

ДИСТАНЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ В МАСЛЕ ТРАНСФОРМАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Соколов Леонид Юрьевич, sokolov.l.y@mail.ru
Сташко Василий Иванович, diael@mail.ru

Аннотация:

В данной статье исследуется перспективный подход к мониторингу состояния силовых масляных трансформаторов, сосредотачиваясь на анализе растворенных газов в трансформаторном масле. Исследование охватывает разработку дистанционной системы мониторинга, позволяющей проводить непрерывный анализ растворенных газов в масле в реальном времени. Этот подход основан на использовании элементов искусственного интеллекта, а именно нейронные сети, спроектированные для выявления даже небольших отклонений от нормы в результатах анализов. Предлагаемая методология позволяет оперативно выявлять потенциальные проблемы в работе трансформаторов, увеличивая их надежность и долговечность в различных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: силовые трансформаторы, растворенные газы, трансформаторное масло, дистанционный мониторинг, искусственный интеллект, нейронные сети, диагностика, надежность энергосистемы.

В современном мире надежность работы силовых масляных трансформаторов - ключевая задача. Многие отказы трансформаторов, ведущие к экономическим потерям и неудобствам, обусловлены внутренними дефектами, а не истечением срока службы. Это создает потребность в современных методах диагностики, позволяющих выявлять проблемы на ранних стадиях.

Силовой трансформатор, как ключевой элемент электрической сети, подвержен воздействию внешних факторов, таких как погодные условия, а также нештатные режимы работы энергосистемы. Это обусловлено физическими законами электродинамики и электромагнетизма, которые описывают процессы электрической передачи и преобразования энергии в сетях.

Один из наиболее уязвимых элементов трансформатора — его изоляция, частью которой является трансформаторное масло. Поэтому важно проводить надежный мониторинг и обслуживание силовых трансформаторов, включая регулярный анализ состояния и качества трансформаторного масла.

Анализ растворенных газов планируется проводить в режиме on-line с использованием нейронной сети, что обеспечивает более точную диагностику и повышает надежность работы силовых систем.

Данный метод газов основан на том, что при различных видах дефектов в изоляции и активной части трансформатора происходит локальный нагрев масла с распадом молекул углеводородов и выделением газообразных продуктов с характерным составом [1].

Анализ растворенных в масле газов основан на том, что при различных дефектах в изоляции и активной части трансформатора происходит локальный нагрев масла с распадом молекул углеводородов и выделением газообразных продуктов с характерным составом [1]. Повышенное содержание определенных газов позволяет диагностировать тип развивающегося дефекта.

Традиционный лабораторный хроматографический анализ газов в трансформаторном масле после гидрокрекинга проводится в соответствии с ГОСТ Р 55725-2013 [2]. Этот метод отличается высокой точностью, однако требует значительного времени на отбор проб масла, их доставку в лабораторию и непосредственно анализ.

В последние годы активно развиваются портативные газоанализаторы, позволяющие оперативно оценивать состав газов на месте эксплуатации трансформатора. Такие анализаторы основаны на современных физико-химических методах регистрации газов, в частности оптико-абсорбционном методе [3]. Преимуществом является возможность экспресс-анализа без отбора проб масла.

Для повышения достоверности диагностики целесообразно использовать комплексный подход, включающий газовый анализ, контроль фуранов, хроматографию и др. Перспективно применение нейронных сетей и других алгоритмов искусственного интеллекта для обработки данных [4].

Таким образом, современные мобильные газоанализаторы с элементами искусственного интеллекта открывают широкие возможности для оперативной диагностики силовых трансформаторов по показателям растворенных в масле газов.

Описание методики мониторинга с использованием искусственного интеллекта.

Для обеспечения надежного мониторинга состояния силовых маслонаполненных трансформаторов предлагается интегрировать передовой анализатор влагосодержания и концентрации растворенных газов марки Hydran M2 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Система мониторинга силовых трансформаторов GE Energy Hydran M2M Mark III.

Данный анализатор предоставляет детальную информацию о состоянии трансформаторного масла и способен выявлять деградацию и развивающиеся дефекты на основе физических законов газовой хроматографии [6, 7].

