

0.1. Бороздин П.А., Козьмин А.Д. Определение резонансной частоты газовой ячейки оптоакустического датчика с помощью методов машинного обучения

Определение концентрации в окружающей среде различных газов с высокой точностью является важной задачей в промышленности, науке, а также в сферах обеспечения безопасности. Для измерения концентрации газов существует несколько типов газовых датчиков. Оптоакустические сенсоры по сравнению с остальными видами газовых сенсоров имеют ряд преимуществ, таких как малое время отклика, низкий пороговый уровень детектируемых концентраций газа вплоть до миллиардных долей (ppb), а также возможность проводить измерения в реальном времени [1].

Принцип работы оптоакустических газоанализаторов основан на эффекте поглощения газом инфракрасных лучей, вследствие чего газ нагревается и его давление увеличивается. При прерывании световых лучей на звуковой частоте в газе будут происходить быстрые изменения давления, которые являются звуковыми колебаниями. При этом мощность звука будет тем выше, чем больше концентрация целевого газа. Обязательным условием в измерении концентрации газов является определение резонансной частоты газовой ячейки.

На данный момент широко известны несколько способов измерения резонансной частоты ячейки [1, 2], однако все они имеют недостаток, связанный с прерыванием измерения концентрации газа в ячейке. Так например, при определении концентрации газа в условиях постоянно изменяющейся температуры эти алгоритмы способны обеспечивать только краткосрочное точное измерение концентрации газа, после чего требуются повторные измерения резонансной частоты, в течение которых не будут происходить измерения концентрации газа. При нормальных условиях изменение температуры газа в ячейке на 1 градус сдвигает резонансную частоту ячейки примерно на 3 Гц, что может быть существенным для определения концентрации целевого газа.

В данной работе с помощью теоретических оценок было показано, что изменение температуры является ключевым фактором дрейфа резонансной частоты. Было предложено альтернативное решение проблемы определения резонансной частоты в условиях изменяющейся температуры ячейки, которое заключается в том, чтобы разработать модель определения резонансной частоты ячейки по данным о ее температуре. Такой подход позволит проводить измерения резонансной частоты в реальном времени без необходимости останавливать измерения концентрации.

Для решения данной задачи были разработаны несколько нейросетевых алгоритмов, в основе которых лежит использование нейронной сети с долгой

краткосрочной памятью (LSTM), эффективно применяющейся для работы с временными рядами [3]. Кроме этого был использован алгоритм внимания (Self-Attention) [4]. В результате обучения моделей удалось добиться восстановления резонансной частоты ячейки в реальном времени по данным о ее температуре со средней абсолютной ошибкой менее 1 Гц при изменениях частоты более чем на 30 Гц в течение 1 часа.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Редюк А. А.

Список литературы

- [1] YIN X., GAO M., MIAO R. ET AL. Near-infrared laser photoacoustic gas sensor for simultaneous detection of CO and H₂S // Opt. Express. 2021. Vol. 29. N. 21. P. 34258–34268.
- [2] SHERSTOV I., VASILIEV V. Highly sensitive Laser Photo-Acoustic SF₆ Gas Analyzer with 10 decades dynamic range of concentration measurement // Infrared Physics & Technology. 2021. Vol. 119. P. 103922.
- [3] CAO J., LI Z., LI J. Financial time series forecasting model based on CEEMDAN and LSTM // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2019. Vol. 519. P. 127–139.
- [4] RUSSWURM M., KORNER M. Self-attention for raw optical Satellite Time Series Classification // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2020. Vol. 169. P. 421–435.