванные перегревом изоляции обмоток и электрическими разрядами в изоляции. Данные статистики сообщают о том, что во избежание непредвиденных ситуаций требуется отслеживание технического состояния оборудования. Для улучшения непрерывности электроснабжения необходимо определить наиболее значимые параметры отслеживаемого оборудования. Для трансформаторов наиболее важными параметрами являются: температура верхних слоев масла, кривые тока и напряжения, токовая нагрузка, содержание газов в масле, содержание влаги в масле. Допустимые отклонения указанных параметров приведены в Таблицах 1, 2 (1, 2).

Таблица 1

НОМИНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗОЛЯЦИИ РАБОТАЮЩИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Элемент трансформатора	Превышение температуры, °С
Обмотки (средние превышения температуры, класс нагревостойкости изоляции А):	
- при естественной или принудительной циркуляции с ненаправленным потоком масла через обмотку	65
- при принудительной циркуляции с направленным потоком масла через обмотку	70
Масло в верхних слоях (исполнение герметичное или с расширителем)	60
Поверхности магнитной системы и элементов металлоконструкций	75

Из-за высокой стоимости диагностических систем рационально применять мониторинг состояния на крупном оборудовании большой мощности, выход из строя которых недопустим. Контроль приведенных параметров может быть осуществлен с помощью систем мониторинга технического состояния. Далее приводятся результаты сравнения функциональных возможностей подобных систем различных производителей. Для сравнения систем мониторинга состояния силовых трансформаторов были выбраны следующие готовые

системы DIMRUS TDM-M (Россия), QUALITROL 509-300 (США), GE Energy Hydran M2M (Англия). Результаты сравнения представлены в Таблице 3.

Таблица 2

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
 КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Наименование показателя	Категория электрооборудования	Эксплуатационное	
		Нормально допустимое	Пределно допустимое
Кислотное число, мг КОН/г масла, не более	Электрооборудование до 220кВ включительно	0,1	0,25
Влагосодержание, % массы (г/т), не более	Трансформаторы с пленочной и азотной защитами масла, герметичные маслонаполненные вводы, герметичные измерительные трансформаторы	0,0015 (15)	0,0025 (25)
	Силовые и измерительные трансформаторы, негерметичные маслонаполненные вводы	–	0,003 (30)
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Электрооборудование до 220кВ включительно		
	Силовые трансформаторы, герметичные измерительные трансформаторы и маслонаполненные вводы;	0,014	–
Газосодержание в соответствии с инструкциями организации-изготовителя, % объема, не более)	Трансформаторы с пленочной защитой, герметичные маслонаполненные вводы напряжением до 220 кВ	2	4

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ

Контроль параметров	Системы мониторинга		
	TDM-M	QUALITROL 509 ITM	GE Energy Hydran M2M
Состояние изоляции	+		
В/В выводы	+	+	
Температура	+	+	+
Вибрация	+		
РПН	+	+	+
Напряжение	+	+	+
Содержание влаги в масле	+		+
Уровень масла	+	+	
Датчик газа			+

Патентный анализ

Был проведен патентный анализ систем мониторинга технического состояния трансформаторов. Результаты поиска занесены в Таблицу 4. Глубина патентного поиска составила 10 лет.

Таблица 4

ПАТЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

№ п/п	Номер патента	Название патента	Автор патента	Патентообладатель	Суть изобретения
1	2756508 (2020.01.16)	Система контроля технического состояния силового трансформатора по состоянию масла	Храмшин Рифхат Рамазанович, Храмушина Екатерина Александровна, Сарлыбаев Артур Азатович, Дружинин Николай Николаевич	ФГБОУ ВО "МГТУ им. Г.И. Носова"	Изобретение относится к области электроэнергетики и предназначено для непрерывного контроля технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов. Технический результат: повышение надежности контроля технического состояния силового маслонаполненного трансформатора за счет раннего выявления в нем зарождающихся неисправностей. Сущность: система дополнительно снабжена блоком встроенных датчиков, в состав которого входят датчик концентрации растворенных в масле газов, датчик влажности твердой изоляции и датчик концентрации механических примесей. Масляный вход и выход блока встроенных датчиков подсоединяются соответственно к масляному входу и выходу термосифонного фильтра силового трансформатора. Информационный выход блока встроенных датчиков соединен со вторым входом измерительно-преобразовательного блока.
2	2788308 (2022.06.27)	Способ и устройство непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования	Дарьян Леонид Альбертович, Образцов Роман Михайлович	ООО "Инжиниринговый Центр Элхром"	Изобретение относится к измерению абсолютной влажности бумаги в витковой изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования. Технический результат: повышение достоверности и оперативности определения абсолютной фактической влажности бумажной изоляции маслонаполненных электрических аппаратов. Сущность: пропитывают трансформаторным маслом заранее заданное число образцов бумаги, используемой в качестве внутренней изоляции оборудования. Обеспечивают сборку из нескольких конденсаторов рядом один с другим, в каждом из которых изоляционный слой выполнен из одного из образцов бумаги. Осуществляют калибровку сборки при ее погружении в трансформаторное масло с известной влажностью. Погружают сборку в бак с трансформаторным маслом высоковольтного маслонаполненного оборудования. Измеряют электрическую емкость каждого конденсатора сборки. Определяют влажность конкретного образца бумаги по результатам измерений и данным калибровки.