Для мониторинга состояния силового маслонаполненного трансформатора предлагается использовать в качестве первичного датчика анализатор влагосодержания и концентрации растворенных газов марки Hydran M2 [1]. Датчик устанавливается в специальный патрубок на корпусе трансформатора и соединяется резьбовым соединением с трубопроводом отбора проб масла.

Датчик Hydran M2 устанавливается в специальный патрубок на корпусе трансформатора. Это обеспечивает непосредственный доступ к маслу внутри трансформатора и обеспечивает точные измерения [5]. По своей сути, датчик основан на принципах газовой хроматографии и масс-спектрометрии. Измерение концентраций газов осуществляется в соответствии с РД 34.46.303-98 [7]. Он снимает образцы масла и анализирует их на наличие различных газов, таких как водород, метан, этан, этилен и ацетилен, которые могут свидетельствовать о дефектах в масле или трансформаторе в целом.

Метод газовой хроматографии – это аналитическая химическая техника, которая используется для разделения, идентификации и количественного анализа компонентов сложных смесей газов и жидкостей. Он базируется на разной аффинности (сродстве) компонентов смеси к стационарной и подвижной фазам, что позволяет разделить смесь на её составляющие части и определить их концентрации.

Основные принципы работы метода газовой хроматографии:

- Разделение компонентов. Проба (газ или жидкость) вводится в поток инертного газа (называемого носителем) и проходит через колонку, заполненную стационарной фазой. Компоненты смеси взаимодействуют с этой фазой по-разному, что приводит к их разделению по времени задержки (ретенции).
- Детекция. После выхода из колонки компоненты проходят через детектор, который регистрирует их присутствие и количество. Детекторы могут быть различными, включая теплопроводящие детекторы, масс-спектрометры, флуоресцентные или электрохимические детекторы, в зависимости от типа анализируемых соединений.
- Идентификация и количественный анализ. По сравнению с данными от детектора и временем ретенции, полученными для стандартных соединений, можно идентифицировать и количественно определить компоненты смеси.

Метод газовой хроматографии широко используется в различных областях, включая анализы в химической, фармацевтической, пищевой, нефтяной и биологической промышленности. Этот метод обладает высокой чувствительностью и специфичностью, что делает его важным инструментом для определения состава сложных смесей.

Полученные данные о концентрации растворенных газов и влаги в цифровом формате передаются по кабелю связи в специализированный контроллер. Затем данные передаются на удаленный сервер с использованием проводных или

беспроводных каналов связи. Этот сервер является центральным узлом системы и обеспечивает надежное хранение и анализ данных [8].

Для обеспечения надежной передачи данных с датчика Hydran M2 и дополнительных датчиков (рисунок 2) на контроллер и сервер, используется передающее оборудование, такое как специализированные кабели и средства беспроводной связи. Это оборудование обеспечивает высокую скорость передачи данных и минимизирует возможность потери информации.

