

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Дениса КАТАЄВА

на тему «ПРОГРАМНО-ІНФОРМАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ»,

що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірвальні технології»

Дисертаційну роботу виконано у відділі прогнозування розвитку електроенергетичного комплексу Інституту загальної енергетики НАН України.

Наукові результати дисертації розглянуто на засіданні розширеного наукового семінару відділу прогнозування розвитку електроенергетичного комплексу Інституту загальної енергетики НАН України (протокол № 6 від 04.06.2025).

Актуальність теми дослідження

Енергетична галузь є однією з ключових сфер забезпечення стабільного функціонування сучасного суспільства. Надійність, ефективність та безпечність енергетичного обладнання, такого як турбіни, генератори, котли прямо залежать від точності виготовлення, та відповідності деталей стандартам і технічним вимогам. Відхилення геометричних параметрів може призвести до зниження продуктивності обладнання, його передчасного зношення, значних витрат на ремонт, а в критичних випадках, до аварійних ситуацій із катастрофічними наслідками для виробництва та навколишнього середовища.

У сучасних виробничих умовах координатно-вимірвальні системи дедалі частіше застосовуються не лише на етапі контролю якості, а й на етапах технологічного супроводу виготовлення, технічного обслуговування та ремонту енергетичного обладнання. Проте навіть за наявності високоточної механіки та програмного забезпечення, похибки, викликані нестабільністю умов навколишнього середовища, залишаються суттєвим джерелом невизначеності. Ці похибки, що не

піддаються класичній геометричній або кінематичній компенсації, потребують нових підходів, зокрема — інтелектуального аналізу даних. У розроблення та вирішення питань вказаної проблематики внесли вагомий вклад вітчизняні та іноземні вчені: академік НАН України В.П. Бабак, В.П. Квасніков, Д.П. Орнатський, J.A. Śladek, B.I. Neumann, Y. Cheng, H. Zhao, та інші.

Розробка засобів компенсації залишкових некінематичних похибок із використанням методів штучного інтелекту, таких як нейронні мережі, відкриває нові перспективи у забезпеченні стабільної метрологічної точності навіть за змінних зовнішніх умов. Використання сучасних інформаційно вимірювальних систем дозволяє досягти високої точності, швидкості та автоматизації процесів контролю. Однак вони мають низку обмежень, серед яких недостатня адаптація до впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів (вібрацій, термічних деформацій, інерційних ефектів).

Актуальність роботи обумовлена необхідністю усунення існуючих обмежень і полягає у розробці програмно - інформаційного комплексу з інтегрованою нейронною мережею (НМ), впровадження якого у склад інформаційно вимірювальної системи (ІВС) на базі координатно - вимірювальної руки (КВР) дозволить ефективно компенсувати вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів, що суттєво підвищить точність вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання. Таким чином, вирішення поставленої задачі має вагоме значення для підвищення надійності та ефективності енергетичного виробництва, а також забезпечення технологічної безпеки.

Мета та завдання дослідження

Мета дослідження полягає у підвищенні точності, та швидкодії процесу вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання шляхом розробки програмно - інформаційного комплексу на базі нейронної мережі. Програмно - інформаційний комплекс інтегрований у ІВС має забезпечувати компенсацію дестабілізуючих факторів, адаптацію до змін умов експлуатації та високу продуктивність у складних виробничих умовах.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- Проаналізувати існуючі методи калібрування КВР, та запропонувати рішення що об'єднує переваги відомих методів, для системного врахування основних дестабілізуючих факторів та ефективної компенсації типових кінематичних похибок.

- Розробити метод компенсації залишкових кінематичних похибок, що сприятиме підвищенню точності вимірювань КВР в різних просторових орієнтаціях.

- Запропонувати структуру програмно – інформаційного комплексу з інтегрованою нейронною мережею для подальшої інтеграції у ІВС на базі КВР.

- Дослідити та удосконалити алгоритми машинного навчання для подальшої інтеграції НМ у програмно - інформаційний комплекс.

- Розробити програмне забезпечення для побудови ШНМ, калібрування та обробки даних.

- Створити та проаналізувати тестові моделі ШНМ, та експериментально обґрунтувати вибір моделі для інтеграції у програмно - інформаційний комплекс.

Реалізація поставлених завдань дозволить створити високоточну та адаптивну систему здатну функціонувати у складних виробничих умовах, що підвищить якість виготовлення, ремонту та технічного обслуговування енергетичного обладнання.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання.

