

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

✉А.Д. Козьмин, А.А. Редюк

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

✉a.kozmin@g.nsu.ru

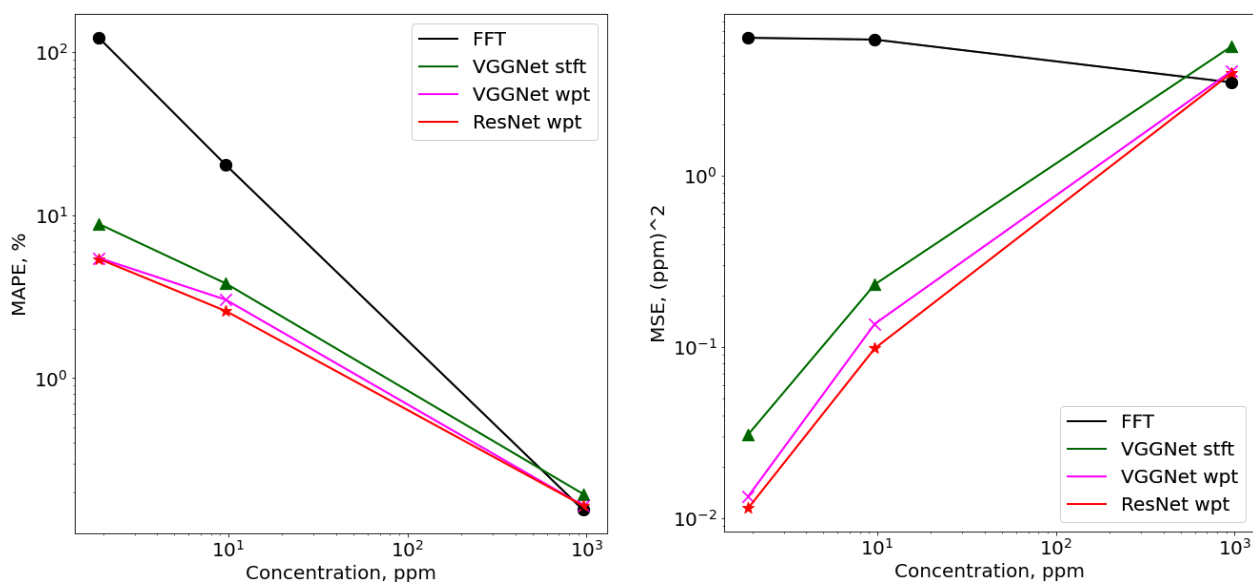
Актуальной и важной задачей является создание новых алгоритмов цифровой обработки выходных сигналов оптических датчиков для эффективного анализа извлекаемых данных и повышения точности интерпретации результатов [1]. В данной работе были предложены новые подходы на основе методов вейвлет-анализа и машинного обучения для повышения точности восстановления концентрации газа метана CH_4 в воздухе по «сырым» данным, снимаемым с оптоакустического газоанализатора, а также улучшения чувствительности такого датчика.

Метан является бесцветным газом без вкуса и запаха, третьим по значимости парниковым газом в атмосфере Земли по его вкладу в парниковый эффект после водяного пара и углекислого газа. Воздействие метана на климат вызвано наличием полос поглощения в инфракрасном спектре, совпадающих с окном прозрачности атмосферы. Кроме того, накапливаясь в закрытых помещениях, в смеси с воздухом метан становится взрывоопасным. С прикладной точки зрения повышенные значения концентрации CH_4 могут служить индикатором наличия нефтегазовых залежей и зон разломов. Известен способ прогноза залежей углеводородов по пробам подпочвенных газов из шпуров, основанный на газогеохимическом анализе на содержание метана и тяжелых углеводородов [2].

В ходе работы были исследованы различные архитектуры сверточных нейронных сетей с целью восстановления концентрации метана CH_4 в камере на основе выходных данных оптоакустического газового сенсора.

Для этого были предложены новые методы цифровой обработки сигналов оптоакустического газоанализатора, основанные на алгоритмах вейвлет-анализа и сверточных нейронных сетях. Предлагаемый подход позволяет с лучшей точностью прогнозировать значения концентрации метана на данных с высоким уровнем шума. Это достигается за счет способности нейронных сетей выделять особенности и закономерности в получаемых данных, а также за счет применения вейвлет-анализа для эффективного извлечения информации из сигналов [3].

Выполнено сравнение эффективности предлагаемого подхода со стандартным методом, основанном на преобразовании Фурье, и показано, что разработанный метод позволяет с лучшей точностью прогнозировать значения концентрации метана на данных с высоким уровнем шума. В частности, архитектура сверточных нейронных сетей ResNet позволила уменьшить среднеквадратичную ошибку определения концентрации метана в 1,9 ppm до уровня в 0,011 ppm² на данных с шумом, при этом стандартный подход на основе Фурье-преобразования демонстрирует ошибку 6,401 ppm². Для концентрации метана в 9,7 ppm среднеквадратичная ошибка уменьшилась до значения 0,098 ppm² против 653 ppm² для стандартного подхода. На рисунке представлены два графика для среднеквадратичной ошибки (MSE) и абсолютной процентной ошибки (MAPE) в зависимости от анализируемой концентрации метана.



Сравнение подходов VGG архитектуры (фиолетовая линия) и ResNet архитектуры (красная линия) с использованием вейвлет-пакетной декомпозиции (WPT). Черная линия — базовый Фурье-подход, зеленая — VGG архитектура с оконным Фурье-преобразованием (STFT). На левом графике по вертикали метрика MSE, на правом — MAPE. По горизонтали концентрация метана в ppm

Остаточная нейронная сеть ResNet-архитектуры, принимающая в качестве входных данных вейвлет-пакетную декомпозицию, продемонстрировала наилучшую точность восстановления концентрации. Достигнутые результаты позволяют улучшить качество восстановления низких концентраций метана, а также использовать более дешевые и простые устройства приема звукового сигнала. Это позволит удешевить стоимость оптоакустического газоанализатора.

Список литературы

1. Sherstov I. V., Vasiliev V. A. Highly sensitive Laser Photo-Acoustic SF6 Gas Analyzer with 10 decades dynamic range of concentration measurement // Infrared Physics and Technology. 2021. December. Vol. 119(1). P. 103922.
2. Обжиров А. А. Патент «Способ прогноза залежей углеводородов». 2009. Бюл. № 17. RU2 359 290 C1.
3. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. Т. 166. № 11. С. 1145–1170; Phys. Usp. 1996. Vol. 39. № 11. P. 1085–1108.