№ п/п	Номер патента	Название патента	Автор патента	Патентообладатель	Суть изобретения
3	2779269 (2021.11.08)	Устройство для мониторинга силовых трансформаторов	Мария Андреевна Волчанина, Антон Вячеславович Горлов, Айбек Жомартович Еркебаев, Андрей Альбертович Кузнецов	ФГБОУ ВО "Омский государственный университет путей сообщения"	Изобретение относится к области диагностирования электротехнических комплексов и предназначено для определения дефектов изоляции силовых трансформаторов по наличию частичных разрядов, регистрируемых акустическим методом. Технический результат: уменьшение вероятности определения ложных дефектов. Сущность: устройство для мониторинга силовых трансформаторов содержит блок контроля интенсивности частичных разрядов, акустические датчики, блок контроля температуры обмоток, блок расчетных моделей, блок визуализации контролируемых параметров. Акустические датчики установлены на бак силового трансформатора. Их выходы подключены к входу блока контроля интенсивности частичных разрядов, выход которого подключен к входу блока расчетных моделей. К другому входу блока расчетных моделей подключен вход блока контроля температуры обмоток силового трансформатора. Выход блока расчетных моделей подключен к входу блока визуализации контролируемых параметров. Для компенсации температурных погрешностей, вызванных сезонными изменениями температуры, изменениями вязкости и коэффициента затухания при распространении акустических волн, в устройство дополнительно введен блок имитатора дефектов, содержащий регулируемый блок питания постоянного тока, электронный коммутатор, генератор тактовых импульсов, повышающий трансформатор, маслonaполненный бак, электрический разрядник, блок контроля температуры имитатора дефектов, блок поддержания температуры в маслonaполненном баке, акустические датчики, установленные на корпус маслonaполненного бака имитатора дефектов. Датчики подключены к входам второго канала блока контроля интенсивности частичных разрядов. Выход регулируемого блока питания постоянного тока подключен к входу блока электронного коммутатора, к другому входу которого подключен выход генератора тактовых импульсов. Выход электронного коммутатора подключен к входу электрического разрядника. Блок контроля температуры имитатора дефектов подключен к третьему входу блока расчетных моделей.

№ п/п	Номер патента	Название патента	Автор патента	Патентообладатель	Суть изобретения
4	2751453 (2021.07.14)	Способ контроля технического состояния силовых трансформаторов напряжением 35 кВ и выше	Анисим Петрович Долин, Валерия Александровна Ушакова	ПАО «Россети сибирь»	Изобретение относится к области электротехники, а именно к диагностированию силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов (далее трансформаторов), и может быть использовано при текущем эксплуатационном контроле технического состояния трансформаторов со сроком эксплуатации до 35 лет для определения развивающихся дефектов. В заявленном способе при контроле (измерении) следующих параметров для трансформаторов со сроком эксплуатации до 35 лет: - тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ) изоляции обмоток; - кислотное число масла; - тангенс угла диэлектрических потерь масла при 90°С; - содержание водорастворимых кислот и щелочей масла; - содержание антиокислительной присадки масла; не учитывается высокая стабильность к окислению гидрокрекингových масел и, соответственно, высокая стабильность указанных параметров при сроке эксплуатации до 35 лет. Техническим результатом при реализации предлагаемого способа контроля технического состояния силовых трансформаторов напряжением 35 кВ и выше позволяет обеспечить необходимый качественный контроль технического состояния трансформаторов, залитых современными гидрокрекингowymi маслами, при сокращении объема диагностических измерений и анализов по сравнению с прототипом.

В результате проведённого патентного анализа была определена динамика изобретательской деятельности по системам контроля технического состояния трансформаторов (Рисунок 2).

