

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

**АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СРЕДСТВ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА МЕТОДОМ ФОТО-  
АКУСТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОПИИ**

***Аннотация:** Статья посвящена анализу работы устройств автоматизированного контроля состояния трансформаторного масла. Был рассмотрен методы анализа трансформаторного масла, проанализированы его достоинства и недостатки. По итогам анализа был определён оптимальный вариант установки по надёжности и техническим возможностям.*

***Ключевые слова:** трансформаторное масло, автоматизированный контроль состояния, фото-акустическая спектрония, диагностика, анализ растворенных газов.*

***Chikin Andrey Dmitrievich.***  
***3rd year student,***  
***Faculty of “Electrical equipment of power stations and substations”***  
***FGBOU VO "KGEU", Kazan, Republic of Tatarstan***

**ANALYSIS OF EQUIPMENT FOR DIAGNOSTICS OF  
AUTOMATED MONITORING OF TRANSFORMER OIL CONDITION  
BY THE METHOD OF PHOTO-ACOUSTIC SPECTROPY**

***Abstract:** The article is devoted to the analysis of the operation of devices for automated monitoring of the state of transformer oil. The methods of analysis of transformer oil were considered, its advantages and disadvantages were analyzed. Based on the results of the analysis, the optimal installation option was determined in terms of reliability and technical capabilities.*

***Keywords:** transformer oil, automated condition monitoring, photo-acoustic spectrometry, diagnostics, analysis of dissolved gases.*

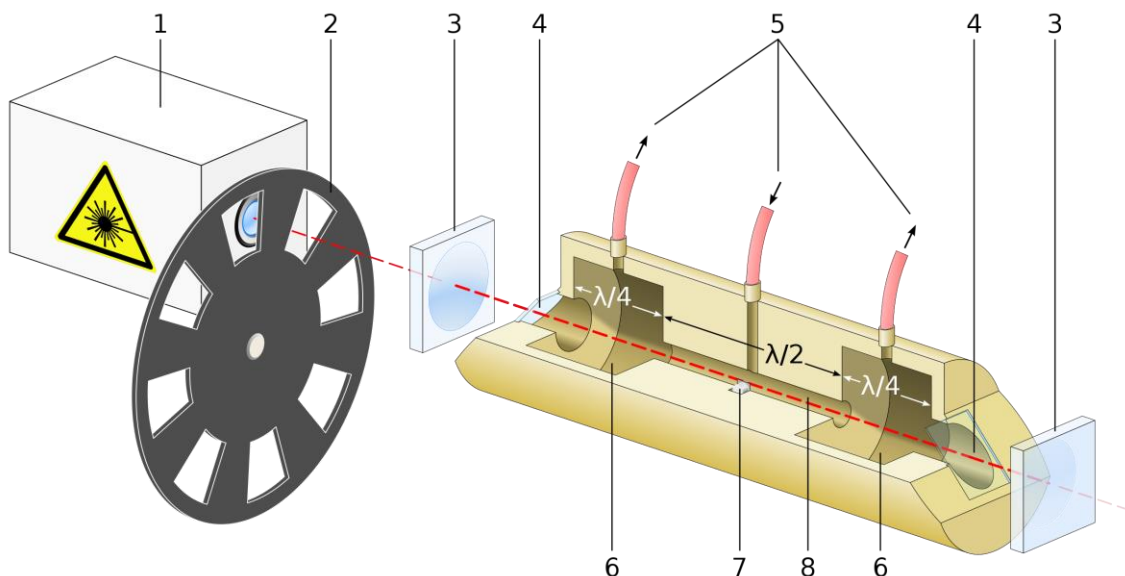
Разложение трансформаторного масла с выделением газов может привести к полной потере диэлектрических свойств и как следствие, выводу из строя оборудование на неопределенный срок.

Интерес к изучению закономерностей и механизмов образования газов при контакте трансформаторного масла с оборудованием обусловлен широкими возможностями их использования в диагностике состояния оборудования, в частности, выявления локальных дефектов трансформатора на ранних стадиях их проявления [1].

### **Метод фото-акустической спектроскопии трансформаторного масла.**

Существует большое разнообразие методов автоматического контроля состояния растворенных газов, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, однако наиболее распространёнными являются хроматографический метод и метод фото-акустической спектроскопии.

Метод фото-акустической спектроскопии – это измерение влияния поглощенной электромагнитной энергии (в частности, света) на вещество с помощью акустического детектирования [2].



