

# Определение информативных спектральных диапазонов для разработки системы контроля трансформаторного масла с использованием нейронных сетей глубокого обучения

*М. В. Беляков<sup>1\*</sup>, М. Г. Куликова<sup>2</sup>, О. Д. Анодина<sup>2</sup>, Е. И. Рысина<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия

<sup>2</sup> Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"», Москва, Россия

\* *bmw20100@mail.ru*

**Аннотация.** Для разработки технологий контроля трансформаторного масла на основе моделей нейронной сети глубокого обучения могут быть использованы оптические спектральные методы в ультрафиолетовой и видимой областях. Целью исследований является выявление информативных спектральных диапазонов люминесцентной диагностики для системы автоматизации контроля характеристик и параметров трансформаторного масла с использованием нейронных сетей глубокого обучения. Измерения спектральных характеристик чистого и отработанного трансформаторного масла в диапазоне 180–700 нм были проведены на дифракционном спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама». Установлено качественное и количественное различие спектров возбуждения: для отработанного масла спектры смещены вправо и снижены примерно в четыре раза по максимуму. Спектры фотолюминесценции чистого масла при возбуждении 300 нм являются суперпозицией как минимум трех кривых, наибольшая из которых имеет максимум на 382 нм. Для возбуждения 370 нм спектр существенно шире и имеет максимумы на длинах волн 387, 405, 433–439 и 475–479 нм. Спектры фотолюминесценции отработанного масла в несколько раз ниже и имеют максимумы на 446, 483 и 520–540 нм. Установленные диапазоны возбуждения и люминесценции будут использованы при создании методики и установке контроля параметров качества трансформаторного масла. Была разработана модель нейронной сети глубокого обучения, основанная на использовании самоорганизующейся карты Кохонена, которая позволила на основе потока фотолюминесценции трансформаторного масла прогнозировать параметры масла и, как следствие, за счет системы принятия решений определять эффективность эксплуатации описываемого метода в промышленности.

**Ключевые слова:** нейронные сети глубокого обучения, прогнозируемая логика, нейронечеткое моделирование, трансформаторное масло, спектры возбуждения, спектры фотолюминесценции, ультрафиолетовый и видимый диапазоны

**Для цитирования:** Беляков М. В., Куликова М. Г., Анодина О. Д., Рысина Е. И. Определение информативных спектральных диапазонов для разработки системы контроля трансформаторного масла с использованием нейронных сетей глубокого обучения // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2. С. 20–30. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-20-30

# Determination of informative spectral ranges for the development of a transformer oil control system using deep learning neural networks

M. Belyakov<sup>1\*</sup>, M. Kulikova<sup>2</sup>, O. Anodina<sup>2</sup>, E. Rysina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

<sup>3</sup> National Research University "MPEI", Moscow, Russia

\* [bmw20100@mail.ru](mailto:bmw20100@mail.ru)

**Abstract.** Optical spectral methods in the ultraviolet and visible regions can be used to develop transformer oil control technologies based on deep learning neural network models. The aim of the research is to identify informative spectral ranges of luminescent diagnostics for the automation system for monitoring the characteristics and parameters of transformer oil using deep learning neural networks. Measurements of the spectral characteristics of pure and spent transformer oil in the range of 180–700 nm were carried out on a diffraction spectrofluorimeter "Fluorat-02-Panorama". A qualitative and quantitative difference in the excitation spectra has been established: for waste oil, the spectra are shifted to the right and reduced by about four times to the maximum. The excitation maxima are located at wavelengths of 300, 322, 370 nm for pure and 388, 416 and 486 nm for waste oil. The photoluminescence spectra of pure oil at 300 nm excitation are a superposition of at least three curves, the largest of which has a maximum at 382 nm. For excitation of 370 nm, the spectrum is significantly wider and has maxima at wavelengths of 387, 405, 433–439 and 475–479 nm. The photoluminescence spectra of used oil are several times lower and have maxima at 446, 483 and 520–540 nm. The established excitation and luminescence ranges will be used when creating a methodology and installing quality control parameters of transformer oil during its operation. A deep learning neural network model based on the use of a self-organizing Kohonen map was also developed, which made it possible to predict the spectral characteristics of excitation based on the photoluminescence flow of transformer oil and, as a result, to determine the efficiency of the described method in industry through a decision-making system.

**Keywords:** deep learning neural networks, predictive logic, neuro-fuzzy modeling, transformer oil, excitation spectra, photoluminescence spectra, ultraviolet and visible range

**For citation:** Belyakov M., Kulikova M., Anodina O., Rysina E. Determination of informative spectral ranges for the development of a transformer oil control system using deep learning neural networks. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2022, vol.17, no.2, pp.20-30 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-2-20-30

## Введение

Приоритетным направлением развития энергетики и промышленности в целом является разработка энергоэффективных инновационных технологий, которые невозможны без создания современных мето-

дов контроля показателей качества продукции. Для разработки таких технологий могут быть использованы оптические спектральные методы в ультрафиолетовом и видимом диапазонах, применяемые для диагностики качества объектов [1]. Такой же подход может быть применен для диагностики трансформа-