

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

СЫРБУ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО
ПРЕДПРИЯТИЯ**

Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Направленность «Электроснабжение»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Комсомольск – на – Амуре

2023

Работа выполнена на кафедре «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (КНАГУ).

Научный руководитель

доктор тех. наук, профессор
Иванов Сергей Николаевич

Рецензент

Начальник отдела подбора и обучения
персонала ПАО «АСЗ»,
кандидат технических наук
Киница Олег Игоревич

Защита состоится «3» марта 2023 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Автореферат разослан марта 2023 г

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Актуальность данной работы связана с тем, что выявление дефектов в работе электрооборудования на ранней стадии их развития, своевременное принятие решений по ликвидации дефектов до возникновения аварийных ситуаций не только предотвращает значительные ущербы, но и сокращает время простоя, снижает затраты на ремонты и продляет срок его службы. Потребители 1 категории надёжности электроснабжения - это электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения. Для рациональной, безопасной и эффективной эксплуатации электрооборудования и перехода к планированию его ремонта по фактическому состоянию существующие системы диагностики необходимо дополнить рядом специальных методов и технологий, способных вести статистику текущего состояния конкретного оборудования в рабочих режимах, имея в виду конечную цель: определение фактического износа, оценку остаточного ресурса и выработку требований эксплуатации и ремонтов для продления срока службы. Механическое перенесение методов диагностирования на решение задач прогнозирования невозможно из-за различия целей, моделей и организационных принципов. Особенно остро стоит проблема безопасной эксплуатации формально неисправного, но сохраняющего работоспособность оборудования в определенных режимах.

Таким образом, диссертационные исследования, посвященные разработке и исследованию системы мониторинга элементов систем электроснабжения направлены на решение задачи.

Степень разработанности. В процессе работы над диссертацией был проведен обзор существующих методов контроля состояний трансформаторов. Была разработана и исследована наиболее надежная система мониторинга для контроля состояния силовых трансформаторов.

Предметом исследования является автономная система мониторинга для контроля состояния изоляционных систем силовых трансформаторов.

Целью исследования является разработка автономной системы мониторинга для контроля состояния силовых трансформаторов.

Задачи исследования: исследование и выявление вида контроля состояния трансформатора, который способен на ранней стадии диагностировать развивающиеся повреждения в трансформаторе, разработка алгоритма выявления повреждений системой мониторинга.

Личный вклад. Автором был проведен обзор наиболее перспективных и надежных видов контроля состояний элементов электроснабжения, составлены принципы построения диагностической системы, составлен комплексный параметр контроля состояния изоляционной системы, разработаны алгоритм выявления повреждений системой мониторинга силовых трансформаторов.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались на Международной VI Международной научно-практической конференции Производственные технологии будущего: от создания к внедрению.

1. Сырбу, И. В. Повышение эффективности системы электроснабжения нефтеперерабатывающего предприятия / И.В. Сырбу, К.К. Ким, Д.В. Иванов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы VI Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 5 – 11 декабря 2022 г. / Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. – Ч. 1. – С. 283-285.

2. Сырбу, И. В. Влияние числа электроприемников на показатели надежности промышленного электрооборудования / И.В. Сырбу, С.Н. Иванов, Д.В. Иванов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и

прикладных исследований : материалы V Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на- Амуре, 10-14 апреля 2023 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников, одного приложения. Содержит 105 страниц основного машинописного текста, 19 рисунков. Библиографический список включает 36 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыто понятие энергетической системы, раскрыт состав системы энергоснабжения, а также выбран трансформатор, как объект исследования

В первой главе описана и показана схема электроснабжения энергетического объекта.

Во второй главе показаны место и роль статических электромагнитных преобразователей энергии в электроэнергетической системе, основная классификация трансформаторов, основные типы трансформаторов. Обоснована актуальность разработки автономной системы мониторинга элементов изоляции силовых трансформаторов.

В третьей главе описаны силовые трансформаторы их преимущества, особенности применения, основные параметры, технические требования, испытания и наладка, конструкция и системы охлаждения силовых трансформаторов.

В четвертой главе приведены основные статистические данные и классификация отказов силовых трансформаторов. Определено технического состояния силовых трансформаторов. Выявлено, что большинство повреждений возникают в реле напряжения полупроводникового типа, переключающем устройстве и изоляции силового трансформатора.

В пятой главе рассмотрены виды контроля состояния трансформаторов. Из них выбран для применения в систему мониторинга анализ растворенных газов.

