

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-20>

УДК 004

МАРКОВИЧ Віктор

Національний університет «Львівська політехніка»  
<https://orcid.org/0000-0002-4441-3646>

ТИХАН Мирослав

Національний університет «Львівська політехніка»  
<https://orcid.org/0000-0002-4910-6477>

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

*У сучасному світі, де промисловість та технології стрімко розвиваються, постійне зростання складності технологічних процесів породжує важливу проблему опрацювання та компенсації даних вимірювання. Ця проблема стає особливо актуальною у високотехнологічних галузях, де навіть малі похибки вимірювань можуть мати серйозні наслідки, особливо при вимірюванні тиску.*

*Одним із потенційних рішень цієї проблеми є використання штучних нейронних мереж. Ця робота спрямована на розробку нового підходу до опрацювання та компенсації даних вимірювання, який має потенціал покращити точність та ефективність вимірювальних процесів у високотехнологічних галузях. Застосування штучних нейронних мереж може допомогти зменшити похибки та забезпечити більш надійні та точні вимірювання, що в свою чергу позитивно позначиться на точності вимірювання.*

*Ключові слова: нейрона мережа, вимірювання, технології.*

MARKOVYCH Viktor, TYKHAN Myroslav

Lviv Polytechnic National University

## THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PROCESSING PRESSURE MEASUREMENT DATA

*Pressure, in its definition as a physical quantity, is determined by the effect of a force on a plane perpendicular to the direction of this force. Therefore, pressure measurement becomes a necessary component in a wide range of technical and engineering applications. This quantity manifests itself in one way or another in everyday aspects of our lives, but in the context of technical research and innovation, its meaning and importance are revealed to the fullest extent.*

*Modern pressure measurements play a critical role in various industries, from manufacturing to high-tech scientific research. The importance of this parameter can be explained by the variety of its applications and influence on the functioning of various technical systems.*

*In today's world, where industry and technology are rapidly advancing, the continuous complexity growth of technological processes gives rise to a significant issue of processing and compensating for measurement data. This issue becomes particularly relevant in high-tech industries, where even small measurement errors can have serious consequences, especially in pressure measurements.*

*One potential solution to this problem is the utilization of artificial neural networks. This work is aimed at developing a new approach to processing and compensating measurement data, which has the potential to improve the accuracy and efficiency of measurement processes in high-tech industries. The application of artificial neural networks can help reduce errors and ensure more reliable and accurate measurements, which in turn will positively impact measurement accuracy.*

*Keywords: neural network, measurement, technologies.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Тиск, у своєму визначенні як фізична величина, визначається впливом сили на площину, перпендикулярну напрямку цієї сили. Відтак, вимірювання тиску стає необхідним компонентом в широкому спектрі технічних та інженерних застосувань. Ця величина виявляється деяким чином або іншим у коженденних аспектах нашого життя, але в контексті технічних досліджень та інновацій, її значення і важливість розкриваються на повну ширину.

Сучасні вимірювання тиску виявляють свою критичну роль у різних галузях, починаючи від виробництва та закінчуючи високотехнологічними науковими дослідженнями. Важливість цього параметра можна пояснити різноманітністю його застосувань і впливом на функціонування різних технічних систем.

У сучасному виробництві, вимірювання тиску стало стандартом для забезпечення якості та ефективності виробничих процесів. Від контролю за тиском в системах автоматизації до вимірювань в промисловості, тиск є ключовою характеристикою, яка визначає ефективність виробничих ліній та забезпечує якість виготовленої продукції. Наприклад, в аерокосмічній промисловості точне вимірювання тиску використовується для забезпечення нормального функціонування систем стабілізації польоту та безпечності апаратів у вакуумі космосу.

Технічні системи, в основі яких лежить вимірювання тиску, також знаходять широке застосування в сучасних автомобілях. Вони грають ключову роль в системах впорскування пального та управлінні

трансмisiєю, забезпечуючи оптимальну роботу двигуна та зниження викидів. Отже, точність вимірювань тиску визначає не лише ефективність, але й довговічність та екологічність транспортних засобів.