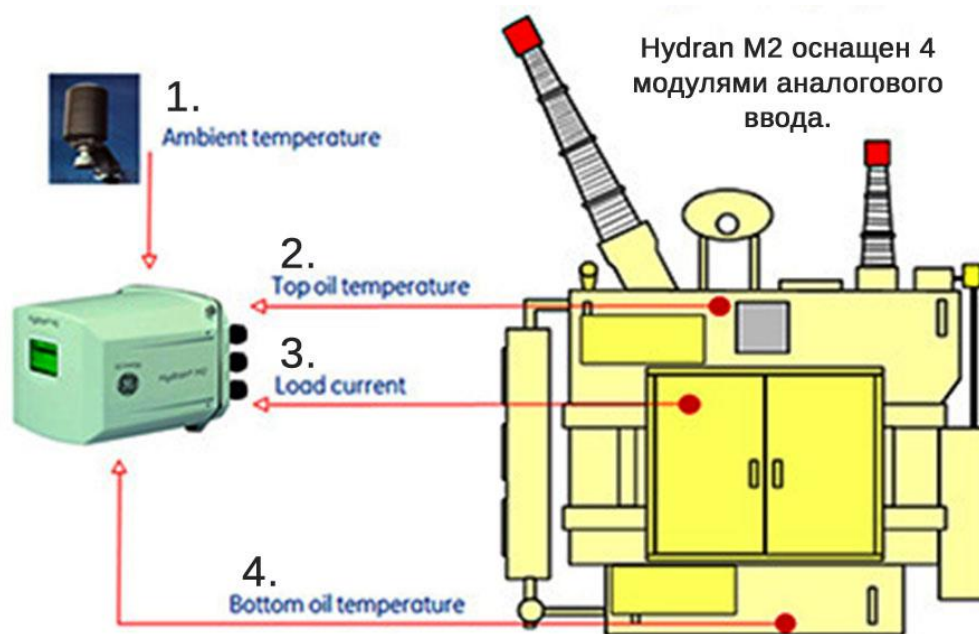


Рисунок 2 – Схема подключения дополнительных датчиков:

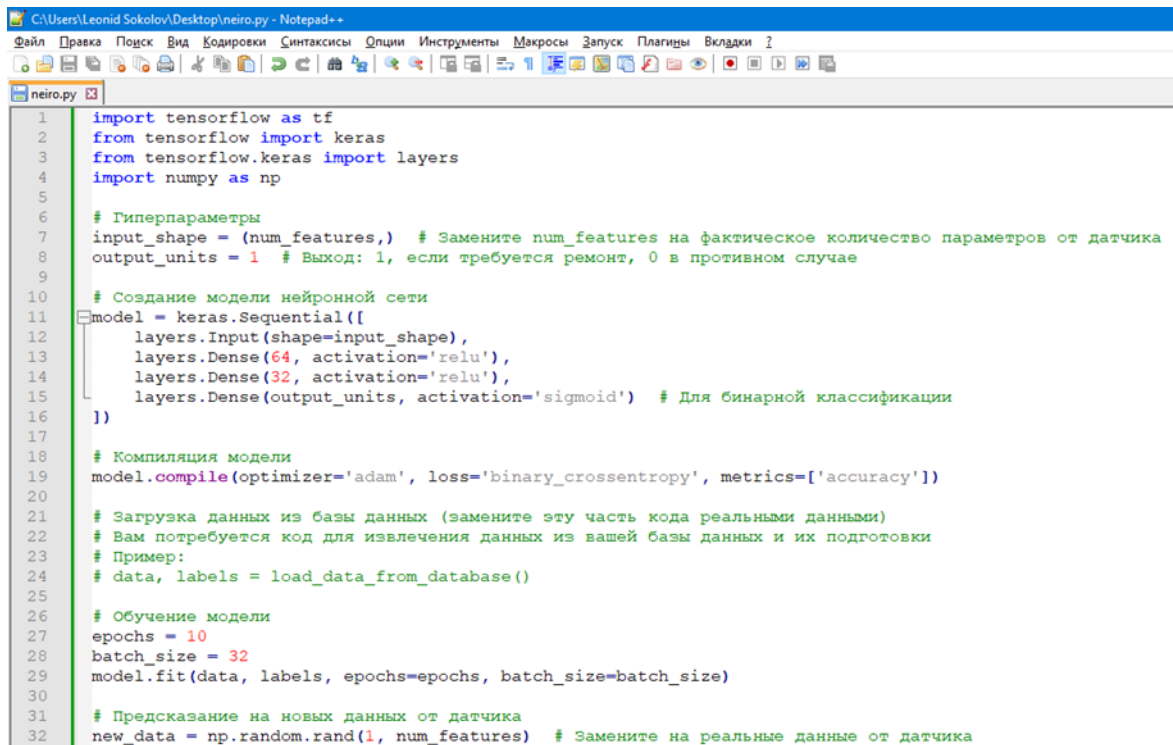
1- датчик температуры окружающей среды; 2- датчик температуры верхнего слоя масла; 3 – датчик тока нагрузки; 4 – датчик температуры нижнего масла.

Нейронная сеть (или искусственная нейронная сеть) – это вычислительная модель, вдохновленная биологическими нейронными сетями, которые присутствуют в мозге человека и животных. Нейронные сети используются для анализа данных, обнаружения шаблонов, прогнозирования и решения различных задач, таких как классификация изображений, обработка естественного языка, управление роботами и др.