В шестой главе определено, что необходима диагностическая система, которая способна обнаружить большее количество существующих повреждений внутри трансформатора, без остановки его работы. Для данной задачи был выбран хроматографический контроль газов, содержащихся в масле. Приведена общая информация об этом методе. Рассмотрена диагностика состояния трансформаторов по результатам хроматографического анализа растворенных в масле газов. Выделенные ключевые газы для различных дефектов:

- Водород H_2 . Частичные разряды малой энергии. Специфический газ при воздействии температуры свыше $150\text{ }^\circ\text{C}$, особенно для масел, приготовленных методом гидроочистки

- Бутилен C_4H_8 - Ключевой газ при температурах $200\text{—}300\text{ }^\circ\text{C}$; объем газа может составлять свыше 90% общего количества газов

- Этан C_2H_6 , Пропен C_3H_6 , Метан CH_4 - Симптом перегрева при температурах выше $500\text{ }^\circ\text{C}$; возможно образование углерода.

- Этилен C_2H_4 - Симптом перегрева при температурах выше $500\text{ }^\circ\text{C}$; возможно образование углерода.

- Ацетилен C_2H_2 - Симптом перегрева при температурах $800\text{—}1200\text{ }^\circ\text{C}$ (сопровождается выделением этилена и других углеводородов). Образование пузырьков газа. Сильные разряды или дуга в масле (сопровождается выделением водорода)

В седьмой главе проанализировано и выбрано оборудование для мониторинга силовых трансформаторов. Hydran M2 - устройство непрерывного контроля концентрации растворенных газов и влаги в масле, предупре-

ждающим персонал в режиме реального времени о появлении и развитии дефектов в трансформаторе.

Рассмотрено место установки, датчики связь и сеть, аварийные сигналы Hydran M2.

Создана структурная схема Hydran M2

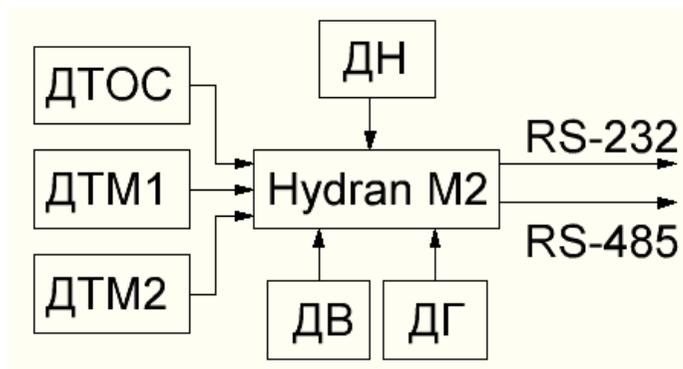


Рисунок 1 - Структурная схема подключения Hydran M2 к трансформатору

Hydran M2 – устройством непрерывного контроля концентрации растворенных газов и влаги в масле

ДТОС – датчик температуры окружающей среды

ДТМ1 – датчик температуры масла в верхней части масляного резервуара трансформатора

ДТМ2 – датчик температуры масла в нижней части масляного резервуара трансформатора

ДВ – датчик влаги

ДГ – датчик газов

ДН – датчик нагрузки

RS-232 – соединительный кабель для местного подключения компьютера с целью настройки конфигурации системы

RS-485 – соединительный кабель для удаленного обмена данными или подключения к локальной сети Hydran. Вывод данных по концентрации газа и уровню содержания влаги с помощью протоколов Hydran, Modbus или DNP 3.0 через интерфейс RS-485