За останні десятиріччя спостерігається зростання зацікавленості у використанні сучасних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ) та нейронні мережі, в області вимірювання тиску. ШІ дозволяє впроваджувати алгоритми самонавчання, що дозволяє системам адаптуватися до змінних умов і покращує точність вимірювань. Застосування нейронних мереж у вимірюванні тиску дозволяє автоматизувати процеси аналізу даних та забезпечити більш точне та надійне вимірювання, що стає особливо важливим у вимогливих до точності сферах.

Однак, разом з потужністю інновацій, виникають нові виклики, зокрема, розробка методів лінійаризації та компенсації можливих похибок вимірювань тиску. Оскільки величина тиску може піддається впливу різних факторів, таких як температура, вологість та знос, важливо розробляти та вдосконалювати технології, які забезпечують стійкість та точність вимірювань у різних умовах.

Таким чином, розгляд вимірювання тиску у сучасному технічному контексті розкриває його ключову роль у багатьох аспектах життя та технологічного розвитку. Інновації в цій області промисловості не тільки розширюють межі наших знань, але й визначають нові стандарти точності та ефективності в вимірюванні тиску. В подальших розділах буде розглянуто ключові виклики, напрями досліджень та потенційні перспективи у цьому динамічному полі технологій[1-5].

### **Виникнення нестаціонарності під час вимірювання тиску**

Виникнення нестаціонарності під час вимірювання тиску є наслідком взаємодії фізичних явищ та властивостей матеріалів у складі сенсора. Зміни температури мають значний вплив на чутливий елемент сенсора та викликають нестаціонарні ефекти у вимірюваннях тиску. Серед цих впливів важливо відзначити термічне розширення матеріалів, зміни в механічних та еластичних властивостях, а також теплопередачу між мембраною сенсора та оточуючим середовищем. Ці зміни відображаються у геометричних параметрах мембрани та її механічній стійкості, що в кінцевому підсумку впливає на точність вимірювань тиску.

### **Цілі та задачі дослідження**

Метою роботи є оцінка можливості використання штучних нейронних мереж для процесу лінійаризації і компенсації даних вимірювання.

Для досягання мети були поставлені наступні завдання:

- Проаналізувати і побудувати штучну нейронну мережу.
- Визначити етапи і методи навчання і тестування нейронної мережі.
- Визначити нелінійність лінійаризації і компенсації процедури.
- Порівняння часу опрацювання даних.

### **Моделювання штучної нейронної мережі**

Моделювання, що ґрунтується на штучних нейронних мережах (ШНМ), відіграє ключову роль у лінійаризації і компенсації вхідних даних, що є важливим аспектом багатьох технічних процесів. На рисунку 1 представлено простий багатошаровий перцептрон ШНМ із одним вхідним, одним прихованим та одним вихідним шаром. Його архітектура складається лише з трьох шарів, виявляється ефективним рішенням для лінійаризації і компенсації вихідних даних сенсорів [7]. Цей підхід простий у впровадженні та вимагає обмеженої кількості операцій, що робить його ефективним для реального часу та завдань, де важлива швидкість обчислень.

У моделі вхідний шар отримує дані від сенсорів та передає їх прихованому шару що використовує гіперболічний тангенс як функцію активації, а вихідний шар використовує лінійну функцію активації. Використання гіперболічного тангенсу дозволяє моделі ефективно виявляти та адаптуватися до нелінійностей у вхідних даних. Також важливо відзначити, що нелінійність функції активації гіперболічного тангенсу є плавною та диференційованою у всіх його точках [8]. Процес тренування та навчання реалізований за допомогою алгоритму Левенберга–Марквардта, який поєднує в собі переваги методу найшвидшого спуску та алгоритму Гаусса–Ньютона.

Основними перевагами використання алгоритму Левенберга–Марквардта є його швидка збіжність та найменша середньоквадратична помилка [9]. Цей алгоритм є ефективним для тренування завдань середнього та малого обсягу даних. Ефективність цього багатошарового перцептрону полягає в його здатності адаптуватися до складних нелінійних залежностей у вхідних даних, що часто притаманні сенсорним вимірюванням.

Ефективність та швидкість обчислень роблять цей метод застосовним для різних технічних областей, забезпечуючи високу точність результатів.

