УДК 681.785.6:004.89

Б.П. Книш [1]

СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ МЕТАНУ НА ОСНОВІ БЕЗДРОТОВОГО ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СЕНСОРА КОНЦЕНТРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

[1] Вінницький національний технічний університет;

Анотація

В роботі запропоновано модель з використанням багатошарового перцептрона для системи вимірювання концентрації метану на основі бездротового оптико-електронного сенсора. В контролюючому середовищі, яке може бути небезпечним для людини, розташовується сенсор, який дистанційно передає інформацію про концентрацію метану на комп'ютер, де нейронна мережа здійснює обробку отриманої інформації. В якості нейронної мережі запропоновано використати багатошаровий перцептрон завдяки простоті у реалізації та високій ефективності для задач оцінки концентрації газу в умовах невеликого або середнього обсягу навчальної вибірки. Основними показниками ефективності запропонованої моделі багатошарового перцептрона, що визначалися в процесі дослідження, було обрано такі характеристики як середньоквадратична похибка (MSE) та середня абсолютна похибка (MAE). Для аналізу цих показників було проведено моделювання зміни MSE та точності під час навчання та перевірки моделі, порівняння даних з оптичного сенсора та з моделі, а також оцінки зміни MSE та MAE в процесі вимірювання.

Ключові слова: метан, оптико-електронний сенсор, концентрація, нейронна мережа, багатошаровий перцептрон.

Abstract

The work proposes a model using a multilayer perceptron for a methane concentration measurement system based on a wireless optoelectronic sensor. In a controlled environment that may be dangerous to humans, a sensor is located that remotely transmits information about the methane concentration to a computer, where a neural network processes the received data. As a neural network, it is proposed to use a multilayer perceptron due to its simplicity in implementation and high efficiency for gas concentration estimation tasks in conditions of a small or medium training sample size. The main indicators of the effectiveness of the proposed multilayer perceptron model, which were determined during the research, were selected as the mean square error (MSE) and the mean absolute error (MAE). To analyze these indicators, the change in MSE and accuracy during model training and validation, the comparison of data from the optical sensor and the model, as well as the assessment of the change in MSE and MAE during the measurement process, were carried out.

Keywords: methane, opto-electronic sensor, concentration, neural network, multilayer perceptron.

Вступ

Сучасні методи дослідження газів в багатьох галузях техніки дозволяють визначити їх фізичні параметри, зокрема густину, концентрацію, вміст домішок, кількісний склад газу тощо. Одним із важливих параметрів для контролю газу є його концентрація. На основі методів контролю концентрації газу розроблено широку класифікацію різноманітних сенсорів, датчиків, газоаналізаторів і систем, які дозволяють вимірювати концентрацію тих чи інших газів та їх сполук в різноманітних середовищах.

Серед газів, вимірювання концентрації яких є важливим, особливе місце посідає метан. Вплив метану та його сполук через викиди промислових підприємств та вихлопних газів автотранспорту, утворення смогу, накопичення в шахтах та свердловинах, в цехах та приміщеннях з недостатньою вентиляцією є дуже небезпечним для здоров'я та життя людини [1].

