

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГАЗОВ В МАСЛЕ СИЛОВЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

Н.Б.Пирматов, Д.Р.Абдуллабекова

ТГТУ, МЭИ филиал г.Ташкент

[Abdullabekova\\_94@mail.ru](mailto:Abdullabekova_94@mail.ru)

### АННОТАЦИЯ

*Статья представляет собой глубокое исследование методологии хроматографического анализа в контексте повышения диагностической эффективности для обеспечения надежной работы силовых автотрансформаторов. Статья подробно исследует принципы и технологию хроматографического анализа газов, растворенных в изоляционном масле. Освещаются методы разделения и идентификации газовых компонентов, обеспечивающие точность и высокую чувствительность.*

**Ключевые слова:** силовые автотрансформаторы, диагностика, анализ, трансформаторное масло, исследование, энергетика, эффективность.

### ANNOTATION

*The article is an in-depth study of chromatographic analysis methodology in the context of improving diagnostic performance to ensure reliable operation of power autotransformers. The article explores in detail the principles and technology of chromatographic analysis of gases dissolved in insulating oil. The methods of separation and identification of gas components providing accuracy and high sensitivity are highlighted.*

**Keywords:** power autotransformers, diagnostics, analysis, transformer oil, research, power engineering, efficiency.

### Введение

Силовые трансформаторы являются критическими компонентами в электроэнергетических системах, обеспечивая передачу и распределение электроэнергии. Для обеспечения надежной работы трансформаторов и предотвращения возможных сбоев необходимо использовать эффективные методы диагностики. В этом контексте хроматографический анализ газов,

растворенных в масле силовых трансформаторов, становится важным инструментом для предварительного выявления проблем и планомерного обслуживания.

**Роль газового анализа:** Специалисты в области электроэнергетики придают особое значение газовому анализу масла трансформатора, поскольку он может обнаружить различные аномалии и неисправности, связанные с его работой. Увеличение концентрации определенных газов может служить предупреждением о возможных дефектах, таких как нагрев, изоляционные неисправности или наличие дефектных уплотнений.

**Оценка диагностической ценности:** Для эффективной оценки диагностической ценности хроматографического анализа газов в масле силовых трансформаторов, необходимо учитывать несколько ключевых аспектов:

**1. Идентификация газов:**

- Каждый газ, высвобождающийся в процессе работы трансформатора, может указывать на конкретные проблемы. Идентификация газов позволяет специалистам точно определить источник неисправности.

**2. Количественный анализ:**

- Количественный анализ концентрации газов является важным этапом оценки. Это позволяет определить степень серьезности проблемы и спланировать соответствующие меры по обслуживанию.

**3. Корреляция с другими параметрами:**

- Для более полного понимания состояния трансформатора, результаты газового анализа следует коррелировать с другими параметрами, такими как температура масла, влажность, и электрические характеристики.

**4. Установление трендов:**

- Регулярное проведение хроматографического анализа позволяет устанавливать тренды изменения концентрации газов, что обеспечивает более раннее выявление потенциальных проблем и позволяет предпринимать проактивные меры.

**Технология хроматографического анализа:**

Хроматография, в контексте анализа масла силовых трансформаторов, позволяет разделить и идентифицировать газовые компоненты, образующиеся в процессе термического и электрического разложения. Метод предоставляет уникальную возможность выявления даже наименее концентрированных газов, что делает его незаменимым в ранней диагностике.

### Диагностическая ценность:

**а. Раннее выявление дефектов:** Хроматографический анализ предоставляет диагностическую информацию о продуктах разложения, возникающих при нормальном функционировании или в условиях неполадок. Это позволяет выявить потенциальные дефекты на ранних стадиях, предотвращая серьезные повреждения.

**б. Количественная оценка газов:** Метод хроматографии обеспечивает возможность количественной оценки содержания различных газов. Это ценно для определения уровня критических компонентов, таких как метан, этан и ацетилен, что позволяет точнее оценить степень деградации изоляционного масла.