**Рисунок 1. Схема газового хроматографа**

1. Источник света (например, лазер)
2. Колесо измельчителя
3. Полупроницаемые зеркала образуют оптическую резонансную систему
4. Окна камеры (наклонены для поляризации)
5. Вход и выход газового потока
6. Объемы буферного газа
7. Акустический датчик (например, микрофон или преобразователь)
8. Резонатор

Очевидным достоинством систем автоматического контроля растворенных газов является быстрота получения результатов. Если при классическом способе оценки качества масла, необходимо произвести отбор, доставить пробу в лабораторию и дождаться результат (все операции могут длиться от нескольких часов до нескольких дней), то в свою очередь, использование автоматизированного способа анализа масла занимает от часа до 4 часов (в случае использования оборудования GE и Morgan Schaffer).

Вторым очевидным преимуществом, является экономия человеческих ресурсов. Нет необходимости привлечения дополнительного персонала для отбора проб, смонтированная автоматизированная система производит все операции без помощи персонала.

Вторым не особо явным, но не менее серьёзным недостатком является необходимость наличия у оборудования возможности интеграции в уже имеющуюся систему мониторинга и диагностики (касается случаев модернизации оборудования). Многие производители, в качестве стандартного способа передачи закладывают протокол RS232 и RS485, при этом, на более ранних системах мониторинга используются более несовременные системы передачи информации, что требует от собственника дополнительных материальных затрат на обновление телематики [3].

### **Анализаторы растворенных газов в трансформаторном масле Kelman TAPTRANS**

Анализаторы растворенных газов в трансформаторном масле Kelman предназначены для непрерывного контроля содержания растворенных газов — продуктов разложения трансформаторного масла в высоковольтном маслонаполненном электрооборудовании.

Анализаторы представляют собой стационарные автоматические приборы циклического действия, выполненные в едином корпусе, внутри которого, в термостатируемом отсеке, установлены узел разделения пробы, измерительная оптоакустическая (ИК) ячейка с встроенным электрохимическим (полупроводниковым) датчиком, индикаторы влаги и кислорода, устройство для поддержания постоянной температуры с двумя термодатчиками. Внутри корпуса также находится встроенный персональный компьютер с установленным программным обеспечением и дисплей с сенсорным экраном.

Принцип действия анализатора основан на том, что растворенные газы извлекаются из масла в газовую фазу методом установления равновесия в герметично замкнутом объеме, включающем в себя проботборную емкость, газовые коммуникации, фильтр и измерительную ячейку. После установления равновесия проводятся измерения содержания компонентов в равновесной газовой фазе.

Содержание  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  определяют методом оптоакустической инфракрасной спектроскопии. Принцип измерений основан на поглощении определяемыми газами инфракрасного излучения (ИК) с длинами волн, характерными для каждого определяемого вещества. Излучение от источника ИК излучения проходит последовательно через систему оптических фильтров и прерыватель, перекрывающий поток излучения со звуковой частотой. В результате в пробе газа генерируются акустические колебания, интенсивность которых зависит от содержания в пробе определяемых веществ. Получаемый спектр зависимости интенсивности звуковых колебаний от длины волны излучения фиксируют с помощью встроенного микрофона и затем обрабатывают численными методами с помощью ПО.

Содержание  $\text{H}_2$  определяют с помощью электрохимического датчика, принцип действия которого основан на изменении проводимости чувствительного элемента датчика ( $\text{SnO}_2$ ) в зависимости от содержания водорода в измеряемой среде.

Результаты измерений объемной доли газов в равновесной газовой фазе могут быть представлены в пересчете на объемную долю растворенных газов в пробе трансформаторного масла (без оценивания погрешности) с последующей интерпретацией типа развивающегося дефекта в высоковольтном маслонаполненном электрооборудовании (трансформаторах, выключателях и т.п.).

Анализаторы растворенных газов в трансформаторном масле Kelman представлены в четырёх модификациях: TRANSFIX, TRANSFIX PLUS, MULTITRANS, TAPTRANS



*Рисунок 2. Установки Kelman*

Анализаторы модели TRANSFIX и TRANSFIX PLUS предназначены для определения содержания растворенных газов ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) в режиме реального времени в системе газовой защиты трансформаторов и другого электрического оборудования, где используется масляная изоляция. Периодичность измерений — от одного раза в час до одного раза в четыре недели. Внутри анализатора модели TRANSFIX PLUS дополнительно установлен процессорный блок MO150, предназначенный для анализа и интерпретации в режиме реального времени данных, собранных от внешних датчиков (температуры и др.), установленных на трансформаторе.

Анализаторы модели MULTITRANS предназначены для определения содержания растворенных газов (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) в больших трансформаторах с тремя однофазными баками. Периодичность отбора проб масла может быть задана от одного раза в час из одного бака и от одного раза в три часа в конфигурации трех баков до одного раза в неделю.

Анализаторы модели TAPTRANS предназначены для определения содержания растворенных газов (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) в баках силовых трансформаторов и регуляторов напряжения под нагрузкой (РПН). Периодичность отбора проб может быть задана от одного раза в час до одного раза в четыре недели.