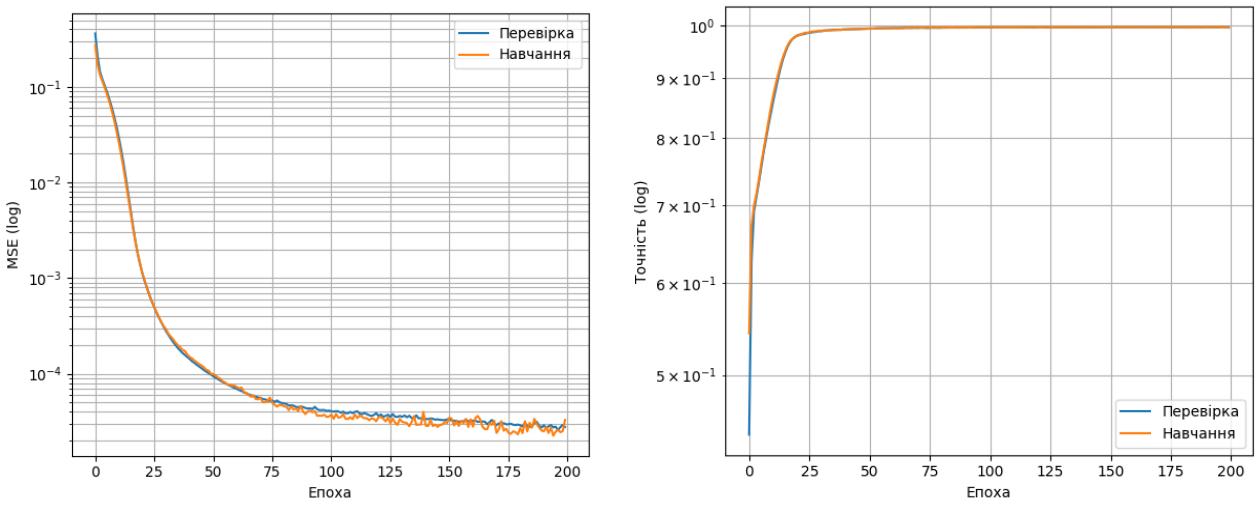
Таким чином, підвищення точності контролю та швидкість реагування на витік метану, а також раннє виявлення потенційних небезпек витоку є надзвичайно важливим, що стимулювало до розвитку ефективних систем вимірювання концентрації та раннього попередження про витік метану. Серед таких є рішення, які поєднують сенсори з нейронними мережами, що дозволяє здійснювати надійне та інтелектуальне вимірювання концентрації газу в динамічних умовах.

Тому метою роботи є розробка моделі з використанням нейронної мережі для системи вимірювання концентрації метану на основі бездротового оптико-електронного сенсора та оцінка її точності.

Результати дослідження

В роботі запропоновано модель багатошарового перцептрона (MLP), яка обробляє дані з модифікованого оптичного сенсора концентрації [2] метану. Для її налаштування використовувались гіперпараметри: Mean Squared Error (MSE), Adam з кроком 0,001, розмір пакету даних – 32, кількість епох до 200 з включенням алгоритму ранньої зупинки по функції втрат, співвідношення вибірки даних на навчальну і перевірочну – 80% на 20%.

На рис. 1 показано графіки зміни MSE та точності під час навчання та перевірки запропонованої моделі MLP для всіх епох у логарифмічному масштабі.



а *б*

Рис. 1. Графіки зміни MSE (а) та точності (б) під час навчання та перевірки запропонованої моделі MLP для всіх епох у логарифмічному масштабі

Як видно з рисунку, зменшення кривих зміни MSE під час навчання та перевірки свідчить про ефективне навчання моделі. Крім того, спостерігається зростання точності моделі протягом всіх епох навчання. На графіку зміни MSE видно як модель поступово знижує похибку на навчальних та перевірочних даних. Графік точності, що розраховується як відхилення MAE від 1, показує, наскільки значення наближені до перевірочних. Їх зростання є ознакою успішного навчання.

На рис. 2 показано графік порівняння даних з оптичного сенсора та з моделі MLP.