Создана функциональная блок-схема Hydran M2

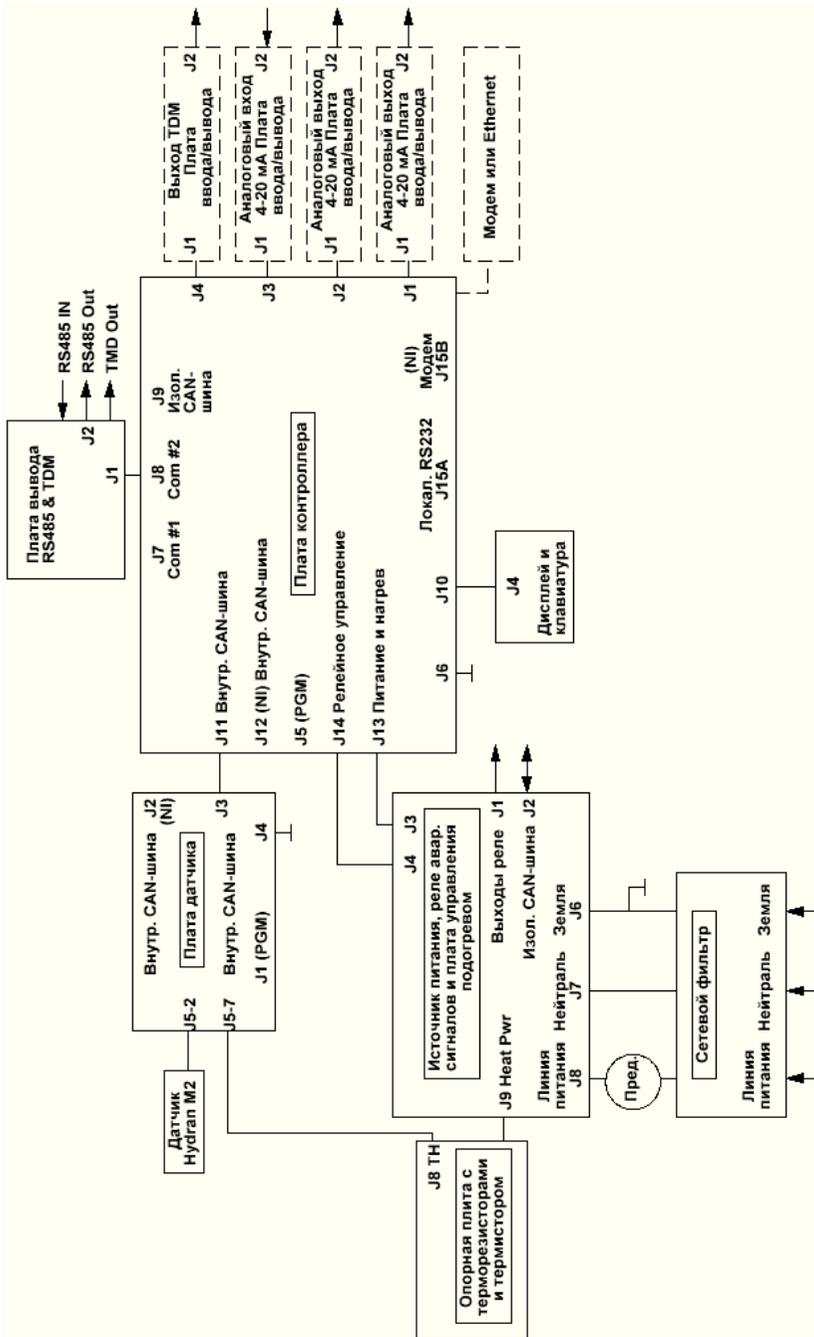


Рисунок 2 - Функциональная блок-схема Hydran M2

А также создан алгоритм выявления повреждений системой мониторинга силовых трансформаторов.

В зависимости от срока эксплуатации трансформатора в программу задаются допустимые значения (ДЗ) и предельно допустимые значения (ПДЗ) концентрации растворенных газов.

Таблица 1 – Допустимые и предельно допустимые значения концентрации растворенных газов

Уровень	Срок эксплуатации, лет	Концентрации газов, % об.								
		СРГ	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	Срок эксплуатации, лет	СО	СО ₂
ДЗ	0-5	0,01	0,00	0,00	0,001	0,00	0,000	весь	0,04	0,3
		2	6	3	3	5	3		5	0
	>5	0,01	0,00	0,00						
		3	5	4						
ПДЗ	0-5	0,02	0,01	0,00	0,004	0,01	0,000	весь	0,07	0,5
		5	0	9	0	0	8		0	0
	>5	0,03	0,00	0,01						
		5	9	0						

При нахождении газов в рамках ДЗ система мониторинга сообщает о исправной работе трансформатора.

При нахождении какого-либо газа в рамках ПДЗ система мониторинга сообщает о необходимости изменить периодичность контроля на более частый.

При нахождении какого-либо газа за рамками ПДЗ система мониторинга сигнализирует аварию в трансформаторе.

Состав растворённых в масле газов зависит от вида и характера развивающегося дефекта. Для идентификации дефекта необходимо рассчитать относительные концентрации газов, используя ДЗ концентраций газов, и выполнить кодирование полученных значений в соответствии со следующими условиями:

А – основной газ для данного дефекта, при максимальной относительной концентрации углеводородных газов и H_2

Б – газ с высоким содержанием, его относительная концентрация вторая по величине среди рассматриваемых газов

В – газ при относительной концентрации третьей по величине или второй по величине

Г – все остальные газы.