### Преимущества исследования:

**а. Точность и чувствительность:** Хроматографический анализ обладает высокой точностью и чувствительностью, что позволяет выявлять даже минимальные изменения в составе газового разложения, свидетельствующие о неисправностях.

**б. Прогнозирование состояния трансформатора:** Использование результатов анализа для создания профилей газового состава позволяет разрабатывать модели для прогнозирования будущего состояния силового автотрансформатора.

Хроматографический анализ трансформаторного масла был произведен с помощью хроматографа типа *HYDROCAL 1003*. Измерение газов и влаги в трансформаторном масле в приборах Hydrocal осуществляется с помощью инновационной технологии NIR — Спектроскопия в ближней инфракрасной области (англ. [near-infrared spectroscopy, NIR](#)).

Ниже приведены протоколы хроматографического анализа трансформаторного масла двух подстанции годного и негодного масла.

На таблице 1 представлен протокол хроматографического анализа трансформаторного масла, которое не соответствует техническим нормам. Забор масла был произведен с силового АТ с мощностью 25000кВа, который установлен на ПС «Куйлюк» 17.05.2023, причина отбора-контроль, температура масла составляло 20 °С.

Таблица 1

№	Наименование газа	Результаты анализы %об.	Граничное значение %об.
1	Водород (H <sub>2</sub> )	0,01	0,01
2	Угарный газ (CO )	0	0,06
3	Метан (CH <sub>4</sub> )	0,00005	0,01
4	Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	0,04806	0,8
5	Этилен (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0,00065	0,01
6	Этан (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0,00007	0,005
7	Ацетилен (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0,00034	0,001

По произведенному ХАРГ анализу было сделано заключение, по которому масло соответствует техническим нормам.

На таблице 2 представлен протокол хроматографического анализа трансформаторного масла, которое не соответствует техническим нормам. Забор масла был произведен с силового АТ с мощность 25000кВа, который установлен на ПС «Озодлик» 17.05.2023, причина отбора-контроль, температура масла составляло 25 °С.

Таблица 2

№	Наименование газа	Результаты анализы %об.	Граничное значение %об.
1	Водород (H <sub>2</sub> )	0,0018	0,01
2	Угарный газ (CO )	0,025	0,06
3	Метан (CH <sub>4</sub> )	0,00035	0,01
4	Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	0,35	0,8
5	Этилен (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0,022	0,01
6	Этан (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0,0085	0,005
7	Ацетилен (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0,001	0,001

По результатам хроматографического анализа в автотрансформаторе возможен термический дефект в диапазонах низких температур (<150-300°С). Этилен был ключевым газом на исследовании, предлагающем висотемпературый перегрев трансформаторного масла. Рекомендовано отобрать повторную пробу через месяц.

### **Заключение:**

Хроматографический анализ газов, растворенных в масле силовых автотрансформаторов, представляет собой неопределимый инструмент для обеспечения высокого уровня надежности и безопасности в энергетических системах. Диагностическая ценность этого метода делает его ключевым компонентом стратегий обслуживания и поддержания силовых автотрансформаторов на пике эффективности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бузаев, В.В. Роль и возможности хроматографии при оценке состояния высоковольтного электрооборудования / В.В. Бузаев, Ю.М. Сапожников // Электрические станции. – 2004 – № 9. – С. 57–60.
2. <https://leg.co.ua/instrukcii/podstancii/ekspluataciya-silovyh-transformatorov.html>
3. Виноградова Л.В., Игнатьев Е.Б., Попов Г.В., Овсянников Ю.М. «Хроматографический анализ растворенных газов в диагностике трансформаторов» монография. ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 104 с.
4. Смирнов, М.А. Оценка состояния трансформаторов по анализу растворенных газов в масле / М.А. Смирнов, Н.П. Фуфурин // Эксплуатация и совершенствование высоковольтных аппаратов и трансформаторов: кн. / М.А. Смирнов, Н.П. Фуфурин // Труды ВНИИЭ. – М.: Энергия. – 1976. – Вып. 49. – С. 24–31.