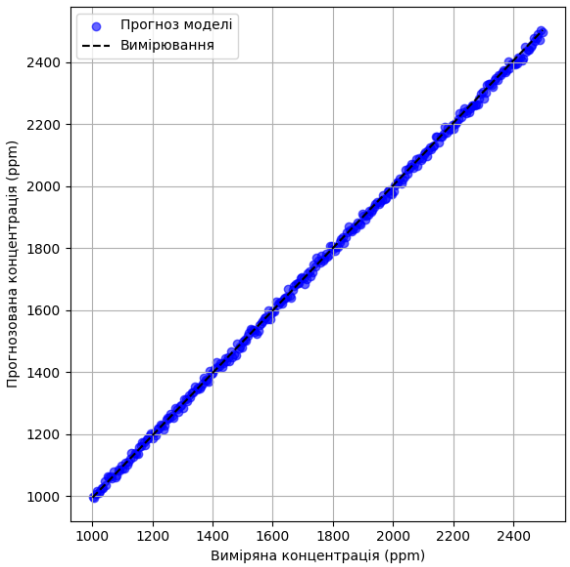
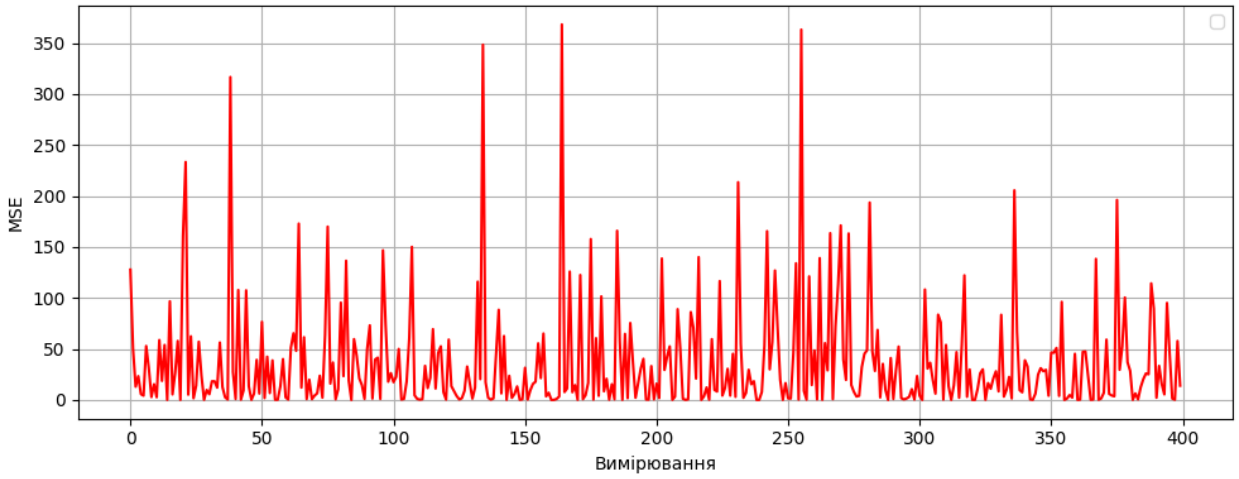


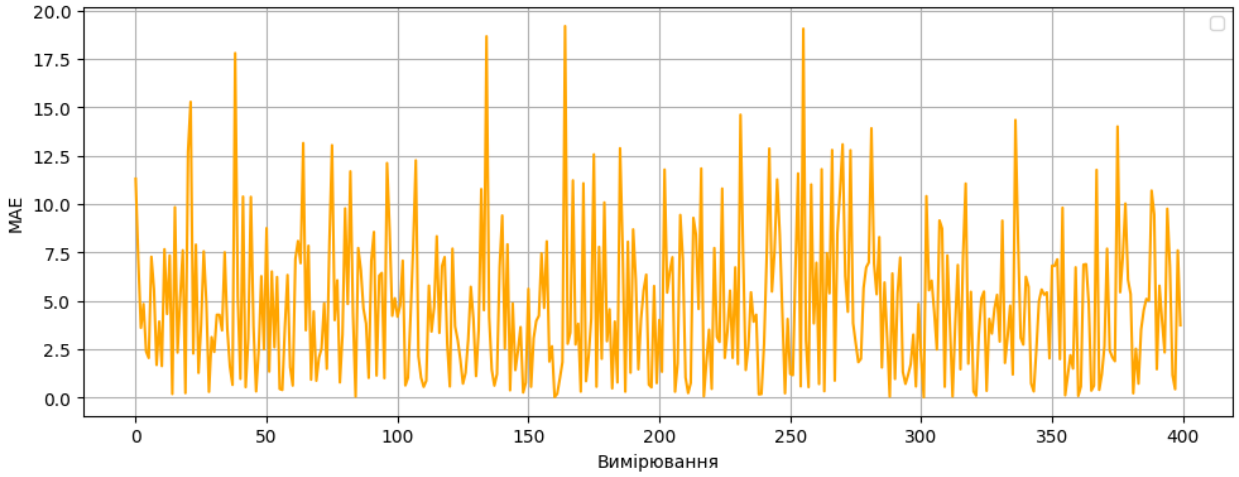
Рис. 2. Графік порівняння даних з оптичного сенсора та з моделі MLP