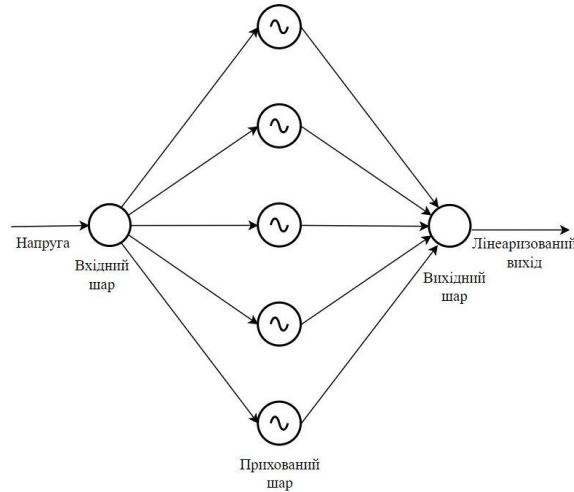


Рис. 1. Простий багатшаровий персептрон

### Опрацювання результатів

#### 1 Установка проведення експерименту

Запропонована схема установки, яка представлена на рис. 2, використовується для вивчення впливу тиску на діафрагму. Діафрагма виставлена на вплив тиску, який подається з резервуара (компресора) і обладнана манометром для вимірювання манометричного тиску. Зміщення діафрагми призводить до зміни опору тензорезистивного сенсора. Зміна опору викликає зміну напруги, яка вимірюється і фіксується на виході. Для підтримки сталої температури на різних рівнях використовується механізм контролю повітря, який включає в себе нагрівач і контролер температури.

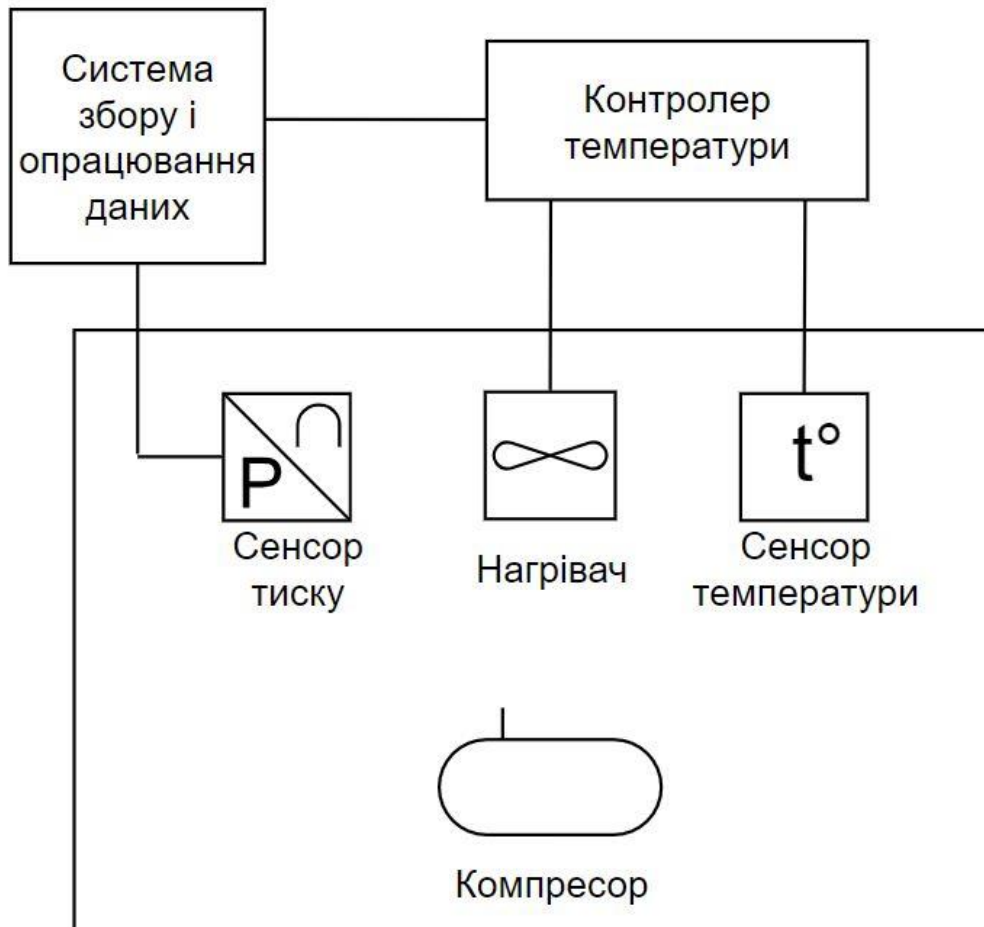


Рис. 2. Схема установки

На рисунку 3 представлений графік зміни напруги тензорезистора в залежності від зміни тиску при різних температурах (10°C, 15°C, 20°C, 25°C і 30°C). Цей графік чітко ілюструє вплив температури на роботу сенсора, вказуючи на зміни в його характеристиках при зміні умов. Перевірка реакції сенсора при різних температурах є важливим етапом для розуміння його функціональності в різноманітних умовах.

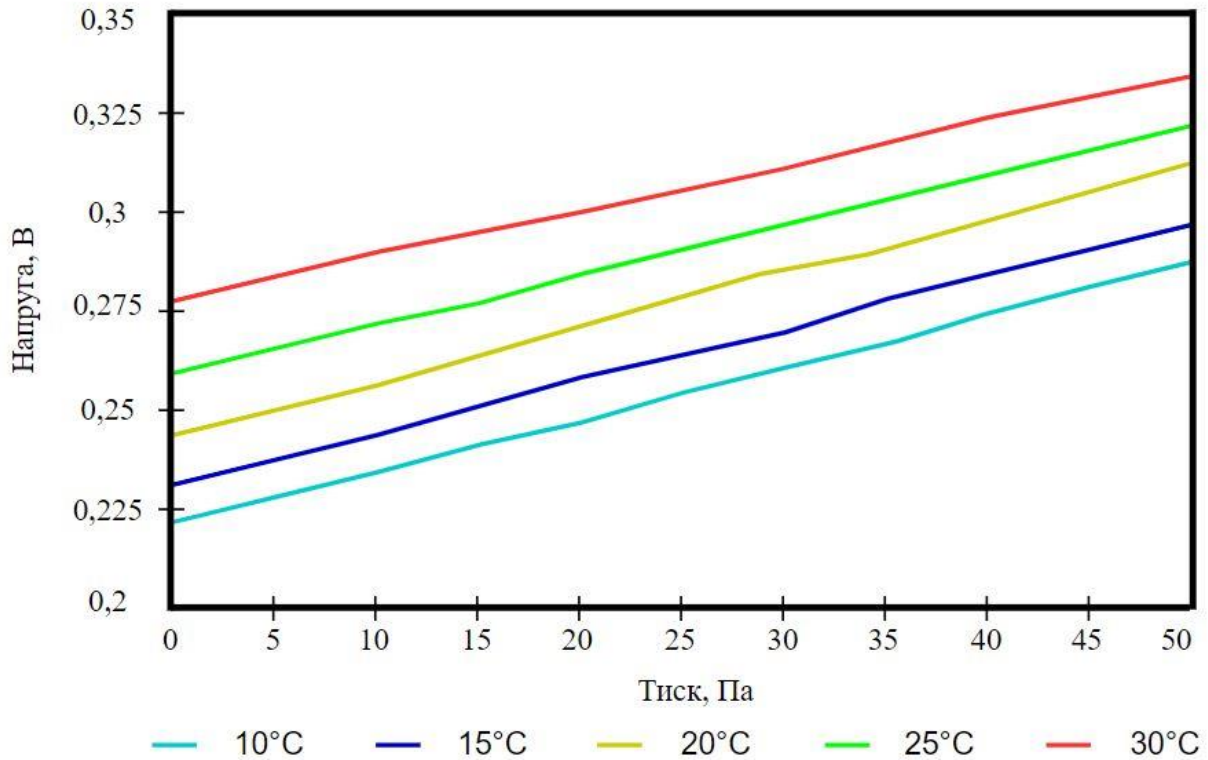


Рис. 3. Графік зміни напруги тензорезистора від зміни тиску при фіксованих значеннях температури

У цьому експерименті використовується манометр для вимірювання тиску, а тензорезистивний сенсор служить ключовим елементом для виявлення змін в тисковому середовищі. Механізм контролю повітря дозволяє забезпечити сталу температуру, що є важливим фактором для надійності і точності вимірювань.

## 2 Лінеаризація

Нелінійна вихідна напруга застосовується як вхідні дані для ШНМ для схеми лінеаризації. У фазі навчання обирається 10 точок даних з експериментальних даних вихідної напруги в діапазоні тиску 0-50 Па. Під час фази тестування вхід складається з точок даних, які не використовуються під час фази навчання. Вихід ШНМ на етапі тестування близько відповідає бажаній відповіді. Після навчання вся інформація про лінеаризацію залишається вбудованою в ШНМ.

