

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U004319

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 17-12-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Маркович Віктор Йосифович

2. Viktor Y. Markovych

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4441-3646

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: ні

Шифр наукової спеціальності: 175

Назва наукової спеціальності: Інформаційно-вимірювальні технології

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Інформаційно-вимірювальні технології

Дата захисту:

Спеціальність за освітою: «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» спеціалізація «Прилади і системи точної механіки»

Місце роботи здобувача: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 11532

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 90.27.30

**Тема дисертації:**

1. Інтелектуальні сенсори тиску
2. Intelligent pressure sensors

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена розвитку принципів інтелектуалізації сенсорів, нових способів вимірювання тиску в нестационарних середовищах, здатних працювати в режимі реального часу з високою точністю. Вимірювання тиску є критично важливою складовою у функціонуванні систем керування, моніторингу в таких сферах, як аерокосмічна, автомобільна, військова та фундаментальні наукові дослідження. Таким чином, розвиток інтелектуалізованих сенсорів тиску є не лише важливим науково-технічним завданням, але й відповіддю на реальні запити сучасної промисловості й науки, що потребують точних, надійних та швидкодіючих вимірювальних рішень. Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. У вступі обґрунтовано необхідність і актуальність дисертаційного дослідження, зазначено предмет та об'єкт дослідження, методологію дослідження, а також сформульовано мету, основні завдання, наукову новизну і практичну цінність здобутих наукових результатів. У першому розділі подано системний аналіз сучасного стану та проблем вимірювання тиску за умов температурного впливу, з особливою увагою до поведінки сенсорних елементів у нестационарних

температурних полях. За результатами аналізу сформульовано наукову гіпотезу, згідно з якою перспективним напрямом є розробка нової архітектури інтелектуального сенсора тиску, здатного компенсації температурного впливу нестационарних середовищ. Такий сенсор має об'єднувати конструктивну стійкість, чутливу мембранну структуру, мікропроцесорний блок обробки даних і алгоритмічну модель компенсації в умовах реального середовища. У другому розділі запропоновано класифікацію інтелектуальних сенсорів тиску, що охоплює апаратну, програмну інтелектуалізацію, та їх поєднання. На підставі аналізу динамічних характеристик мембрани побудовано динамічну модель у вигляді інтегрального рівняння, що відображає причинно-наслідкові зв'язки між прикладеним тиском і відгуком сенсора. Особливу увагу приділено дослідженню термомеханічних явищ у мембрані сенсора в умовах дії нестационарного термовпливу. Запропоновано рішення апаратної інтелектуалізації, орієнтовані на мінімізацію температурних похибок. Зокрема, обґрунтовано застосування сенсорної конструкції з компенсаційним кільцем із нітинолу, яке забезпечує термокомпенсоване заземлення мембрани та знижує термонапруження більш ніж у 30 разів. Розроблено аналітичні залежності, що визначають оптимальне співвідношення параметрів мембрани та компенсаційного елемента. Розроблено метод самодіагностики сенсорів тиску, побудований на аналізі інтегральної діагностичної функції симетрії мостової схеми. У третьому розділі розглядається процес присвоєння метрологічних характеристик тензорезистивним сенсорам тиску в умовах масового виробництва. Розглянуто основні етапи метрологічної атестації сенсорів, включаючи їх градування, визначення класу точності. Особливу увагу приділено групвані, де ключовим завданням є забезпечення однорідності градувальних характеристик сенсорів одного типоміналу, в межах допустимих відхилень. Реалізовано запропоновану методику групування сенсорів із застосуванням нейронних мереж (багатошарових перцептронів), для автоматизації процесу градування. Наведено архітектуру нейронної мережі, включно з прихованими та вихідними шарами, функцією активації ReLU для нелінійного перетворення сигналів та функцією Softmax для оцінки ймовірності належності сенсора до конкретної групи. Описано процес навчання мережі, використання алгоритмів зворотного поширення помилки та методів регуляризації для забезпечення стабільності та узагальнюваності моделі на різних партіях сенсорів. У четвертому розділі проведено повний комплекс експериментальних досліджень, спрямованих на визначення статичних, динамічних та інтелектуальних характеристик тензорезистивного сенсора тиску. На основі математичного моделювання процесів деформації мембрани при дії реального й ідеального стрибка тиску отримано аналітичні вирази для оцінювання похибки динамічного тестування та виведено критерій достовірності  $t_p < (8 \cdot \pi \cdot \max) / \pi$ . Це дозволило кількісно обґрунтувати вимоги до тривалості фронту тестового впливу та визначити межі застосовності різних типів імпульсних методів. Розроблено та створено експериментальну установку для динамічного калібрування сенсорів тиску, що забезпечує генерацію коротких імпульсів із тривалістю фронту  $t_p = 2$  мкс.

