

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

_____ Іван ДЕМИДОВ
" ____ " _____ 2025 р.

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації «Інтелектуальні сенсори тиску»
здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
175 Інформаційно-вимірювальні технології
(галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації)
Марковича Віктора Йосифовича
наукового семінару кафедри інтелектуальної мехатроніки та роботики
Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та
метрології**

1. Актуальність теми дисертації

Тенденції сучасного розвитку високотехнологічної промисловості — зокрема в галузях аерокосмічної техніки, енергетики, автомобілебудування та наукових досліджень — вимагають впровадження інноваційних підходів до моніторингу та контролю стану складних технічних систем. Одним із ключових напрямів у даному контексті виступають методи та сенсори вимірювання тиску, особливо в умовах нестаціонарного впливу.

Попри широкий асортимент наявних сенсорів тиску, на сьогодні більшість із них вже не забезпечують достатнього рівня точності. Традиційні сенсори характеризуються обмеженими показниками точності та надійності, що є критично важливим для вирішення багатьох прикладних задач.

Для вирішення цих викликів необхідним є перехід від класичних вимірювальних сенсорів до інтелектуальних сенсорів тиску, які інтегрують фізичні перетворювачі з програмними алгоритмами обробки у режимі реального часу.

В результаті, інтелектуалізація сенсорів тиску є не лише перспективним напрямом розвитку вимірювальної техніки, а й об'єктивною необхідністю для забезпечення надійної та високошвидкісної роботи критичних технічних систем у складних динамічних умовах. У зв'язку з викладеним, дослідження, спрямоване на розробку інтелектуалізації сенсорів тиску та підвищення їх точності в умовах нестаціонарних впливів, є актуальним, своєчасним і має важливе прикладне значення.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри інтелектуальної мехатроніки та роботики Національного університету «Львівська

політехніка»: "Теоретичні та прикладні основи метрології і вимірювань в ІТ (інформаційно-вимірювальних, кібер-фізичних, робототехнічних та інших системах) та у межах пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України, визначених Законами України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" та "Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», згідно плану виконання науково-дослідної роботи МОН України за фаховим напрямом "Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка"

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Основний зміст роботи, всі теоретичні та практичні результати, висновки, що представлено до захисту, отримано автором самостійно. Основні теоретичні положення та розробки, які характеризують наукову новизну дослідження, теоретичну та практичну значимість результатів, одержані дисертантом особисто. Результати досліджень, які наведені у дисертаційній роботі та опубліковані у наукових статтях, належать автору і є його науковим доробком. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Постановку завдань, обговорення результатів та підготовку публікацій до друку здійснено під керівництвом д.т.н., проф. Тихана М.О.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Достовірність представлених у дисертації рішень, висновків та рекомендацій базується на кваліфікованому підході до постановки завдань досліджень, логічно правильному обґрунтуванні прийнятих допущень під час вибору математичних моделей і коректному використанні математичного апарату. Крім того, достовірність підтверджується коректністю розрахунків, проведених за допомогою сучасних прикладних програмних пакетів, експериментальною перевіркою та апробацією отриманих результатів на наукових конференціях та семінарах.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру.

Наукова новизна полягає у такому:

- Вперше сформульовано принципи інтелектуалізації сенсорів тиску, які поділяються на: апаратну (конструкційну) та програмну інтелектуалізацію, а також їх інтеграцію в апаратно-програмну інтелектуалізацію, що дозволяє класифікувати сенсори за рівнем функціональної інтелектуальності.

- Розвинуто теоретичні аспекти динаміки вимірювального перетворення сенсорів тиску шляхом уточнення їхньої динамічної моделі та встановлення закономірностей формування динамічних спотворень вихідного сигналу, що дозволило розробити спосіб фільтрації вихідного сигналу, що загалом реалізує програмну інтелектуалізацію сенсорів та забезпечує можливість вимірювання нестационарного тиску в реальному часі в межах статичної похибки.

- Запропоновані нові підходи для вимірювання тиску в умовах нестационарних термовпливів, сформовані на основі дослідження термомеханічних процесів у мембрані сенсора, що дозволило розробити спосіб автоматичного коригування температурної похибки сенсора при нестационарному термовпливі з реалізацією у реальному часі та розробити конструкцію сенсора тиску для втілення способу, що

загалом створює основу для побудови інтелектуальних сенсорів тиску нового покоління.

- Запропоновано метод апаратної інтелектуалізації сенсорів шляхом їхньої самодіагностики, що базується на оцінці симетрії мостової схеми через інтегральну діагностичну функцію, який дозволяє в режимі реального часу виявляти та локалізувати деградацію або відмову окремих тензорезисторів, підвищуючи їхню функціональну надійність.

- Запропоновано підхід для ідентифікації метрологічних характеристик сенсорів тиску в умовах масового виробництва, який полягає у автоматизованому групуванні тензорезистивних сенсорів за близькістю статичних характеристик з використанням багатошарової нейронної мережі, що підвищує ефективність виробництва сенсорів.

- Розроблено теоретичні основи і створено метод динамічного тестування сенсорів тиску та розроблено установку для реалізації методу.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Основні положення та результати дисертації повністю відображені в наступних наукових працях:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Маркович В., Тихан М. Використання штучних нейронних мереж для опрацювання даних вимірювання тиску / Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах – 2024 - №1, Сторінка 160-165, DOI: [10.31891/2219-9365-2024-77-20](https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-20)

Статті у наукових періодичних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Tykhan M., Dilay I., Markina O., Markovych V. Investigation of thermomechanical processes in miniature membrane elastic elements / Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering - 2020 - Volume 98 - Issue 1 - Pages 24-31. DOI: [10.5604/01.3001.0014.0814](https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.0814)

3. 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 - Volume 1 - Issue 7-91 - Pages 30-37. DOI: [10.15587/1729-4061.2018.123391](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123391)

4. Tykhan M., Markovych V., Heneralov V., Milian M., Device for dynamic calibration of pressure sensors / Metrology and measurement systems, Vol. 31 (2024), No. 4, DOI: [10.24425/mms.2024.150293](https://doi.org/10.24425/mms.2024.150293)

Матеріали міжнародних наукових та науково-практичних конференцій:

5. Маркович В., Тихан М. Застосування НШМ для коригування температурної похибки сенсора тиску за умов нестаціонарного термовпливу. VI міжнародної науково-практичної конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи” – Україна, Львів, 16–17 листопада 2023 року – Сторінка 245

6. Markovych V., Tykhan M., Milian M. The change in the dynamics of the membrane of a piezoresistive pressure sensor during stationary processes of temperature change. XX International Scientific and Practical Conference “Problems of solving global problems of humanity” – Greece, Athens, May 20-22, 2024 – Pages 353-356.

7. Markovych V., Tykhan M., Markovych R. Analysis of hardware architecture of intelligent pressure sensors. XX International Scientific and Practical Conference “Trends in the development of quality training of future specialists” - Oslo, Norvegia, May 21-24, 2024 – Pages 308-310. DOI: 10.46299/ISG.2024.1.20

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації.

У кожному розділі дисертації вказуються публікації, у яких відображено результати досліджень цього розділу. Опубліковані роботи відображають основні положення дисертації. Аналіз їх змісту свідчить, що усі результати є повністю опубліковані та апробовані.

Основний зміст роботи, теоретичні та практичні результати, висновки, які представлено до захисту, одержані автором особисто. У роботах [1,2] що виконувались у співавторстві здобувач брав участь у визначенні завдань, [3] визначеннях цілей та завдань дослідження, моделювання штучної нейронної мережі, [4] розробленні методу тестування а також його експериментальний перевірки та реалізації результатів досліджень.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Викладені у роботі положення та результати досліджень доповідались і обговорювались на національних і міжнародних наукових конференціях: 6-й Міжнародній науково-практичній конференції “Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи” 16–17 листопада 2023 року, Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів; XX Міжнародній науково-практичній конференції “Problems of solving global problems of humanity” 20–22 травня 2024 року, м. Афіни, Греція; XX Міжнародній науково-практичній конференції “Trends in the development of quality training of future specialists” 21–24 травня 2024 року, м. Осло, Норвегія.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Результати роботи та виконаних досліджень мають вагоме наукове значення у спеціальності «Інформаційно-вимірювальні технології», а також в галузі знань «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації», а саме: результати досліджень використано для удосконалення діяльності лабораторії динамічних вимірювань, що дало змогу підвищити точність визначення динамічних характеристик сенсорів тиску (зменшити невизначеність). Крім цього, результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри «Інтелектуальна мехатроніка та роботика» Національного університету «Львівська політехніка» для підготовки фахівців за спеціальністю G6 – Інформаційно-вимірювальні технології, а саме при вивченні дисциплін «Віброметрія», «Інформаційне забезпечення проектування, виготовлення і тестування виробів», «Інтелектуальні мехатронні системи».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Практична цінність результатів дослідження полягає у розробці нового покоління сенсорів, які забезпечують точне вимірювання нестационарного тиску за умов змінних термовпливів у реальному часі. Запропоновані математичні моделі, методи обробки сигналів і процедури метрологічної атестації дозволяють підвищити точність і надійність вимірювань, що робить можливим їхнє застосування у високоточних і швидкодіючих системах керування. Розроблений метод динамічного тестування та експериментальна установка сприяють впровадженню ефективних технологій контролю якості сенсорів під час виробництва та експлуатації. Це відкриває перспективи для широкого використання запропонованих рішень у промислових і технологічних процесах із жорсткими вимогами до точності і стабільності вимірювань.

Результати, отримані в ході дисертаційного дослідження, успішно впроваджені і застосовуються в ТзОВ “Елпор Інжиніринг Юкреін”, м. Львів, Акт про впровадження від 14.04.2025 р.; ТзОВ “Спектографіка”, м. Львів, Акт про впровадження від 29.04.2025 р.; ПП “Захід-Львів” м. Львів, Акт про впровадження від 06.05.2025 р. у навчальному процесі та при виконанні науково-дослідних робіт на кафедрі «Інтелектуальної мехатроніки та роботи» Національного університету «Львівська політехніка», Акт про впровадження від 19.06.2025 р.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота складається із анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Всі частини роботи взаємоузгоджені, а її структура є логічною. В загальному, дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11.3 урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри інтелектуальної мехатроніки та робототики ухвалили:

11.1 Дисертація **Марковича Віктора Йосифовича** «Інтелектуальні сенсори тиску» є завершеною науковою працею, у якій розв’язано актуальне наукове завдання *створення теоретичних засад, методів і технічних рішень для вимірювання нестационарного тиску на основі інтелектуальних тензорезистивних сенсорів.*

11.2 Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3 У 7 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них: 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 3 статті у наукових періодичних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 3 матеріалів міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

11.4 Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5 Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6 З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Марковича Віктора Йосифовича дисертація «Інтелектуальні сенсори тиску» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за	-	вісім
проти	-	(немає)
утримались	-	(немає)

Головуючий на науковому
семінарі кафедри інтелектуальної
мехатроніки та роботики,
зав. кафедри інтелектуальної
мехатроніки та роботики,
д.т.н., професор

 **Мирослав ТИХАН**

Рецензенти:
професор кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

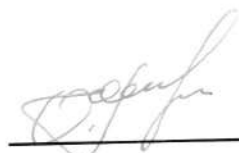
д.т.н., професор

 **Пилип СКОРОПАД**

інженер кафедри
напівпровідникової електроніки
к.т.н., інженер

 **Олексій КУТРАКОВ**

Відповідальна у ІКТА
за атестацію PhD
к.т.н., доцент,
доцент кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем

 **Оксана ГОНСЬОР**

« 18 » 04 2025 р.