По полученному пятизначному коду (набору букв), описывающему относительные концентрации газов анализируемой пробы АРГ, можно определить вид дефекта с помощью таблицы 20.

Таблица 2 - Определение вида дефекта по характерному составу газов

№	Вид прогнозируемого дефекта	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2
1	Термический дефект (до 300 °С)	В, Г	Б	А	Г,В	Г
2	Термический дефект (от 300 до 700 °С)	Г	А	В	Б	Г
3	Термический дефект (более 700 °С)	Г	Б	В	А	Г
4	ЧР	А	В	Г	Г	Г
5	Искровые разряды малой энергии	А	В	Г	Г	Г
6	Дуга, искровые разряды большой энергии	Б	В	Г	Г	А
			В	Г	Б	А

Продолжение таблицы 2

№	Вид прогнозируемого дефекта	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
7	Композиция дефектов с преобладанием дефекта электрического характера	Г	Б	Г	В	А
8	Композиция дефектов с преобладанием дефекта термического характера	В, Г	А	Б	Г	В, Г

H₂ и C₂H₂ ответственны за дефекты электрического характера, обе являются характерными при искровых и дуговых разрядах. C₂H₆, CH₄, C₂H₄ говорят о термических дефектах, являются характерным в различных диапазонах температур и расположены в порядке возрастания температуры перегрева масла, если смотреть по часовой стрелке. C₂H₆ является характерным при нагреве масла и бумажной изоляции в диапазоне 300-400°С, CH₄ в диапазоне 400-600°С, C₂H₄ выше 600°С. CO/CO₂ говорят о состоянии изоляции.

Для более точного определения возникновения дефекта производиться расчеты по таблице 3.

Таблица 3 – Определение характера дефекта в трансформаторе по отношению концентрации пар газов

N п/п	Характер прогнозируемого дефекта	Отношение концентраций характерных газов			Типичные примеры
		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{C_2H_4}$	
1.	Нормально	< 0,1	0,1-1	1	Нормальное старение

Продолжение таблицы 3

N п/п	Характер прогнозируемого дефекта	Отношение концентраций характерных газов			Типичные примеры
2.	Частичные разряды с низкой плотностью энергии	< 0,1	< 0,1	£ 1	Разряды в заполненных газом полостях, образовавшихся вследствие не полной пропитки или влажности изоляции.
3.	Частичные разряды с высокой плотностью энергии	0,1-3	< 0,1	< 1	То же, что и в п. 2 , но ведет к оставлению следа или пробоем твердой изоляции
4.	Разряды малой мощности	> 0,1	0,1-1	1-3	Непрерывное искрение в масле между соединениями различных потенциалов или плавающего потенциала. Пробой масла между твердыми материалами.
5.	Разряды большой мощности	0,1-3	0,1-1	³ 3	Дуговые разряды; искрение, пробой масла между обмотками или катушками или между катушками на землю.
6.	Термический дефект низкой температуры (< 150 °С)	< 0,1	0,1-1	1-3	Перегрев изолированного проводника.

Продолжение таблицы 3

N п/п	Характер прогнозируемого дефекта	Отношение концентраций характерных газов			Типичные примеры
7.	Термический дефект в диапазоне низких температур (150-300 °С)	< 0,1	³ 1	< 1	Местный перегрев сердечника из-за концентрации потока. Возрастание температуры «горячей точки».
8.	Термический дефект в диапазоне средних температур (300-700 °С)	< 0,1	³ 1	1-3	То же, что и в п. 7, но при дальнейшем повышении температуры «горячей точки».
9.	Термический дефект высокой температуры (> 700 °С)	< 0,1	³ 1	³ 3	Горячая точка в сердечнике; перегрев меди из-за вихревых токов, плохих контактов; циркулирующие токи в сердечнике или баке.

Заключение

В магистерской диссертации разработана система мониторинга элементов систем энергоснабжения. Для мониторинга в диссертации выбраны силовые трансформаторы, так как как они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами трансформаторов.

Произведено исследование статистических данных отказов силовых трансформаторов. Определены виды повреждений и их места возникновения в трансформаторе.

Также рассмотрены и проанализированы виды контроля состояний трансформатора. В качестве вида контроля был выбран хроматографический контроль газов, содержащихся в масле. Хроматографический анализ позволяет наблюдать за развитием процессов в трансформаторе; предвидеть повреждения, не обнаруживаемые классическими способами; охарактеризовать повреждения и ориентироваться при определении их места.

В качестве системы мониторинга было подобрано оборудование для онлайн АРГ, которое удовлетворяет всем предъявляемым стандартами требованиям и условиям.