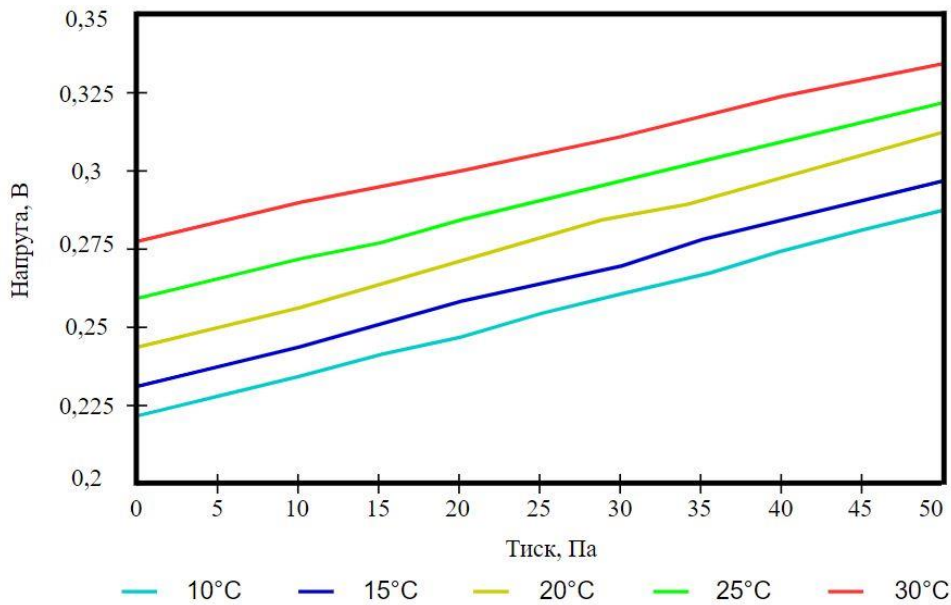


Рис. 4. Лінеаризована функція

Нелінійність лінеаризації процедури лежить в межах  $\pm 0,4\%$  за алгоритмом Левенберга–Марквардта

### 3 Компенсація

Процес компенсації включає в себе використання вихідних даних (ШНМ) апарату для компенсації залишкових нелінійностей, які залишилися після етапу лінеаризації. Під час навчання та тестування використовуються вхідні дані, які піддалися лінеаризації за допомогою ШНМ. Параметри навчання аналогічні до параметрів навчання ШНМ під час процесу лінеаризації.