2. The dissertation is devoted to the development of principles for the intellectualisation of sensors and new methods for measuring pressure in non-stationary environments that are capable of operating in real time with high accuracy. Pressure measurement is a critical component in the functioning of control and monitoring systems in such areas as aerospace, automotive, military, and fundamental scientific research. Thus, the development of intelligent pressure sensors is not only an important scientific and technical task, but also a response to the real demands of modern industry and science, which require accurate, reliable and fast-acting measurement solutions. The dissertation contains an introduction, four chapters, conclusions, a list of references and appendices. The introduction justifies the necessity and relevance of the dissertation research, specifies the subject and object of the research, the research methodology, and formulates the purpose, main tasks, scientific novelty and practical value of the obtained scientific results. The first chapter presents a systematic analysis of the current state and problems of pressure measurement under temperature influence, with particular attention to the behaviour of sensor elements in non-stationary temperature fields. Based on the results of the analysis, a scientific hypothesis is formulated, according to which a promising direction is the development of a new architecture of an intelligent pressure sensor capable of compensating for the temperature influence of non-stationary environments. Such a sensor should combine structural stability, a sensitive membrane structure, a microprocessor data processing unit,

and an algorithmic compensation model in real-world conditions. The second section proposes a classification of intelligent pressure sensors, covering hardware, software intellectualisation, and their combination. Based on the analysis of the dynamic characteristics of the membrane, a dynamic model in the form of an integral equation is constructed, reflecting the cause-and-effect relationships between the applied pressure and the sensor response. Particular attention is paid to the study of thermomechanical phenomena in the sensor membrane under the action of non-stationary thermal influence. Hardware intellectualisation solutions aimed at minimising temperature errors are proposed. In particular, the use of a sensor design with a nitinol compensation ring is justified, which provides thermally compensated membrane clamping and reduces thermal stress by more than 30 times. Analytical dependencies have been developed that determine the optimal ratio of the parameters of the membrane and the compensation element. A method for self-diagnosis of pressure sensors has been developed, based on the analysis of the integral diagnostic function of the symmetry of the bridge circuit. The third section examines the process of assigning metrological characteristics to strain gauge pressure sensors in mass production conditions. The main stages of metrological certification of sensors are considered, including their calibration and determination of accuracy class. Particular attention is paid to grouping, where the key task is to ensure the uniformity of the calibration characteristics of sensors of the same type, within the permissible deviations. The proposed method of grouping sensors using neural networks (multilayer perceptrons) has been implemented to automate the grouping process. The architecture of the neural network is presented, including hidden and output layers, the ReLU activation function for nonlinear signal transformation, and the Softmax function for estimating the probability of a sensor belonging to a specific group. The process of network training, the use of backpropagation algorithms and regularisation methods to ensure the stability and generalisability of the model on different batches of sensors is described. The fourth section presents a complete set of experimental studies aimed at determining the static, dynamic, and intellectual characteristics of a strain-resistant pressure sensor. Based on mathematical modelling of membrane deformation processes under the action of real and ideal pressure jumps, analytical expressions for estimating the error of dynamic testing were obtained and the reliability criterion  $\tau_0 < (8 \cdot \sigma_{\max}) / \sigma$  was derived. This made it possible to quantitatively justify the requirements for the duration of the test impact front and determine the limits of applicability of various types of impulse methods. An experimental setup for dynamic calibration of pressure sensors was developed and created, which ensures the generation of short pulses with a front duration of  $\tau_0 = 2 \mu\text{s}$ .

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Інформаційні та комунікаційні технології

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- 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.
- 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
- Маркович В., Тихан М. Використання штучних нейронних мереж для опрацювання даних вимірювання тиску / Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах – 2024, №1, с. 160-165
- Tykhan M., Markovych V., Heneralov V., Milian M., Device for dynamic calibration of pressure sensors / Metrology and measurement systems, Vol. 31 (2024), No. 4. pp. 657-671.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** пристрої

**Соціально-економічна спрямованість:** підвищення автоматизації виробничих процесів; забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Тихан Мирослав Олексійович
2. Myroslav O. Tykhan

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.11.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-4910-6477

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Осадчук Олександр Володимирович
2. Oleksandr V. Osadchuk

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.11.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6662-9141

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Вінницький національний технічний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 02070693

**Місцезнаходження:** вул. Хмельницьке шосе, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Середюк Орест Євгенович
2. Orest Y. Serediuk

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.01.02**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8539-2693**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**Код за ЄДРПОУ:** 02070855**Місцезнаходження:** вул. Карпатська, Івано-Франківськ, 76019, Україна**Форма власності:****Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується**Рецензенти****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Скоропад Пилип Ізидорович
2. Pylyp I. Skoropad

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.11.04**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3559-6580**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"**Код за ЄДРПОУ:** 02071010**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ховерко Юрій Миколайович
2. Yurii M. Khoverko

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.27.01**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-7045-2729**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Матіко Федір Дмитрович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Матіко Федір Дмитрович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Гонсьор Оксана Йосипівна

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна