

## Использование методов машинного обучения в исследовании параметров силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей

*А.Р. Галяутдинова, И.В. Ившин*

Казанский государственный энергетический университет

В статье рассмотрена возможность использования методов машинного обучения – метода регрессии с целью изучения параметров силовых маслонаполненных трансформаторов распределительных сетей. Объектом исследования являются параметры силового маслонаполненного трансформатора ТМН-6300 35/6(10) кВ:

- результаты хроматографического анализа масла;
- разрядная активность;
- влагосодержание масла;
- вибрация;
- температура бака;
- температура контактных соединений вводов;
- срок службы.

На рисунке 1 представлен алгоритм исследования параметров силового маслонаполненного трансформатора.



Рисунок 1. Алгоритм исследования

На первом этапе осуществляется сбор и обработка данных, полученных из системы мониторинга, установленного на силовом трансформаторе. Система мониторинга состоит из контрольно-измерительных приборов и датчиков (газоанализатор Intellix GLA 100, система мониторинга TDM-10, датчики температуры RF-Sens, WDM-T, датчики вибрации ИВД-3Ц-3, программируемый логический контроллер Wiren board 6), которые в режиме реального времени регистрируют параметры и передают на web-сервер. Далее формируется база данных по выбранным параметрам. На третьем этапе проводится предобработка и визуализация данных с помощью метода машинного обучения – метода регрессии. По результатам третьего этапа можно выявить новые зависимости параметров силового трансформатора. Однако необходимо учесть и внешние параметры, как температура окружающей среды, влажность воздуха, нагрузка силового трансформатора. Визуализация данных помогает интерпретировать полученные данные и наглядно выявить зависимости параметров (рис. 2,3).

Для работы с данными применяется язык программирования Python. Этот язык программирования широко используется в интернет-приложениях, разработке программного обеспечения, науке о данных и машинном обучении.

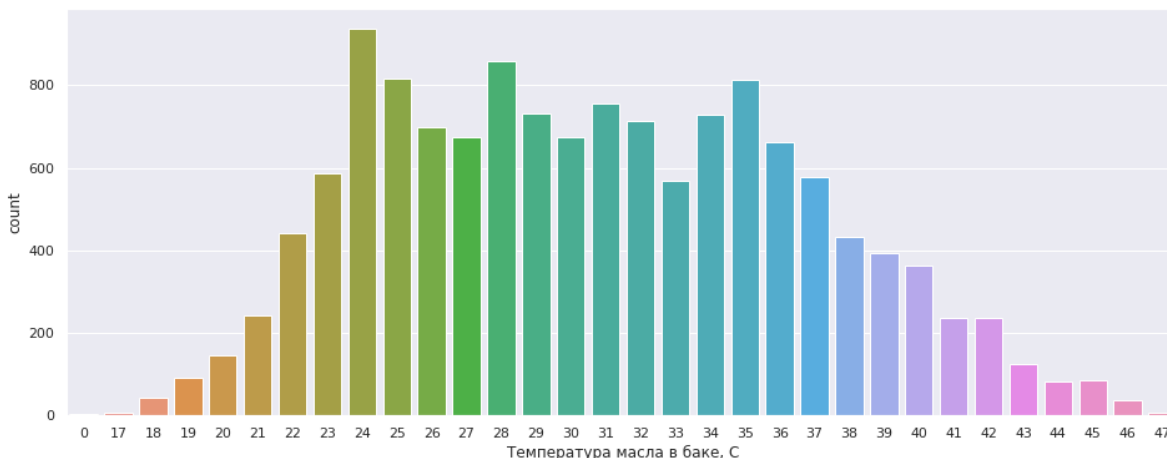


Рисунок 2. Распределение температуры масла в баке в течение 47 дней.

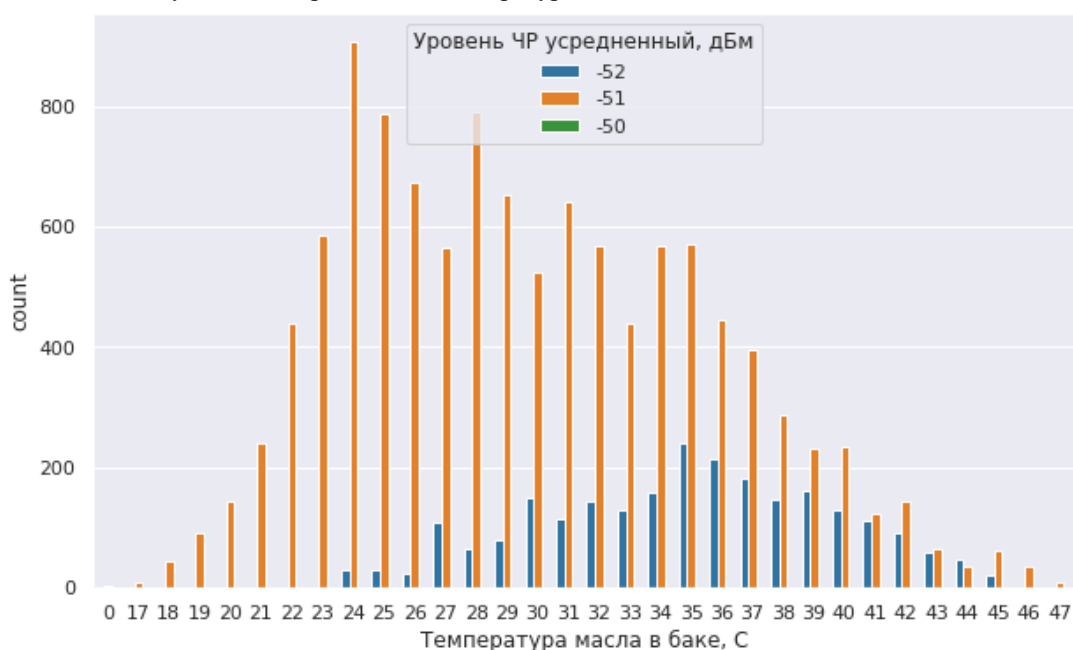


Рисунок 3. Зависимость уровня частичных разрядов от температуры масла в баке

Следовательно, при исследовании параметров силового маслонаполненного трансформатора возможно применить методы машинного обучения, что существенно сокращает время на обработку данных и может выявить новые закономерности параметров. Машинное обучение автоматизирует процесс обработки данных, применимо в условиях неоднородности и большого объема данных. Таким образом, исследование позволяет оценить состояние силового маслонаполненного трансформатора и выявить новые закономерности, что помогает повысить точность и эффективность оценки. Актуальность работы отражается в программе ПАО «Россети» Цифровая трансформация 2030».

### Литература

1. Vladimirov O., Galyautdinova A., Ivshin I. Equipment and data transmission system for express analysis of the technical condition of the main equipment of the 35/6(10)kV transformer substation // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. V. 190. P. 122-134.
2. Галяутдинова, А., Низамиев М. Корреляционный анализ параметров силового

трансформатора // Тинчуринские чтения - 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. С. 178-182.

3. *Khalyasmaa A., Matrenin P., Eroshenko S.* Averaged Errors as a Risk Factor for Intelligent Forecasting Systems Operation in the Power Industry // Proceedings of the 2021 Ural-Siberian Smart Energy Conference, USSEC 2021. P. 192-196.

УДК 621.396.2

## **Особенности разрабатываемого стандарта IEEE 802.15.4ab**

*К.Д. Титов, Ю.Г. Петров, А.О. Караичева*

Воронежский государственный университет

В настоящее время перспективным направлением развития беспроводных сетей является использование широкополосных и сверхширокополосных (СШП) сигналов. Это обусловлено тем, что они обеспечивают высокую помехоустойчивость канала связи, позволяют повысить скрытность и скорость передачи данных, а также допускают одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот [1]. СШП сигналы активно используются в системах связи, работающих в соответствии со стандартом IEEE 802.15.4-2020 [2], в котором реализована технология сверхширокой полосы пропускания – ultra-wideband (UWB). Особенностью этой технологии является использование импульсных сигналов для достижения полосы частот более 500 МГц.

Стандарт IEEE 802.15.4-2020 предназначен для построения персональных беспроводных сетей передачи данных с низкими скоростями – Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN) с использованием стационарных или мобильных устройств. Он разработан для удовлетворения требований к крайне низкому энергопотреблению и точному определению дальности между устройствами на небольших (до десятков метров) расстояниях.

Последняя редакция стандарта IEEE 802.15.4 была опубликована в июле 2020 года. Она включила в себя шесть дополнений, выпущенных к предыдущей редакции от 2015 года. Вместе с ней в августе 2020 года было выпущено новое дополнение, IEEE 802.15.4z-2020 [3], вносящее изменения в физический уровень и подуровень управления доступом к среде (MAC-подуровень) для обеспечения более точных и энергоэффективных процедур определения дальности и позиционирования.

Особенности стандарта IEEE 802.15.4-2020 и его дополнений были исследованы в работе [4]. Дополнение IEEE 802.15.4ab сосредоточено на проблеме совместного функционирования узкополосных и сверхширокополосных сигналов в одной системе связи, благодаря чему планируется повысить энергетические резервы и энергоэффективность приёмопередающих устройств. Это решение связано в первую очередь с ограничениями на излучаемую мощность СШП-систем, установленными Федеральной комиссией по связи (FCC) и Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) [5]. Согласно ограничениям, спектральная плотность мощности излучаемого сигнала не должна превышать  $-41,3$  дБм/МГц, что для канала связи с шириной 500 МГц означает максимальную излучаемую мощность в 37 мкВт. Повышение излучаемой мощности приведёт к повышению энергетических резервов, соответственно увеличению отношения сигнал/шум (ОСШ), а также улучшению качества связи и дальности передачи данных. Для этого в дополнении предлагается осуществлять передачу части пакета с помощью узкополосных сигналов, а части – с помощью СШП-импульсов, как и в базовом стандарте IEEE 802.15.4-2020.

В частности, в работах [6] предлагается передавать узкополосным сигналом пакет со служебной информацией: последовательностями для синхронизации по времени и частоте, расписанием передачи кадров и т.п. Полезные данные предлагается передавать с помощью СШП-импульсов, разбив на короткие последовательности, энергией не более 37 нДж, с периодом следования 1 мс. При таком способе передачи средняя излучаемая мощность не будет превышать