Як видно з рисунку, було обрано діапазон концентрації метану від 1000 до 2500 ppm, оскільки це відповідає небезпечному рівню метану у виробничих цехах та приміщеннях з недостатньою вентиляцією. Проведено 400 вимірювань. Спостерігається висока збіжність між виміряними сенсором значеннями концентрації та прогнозованими моделлю значеннями. Розсіювання прогнозованих моделлю значень концентрації відносно множини виміряних значень вказує на величину та характер похибки MAE.

На рис. 3 показано графіки зміни похибок MSE та MAE в процесі вимірювання.



а



б

Рис. 3. Графіки зміни похибок в процесі вимірювання: а – MSE; б – MAE

Як видно з рисунку, розподіл похибок MSE та MAE дозволяє оцінити наскільки рівномірно модель здійснює прогнозування значень концентрації метану та чи є значні відхилення. Також цей розподіл дає змогу оцінити узагальнювальну здатність моделі на перевірочних даних. Встановлено, що загальне значення MSE складає 36,866 ppm², а MAE – 4,771 ppm. Таким чином, відхилення прогнозованих значень концентрації перебуває в межах малих похибок, що вказує на високу точність і надійну роботу моделі та її потенційне застосування в системах моніторингу метану в режимі реального часу.

Висновки

В роботі запропоновано модель з використанням MLP для системи вимірювання концентрації метану на основі бездротового оптико-електронного сенсора. Основними показниками ефективності запропонованої моделі MLP, що визначалися в процесі дослідження, було обрано такі характеристики як MSE та MAE. Для аналізу цих показників було проведено моделювання зміни MSE та точності під час навчання та перевірки моделі, порівняння даних з оптичного сенсора та з моделі, а також оцінки зміни MSE та MAE в процесі вимірювання. Зменшення кривих зміни MSE під час навчання та перевірки показало ефективність навчання моделі з одночасним зниженням похибки на навчальних та перевірочних даних і, відповідно, зростанням точності моделі протягом всіх епох навчання. Крім того, обидві криві точності для навчання та перевірки збігаються, що свідчить про хорошу узагальнювальну здатність. Було обрано діапазон концентрації метану від 1000 до 2500 ppm, оскільки це відповідає небезпечному рівню метану у виробничих цехах та приміщеннях з недостатньою вентиляцією. Проведено 400 вимірювань. Спостерігалася висока збіжність між виміряними сенсором значеннями концентрації та прогнозованими моделлю значеннями. Розподіл похибок MSE та MAE дозволив оцінити узагальнювальну здатність моделі на перевірочних даних та встановити, що загальне значення MSE складає 36,866 ppm², а MAE – 4,771 ppm, що вказує на високу точність запропонованої моделі. Таким чином, відхилення прогнозованих значень концентрації перебуває в межах малих похибок, це вказує на високу точність і надійну роботу моделі та її потенційне застосування в системах моніторингу метану в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.Ю. Бахарєва, «Аналіз трьох основних джерел викидів метану як основа розробки технологій очистки повітря», Харківський політехнічний інститут, № 18, 2014. http://www.kpi.kharkov.ua/archive/microcad/2014/S18/p250-p250.pdf.

2. Б.П. Книш, Й.Й. Білинський, В.Р. Гладишевський, «Оптичний сенсор концентрації газу» Патент України G01N 21/81. № 61667МПК (2011), 25.07.2011.

Книш Богдан Петрович – канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: tutmos-3@i.ua.

Knysh Bogdan P. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: tutmos-3@i.ua.