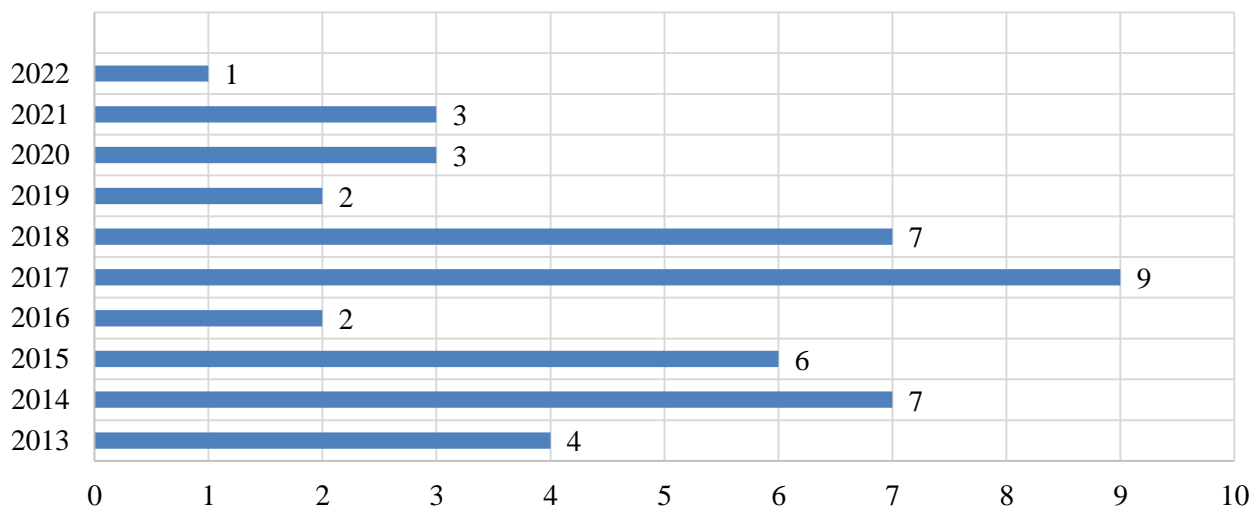


Рисунок 2. Патентная активность исследования систем мониторинга технического состояния трансформаторов

Разработанные устройства в сфере мониторинга силовых трансформаторов дает возможность содержать парк оборудования с низким индексом технического состояния в работоспособном состоянии, заранее прогнозируя выхода из строя по контролируемым параметрам. Установки данных систем дают значительную экономию средств в сравнении с покупкой и монтажом нового оборудования, дорогостоящим ремонтом, способствуют исключению человеческого фактора в процессе эксплуатации.

Источники:

- (1). ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. <https://goo.su/2AFxxZ>
- (2). Приказ №811 от 12.08.2022 Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии. <https://goo.su/EFJ9HzO>
- (3). Дарьян Л. А., Образцов Р. М. Способ и устройство непрерывного контроля влажности бумажно-масляной изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования. Пат. 2788308 РФ. 2006
- (4). Волчанина М. А., Горлов А. В., Еркебаев А. Ж., Кузнецов А. А. Устройство для мониторинга силовых трансформаторов. Пат. 2779269 РФ. 2021.
- (5). Долин А. П., Ушакова В. А. Способ контроля технического состояния силовых трансформаторов напряжением 35 кВ и выше. Пат. 2751453 РФ. 2021
- (6). Храмшин Р. Р., Храмшина Е. А., Сарлыбаев А. А., Дружинин Н. Н. Система контроля технического состояния силового трансформатора по состоянию масла. Пат. 2756508 РФ. 2020

Список литературы:

1. Феоктистов Д. И., Воркунов О. В. Контроль неисправностей силового трансформатора 110/10 кВ // Электроцех. 2022. №8.

References:

1. Feoktistov, D. I., & Vorkunov, O. V. (2022). Kontrol' neispravnostei silovogo transformatora 110/10 kV. *Elektrotsekh*, (8). (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 14.12.2023 г.*

*Принята к публикации
18.12.2023 г.*

Ссылка для цитирования:

Тимергалиев Р. Р., Гаврилов Е. Н., Сагдеева Г. С. Патентное исследование систем мониторинга технического состояния трансформаторов // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №1. С. 270-276. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/98/32>

Cite as (APA):

Timergaliev, R., Gavrilov, E., & Sagdeeva, G. (2024). Patent Research of Systems for Monitoring the Technical Condition of Transformers. *Bulletin of Science and Practice*, 10(1), 270-276. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/98/32>