В нейронных сетях информация передается через сеть искусственных нейронов, которые обрабатывают входные данные, передавая их от одного слоя нейронов к другому. Каждый искусственный нейрон выполняет вычисления, а веса и связи между нейронами определяются в процессе обучения. Обучение нейронных сетей часто происходит на больших объемах данных, чтобы настроить веса нейронов для выполнения определенной задачи.

Для обработки данных от анализатора Hydran M2 предлагается использовать нейронную сеть, обученную на обширном наборе данных, полученных от множества трансформаторов. Это позволит нейросети выявлять аномалии и предсказывать состояние трансформатора на основе данных от газоанализатора.

Код на Python (рисунок 3) создает нейронную сеть, компилирует ее для бинарной классификации (требуется ремонт или нет) и обучает ее на имитированных данных (вам нужно будет заменить их на реальные данные). После обучения модель может принимать новые данные от датчика и выдавать прогноз о необходимости ремонта [9].



```
1 import tensorflow as tf
2 from tensorflow import keras
3 from tensorflow.keras import layers
4 import numpy as np
5
6 # Гиперпараметры
7 input_shape = (num_features,) # Замените num_features на фактическое количество параметров от датчика
8 output_units = 1 # Выход: 1, если требуется ремонт, 0 в противном случае
9
10 # Создание модели нейронной сети
11 model = keras.Sequential([
12     layers.Input(shape=input_shape),
13     layers.Dense(64, activation='relu'),
14     layers.Dense(32, activation='relu'),
15     layers.Dense(output_units, activation='sigmoid') # Для бинарной классификации
16 ])
17
18 # Компиляция модели
19 model.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])
20
21 # Загрузка данных из базы данных (замените эту часть кода реальными данными)
22 # Вам потребуется код для извлечения данных из вашей базы данных и их подготовки
23 # Пример:
24 # data, labels = load_data_from_database()
25
26 # Обучение модели
27 epochs = 10
28 batch_size = 32
29 model.fit(data, labels, epochs=epochs, batch_size=batch_size)
30
31 # Предсказание на новых данных от датчика
32 new_data = np.random.rand(1, num_features) # Замените на реальные данные от датчика
```

Рисунок 3 – Пример кода нейронной сети на Python.

Нужно отметить, что реальная реализация такой системы будет требовать большего объема подготовительной работы, включая сбор и предварительную обработку данных, разработку более сложных нейронных сетей и тщательное тестирование.

Объединение интеллектуального датчика Hydran M2 и нейронных сетей создает мощную систему мониторинга трансформаторов, способную предсказывать состояние и потенциальные дефекты. Это значительно повышает надежность и продолжительность службы силовых маслонаполненных трансформаторов [8, 9].

Анализ ожидаемых результатов и их практическое применение.

Внедрение предлагаемой системы интеллектуального мониторинга состояния парка маслонаполненных трансформаторов на основе передового анализатора Hydran M2 и нейронных сетей позволит получить ряд важных практических эффектов благодаря следующим причинам:

Во-первых, интеграция высокоточного анализатора Hydran M2 обеспечит значительное повышение детальности и оперативности данных о динамике критически важных физико-химических показателей трансформаторного масла. Регулярный автоматизированный контроль таких параметров, как тип и концентрация растворенных газов, влагосодержание, кислотное число и др. в режиме

реального времени позволит получать исчерпывающую информацию о текущих изменениях свойств изоляции. Это обеспечит раннее обнаружение признаков развивающихся дефектов [5].

Во-вторых, использование возможностей нейронных сетей для интеллектуального анализа данных о состоянии различных трансформаторов позволит реализовать эффективную систему предиктивной аналитики. Нейросети способны распознавать сложные нелинейные зависимости между показателями качества изоляции и вероятностью отказов. Это даст возможность прогнозировать развитие дефектов на ранних стадиях и оценивать остаточный ресурс трансформаторов [11].