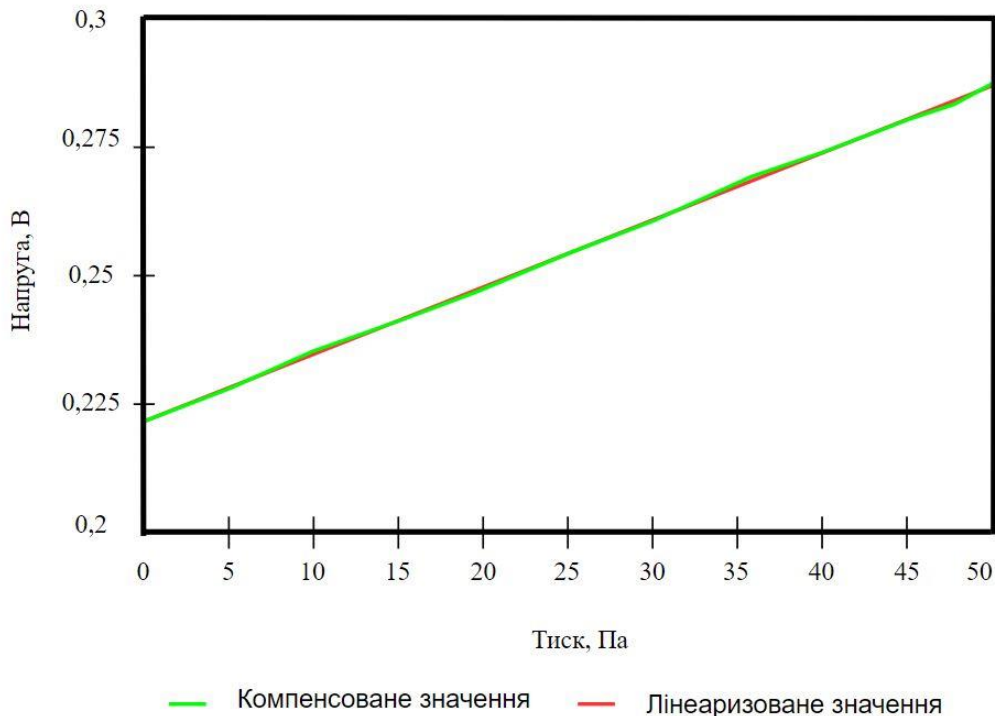


Рис. 5. Компенсована функція для температури 10 °C

Було виявлено що нелінійність процедури компенсації лежить в межах  $\pm 0,6\%$

### Час опрацювання результатів

Під час опрацювання даних вище наведеними даними було проведено замірювання часу. Дані порівняння часу для ШНМ і MatLab наведені в Табл. 1. В таблиці представленні середні значення виконання лінеаризації і компенсації даних.

З результатів можна побачити що опрацювання кожного методу роздільно швидше відбувається за допомогою класичного методу в MatLab. Але в разі ускладнення методу (використання декількох методів) краще використовувати ШНМ.

Таблиця 1

Назва методу	Лінеаризація, сек.	Компенсація, сек.	Лінеаризація+Компенсація, сек.
ШНМ	1,2 с	4	4,9
MatLab	0,9 с	3,2	5,1

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

З врахуванням нелінійності лінеаризації на рівні 0,4 компенсація даних стає ще більш актуальною проблемою. Можна зробити висновок, що використання штучних нейронних мереж для лінеаризації і компенсації на рівні 0,6 даних вимірювання є ефективним, але існує певний рівень нелінійності, який слід враховувати при використанні отриманих результатів. У такому випадку важливо визначити, чи відповідає рівень нелінійності потрібній точності в конкретному застосуванні, і враховувати це обмеження при подальшому використанні отриманих даних.

При розгляді часу опрацювання слід враховувати, що процес навчання і тренування штучних нейронних мереж може забирати значний обчислювальний час. Важливо враховувати, що не дивлячись на це, штучні нейронні мережі можуть не бути оптимальним вибором для простих операцій опрацювання даних, але вони можуть виявити високу ефективність при виконанні складних операцій, де вони виявляються більш придатними.

### References

1. MEMS for automotive and aerospace applications [Text] / M. Kraft, N. M. White (Eds.). – Woodhead Publishing Limited, 2013. – 355 p. doi: 10.1533/9780857096487 2.
2. Custom Pressure Sensors for the Aerospace Industry [Electronic resource]. – Merit Sensor. – Available at: <https://meritsensor.com>
3. Sensors for Aerospace & Defense [Electronic resource]. – PCB Piezotronics. – Available at: <https://www.pcb.com/aerospace>
4. Tykhan M., Repetylo, T., Dilay, I., Markovych, V. “Study of the influence of a fast-changing temperature on metrological characteristics of the tensoresistive pressure sensor” Eastern European Journal of Enterprise Technologies. -2018, V.1/7, p.30-37.
5. Zhao, L. B. Design and Fabrication of a Piezoresistive Pressure Sensor for Ultra High Temperature Environment / L. B. Zhao, Y. L. Zhao, Z. D. Jiang // Journal of Physics: Conference Series. – 2006. – Vol. 48. – P. 178–183. doi: 10.1088/1742-6596/48/1/033 9.
6. Chiou, J. A. Thermal Stress Analysis for Differential Pressure Sensors [Text] / J. A. Chiou, S. Chen // Electronic and Photonic Packaging, Electrical Systems Design and Photonics, and Nanotechnology. – 2005. doi: 10.1115/imece2005-82946
7. Zhang, L.; and Tian, F. (2014). Performance Study of Multilayer Perceptrons in a Low-Cost Electronic Nose. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, 63(7), 1670-1679. 16.
8. Haykin, S. (1998). Neural networks: A comprehensive foundation, second edition. Prentice Hall, New Jersey, USA.
9. Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain problems in least squares. The Quarterly of Applied Mathematics, 2(2), 164-168.