Интерпретация типа развивающегося дефекта в анализаторах производится по методу семи ключевых газов. Температура пробы масла - 20...120 °С.

*Таблица 1.*

**Диапазон измеряемых газов Kelman Taptrans**

<b>Измеряемый параметр</b>	<b>Диапазон измерений / ед. измерений</b>
Водород	5 - 5 000 мд
Окись углерода	2 - 50 000 мд
Углекислый газ	20 - 50 000 мд
Метан	2 - 50 000 мд
Ацетилен	0,5 - 50 000 мд
Этан	2 - 50 000 мд
Этилен	2 - 50 000 мд
Вода	0 – 100 %
Азот	
Кислород	

Анализаторы растворенных газов в трансформаторном масле Kelman модели TRANSFIX, TRANSFIX PLUS, MULTITRANS, TAPTRANS имеют по

шесть настраиваемых пользователем реле аварийной сигнализации со светодиодной индикацией на передней панели (для каждого масляного контура).

Внешние габаритные размеры монтажного шкафа TAPTRANS (наиболее крупного) – 600 мм x 700 мм x 250 мм; что позволяет осуществить монтаж как на корпусе трансформатора, так и на отдельных опорах в непосредственной близости к оборудованию без загромождения дополнительной территории подстанции.

### Газоанализатор Castilio9



*Рисунок 3. Установки Castilio9*

Castilio9 – прибор анализа масла в трансформаторах Morgan Schaffer Calisto 9 это современный мультигазовый онлайн монитор, который обладает ведущими в индустрии функциями для обеспечения полной защиты объекта контроля. Запатентованная собственная разработка компании Morgan Schaffer Inc. (Морган Шафер) обладает устойчивой к помехам подстанции электроникой и обеспечивает высокую производительность, точность и достоверность результатов при анализе растворенных газов (АРГ).



Выбрав новое поколение мультигазовых приборов онлайн мониторинга растворенных газов в трансформаторном масле Вы сможете избежать дорогостоящего отказа трансформатора. Прибор контроля трансформаторного масла Calisto 9 является мощным инструментом для оценки состояния трансформатора.

Новое поколение приборов Calisto использует принцип газовой хроматографии с достоверными и надежными результатами. Газовая хроматография – это физический метод разделения, в котором подвижной фазой служит газ-носитель (гелий), протекающий через неподвижную фазу.

*Таблица 2.*

**Диапазон измеряемых газов Calisto 9**

<b>Измеряемый параметр</b>	<b>Диапазон измерений / ед. измерений</b>
Водород	0 - 20 000 мд
Окись углерода	0 - 30 000 мд
Углекислый газ	0 - 100 000 мд
Метан	0 - 100 000 мд
Ацетилен	0 - 100 000 мд
Этан	0 - 200 000 мд
Этилен	0 - 200 000 мд
Азот	0 - 150 000 мд
Кислород	0 - 100 000 мд
Вода	0 – 100 %

Принцип анализа масла основан на вакуумной экстракции газа, что предполагает отсутствие изменчивости и колебаний данных, вызванных температурой или давлением масла, в тоже время герметичная и защищенная оптика предотвращает загрязнение датчика, что в свою очередь обеспечивает стабильность данных и отсутствие ложных срабатываний [4].

Высокая производительность и долговечность оборудования обусловлена применением современных технологий и высококачественных материалов, включая трубы из нержавеющей стали, корпус с классом защиты IP66 и контролем температуры, а также шестеренчатый насос с магнитным приводом и клапанами.

Установка и ввод в эксплуатацию занимает менее двух часов, просто подключите питание, передачу данных, обеспечьте подачу масла и газоанализатор готов к работе. Устройство можно подключить к существующей системе управления и контроля через цифровую связь и реле, или использовать в качестве автономного устройства контроля.

В результате проведенной работы, были рассмотрены преимущества и недостатки газовой хроматографии и фото-акустической спектроскопии; произведен сравнительный анализ установок автоматизированного контроля состояния трансформаторного масла, таких как:

-Kelman TAPTRANS

-Газоанализатор Calisto 9

Таким образом, наиболее грамотным выбором с точки зрения функционала является установка Kelman TAPTRANS, так как в ней реализована возможность подключения до 3 емкостей с маслом, одной из которых может быть ёмкость трансформаторного масла для РПН.

#### **Список литературы:**

1. Науменко А.П., Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль 2017.
2. Саушев А.В., Шерстиев И.В., Широков Н.В., Анализ методов диагностики аппаратов высокого напряжения, 2016.
3. Казаков М.С., Давиденко И.В., Обзор интеллектуальных систем диагностирования электрооборудования 2009.

4. Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галяутдинова А.Р. Иванова В.Р.,  
Исследование работоспособности и качества функционирования  
трансформаторного оборудования электротехнических систем 2012.