В-третьих, переход к обслуживанию парка трансформаторов по фактическому техническому состоянию, а не по жесткому графику, позволит оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт. Принятие решений на основе объективных данных о текущем и прогнозируемом состоянии каждой единицы оборудования исключит ненужные простои и ремонты, снизив общие издержки эксплуатации.

Таким образом, комплексное применение современных технологий мониторинга и интеллектуального анализа данных в виде предлагаемой системы позволит существенно повысить оперативность и точность контроля состояния ответственного энергетического оборудования. Это обеспечит надежную предиктивную диагностику и оптимизацию затрат на обслуживание парка трансформаторов.

Заключение.

Предложенный в статье подход к дистанционному мониторингу трансформаторов с использованием анализа растворенных газов и элементов искусственного интеллекта имеет большой потенциал для широкого практического применения.

Во-первых, он позволяет кардинально повысить оперативность контроля состояния оборудования по сравнению с существующей в России системой эпизодических лабораторных анализов проб масла. Непрерывный автоматизированный мониторинг в режиме реального времени обеспечивает раннее выявление развивающихся дефектов и предотвращение серьезных аварийных ситуаций.

Во-вторых, внедрение такой системы диагностики позволит оптимизировать затраты на обслуживание парка трансформаторов. Переход от плановых ремонтов к обслуживанию по фактическому техническому состоянию сократит расходы на 15-20 %. Кроме того, снизятся потери от простоев оборудования и увеличится срок службы трансформаторов за счет своевременного устранения дефектов.

Наконец, интеграция мощных алгоритмов искусственного интеллекта открывает принципиально новые возможности для интеллектуального анализа данных с целью точной диагностики текущего состояния и прогнозирования развития ситуации. Это качественно повышает надежность систем электроснабжения и снижает риски технологических нарушений.

Таким образом, предлагаемая методология интеллектуального мониторинга трансформаторов является весьма перспективной и заслуживает внимания специалистов для дальнейшего практического внедрения. Это позволит вывести контроль состояния энергетического оборудования на качественно новый уровень.

Список используемой литературы

1. Авров Д. Е. Химические превращения в трансформаторном масле. Л., 1987.
2. ГОСТ Р 55725-2013. Масла минеральные. Определение содержания газов.
3. Халилов Ф. Х. Оптико-абсорбционные газоанализаторы. Приборы. 2011. No 6.
4. James D. et al. Review of on-line monitoring systems. Insight Non-Destructive Test. Condition Monit. 2020. V. 62. No 7.
5. Технические характеристики анализатора влагосодержания и концентрации растворенных газов марки Hydran M2. URL: https://www.pergam.ru/files/products/hydran_m2_ru-mark-iii.PDF (дата обращения 02.09.2023).
6. ГОСТ Р 51365-2009. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
7. РД 34.46.303-98. Методические указания по проведению хроматографического анализа газов в масле трансформаторов. 1999.
8. Николаев А. А. Внедрение системы мониторинга технического состояния трансформатора 80 МВА энергоблока ТЭЦ ОАО «ММК» // ЭС и К. 2016. №2 (31).
9. Sadeq Y.J., Dr. Shrivastava. J., Dissolved gas analysis of power transformers Transformer. International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEER). ISSN(P): 2250-155X; ISSN(O): 2278-943X Vol. 3, Issue 5, Dec 2013, 1-10
10. Duval, M., & Dukarm, J. (2005). Improving the reliability of transformer gas-in-oil diagnosis. IEEE Electrical Insulation Magazine, 21(4), 21–27.
11. Wang Z., Wang H. Intelligent Predictive Maintenance for Power Transformers. IEEE Access, 2021, vol. 9, pp. 41456-41466.

Информация об авторах

Соколов Л. Ю. – студент группы 8Э(з)-21, Сташко В. И. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», РФ, Алтайский край, г. Барнаул.

Ссылка для цитирования

Соколов, Л. Ю. Дистанционный анализ растворенных газов в масле трансформатора с использованием элементов искусственного интеллекта / Л. Ю. Соколов, В. И. Сташко // Энерджинет. 2023. № 1. URL: <http://nopak.ru/231-712> (дата обращения: 18.11.2023).