Предмет дослідження – методи, моделі та засоби підвищення точності вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання на базі нейронної мережі.

Наукова новизна отриманих результатів, що розроблені дисертантом особисто

1. Запропоновано універсальний метод калібрування, що полягає у використанні трьох калібрувальних еталонів в межах однієї процедури, що дає змогу врахувати систематичні похибки при зондуванні поверхні, оцінити здатність КВР стабільно відтворювати одну і ту ж точку в просторі та визначити параметри відтворюваності лінійного переміщення КВР.

2. Розроблено метод компенсації залишкової кінематичної похибки з використанням одноточкової моделі корекції залишкових похибок, що дало змогу зменшити кінематичну складову залишкової похибки у 4 рази.

3. Набула подальшого розвитку теорія навчання нейронних мереж, що дозволило автоматично враховувати змінні умови вимірювань та компенсувати вплив дестабілізуючих факторів, що дало змогу зменшити некінематичну складову залишкової похибки у 6 разів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота пов'язана з такими науково-дослідними роботами:

«Розвиток методів та засобів моніторингу стану довкілля об'єктів енергетики на базі бездротових сенсорних мереж» (0123U100127, 2023–2027 рр.).

Практична цінність отриманих результатів

Практичне значення одержаних у дисертаційній роботі результатів полягає в у розробці програмно – інформаційного комплексу, що дозволяє підвищити точність вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання у складних виробничих умовах. Основні аспекти практичної цінності включають:

1. Запропоновано структуру інформаційно-вимірювальної системи, яка базується на поєднанні ІВС та програмно – інформаційного комплексу з інтегрованою ШНМ для підвищення точності вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання.

2. Розроблено програмно-інформаційний комплекс з інтегрованою нейронною мережею, що дає змогу виконувати калібрування, обробку даних, навчання ШНМ та автоматизацію процесів компенсації дестабілізуючих факторів.

3. Створено 432 модифікації нейронних мереж для аналізу поточних даних процесу вимірювання геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання, що дозволило врахувати змінні умови вимірювань та компенсувати вплив дестабілізуючих факторів.

Публікації результатів дисертації

За темою дисертації опубліковано **9 наукових праць**, що розкривають основний зміст дисертації, з них **6 наукових праць** у фахових іноземних виданнях та виданнях України, **3 публікації** у збірниках матеріалів конференцій.

1. Квасніков В. П., Катаєв Д. А. Методи підвищення точності вимірювань за допомогою координатно вимірювальної руки. Центральнoукраїнський науковий вісник. ЦНТУ, 2022. – Вип. 6(37). – Ч. 1. – С. 52-60. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.52-60](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.52-60) (фахове видання).

2. Квасніков В. П., Катаєв Д. А., Квашук Д.М. Методи підвищення надійності вимірювань за допомогою координатно – вимірювальної руки в режимі реального часу. Проблеми інформатизації та управління 4(72) 2023 <https://doi.org/10.18372/2073-4751.72.17459> (фахове видання).

3. Катаєв Д. А., Квашук Д.М. Думбрава С.М. Точність вимірювання механічних величин з використанням теорії нечітких множин. Проблеми інформатизації та управління 1(73) 2023 <https://doi.org/10.18372/2073-4751.73.17638> (фахове видання).

4. Zaporozhets A., Kataiev D. (2024) Method of Compensating for Instrumental Uncertainty in Measurements Using a Coordinate Measuring Arm. System Research in Energy <https://doi.org/10.15407/srenergy2024.01.045>.

5 Shkvarnytska T., Yehorov S., Kataiev D., Kataieva M., Molchanova K. Synthesis of analog matched filters for signals of different durations. Science and technology today" – 2024. – Issue №4(32) – P.858-870. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-4\(32\)-858-870%20](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-4(32)-858-870%20).

6. Janusz Kacprzyk J., Zaporozhets A., Kataiev D. Development of an artificial neural network for information and measurement system for controlling the geometric dimensions of power equipment. System Research in Energy <https://doi.org/10.15407/srenergy2025.01.074>.

7. Катаєв Д. А. Удосконалення методів підвищення точності позиціонування координатно-вимірювальної руки. "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY - Safety in aviation and space technology" (Київ, 28–30 вересня 2022 р.) <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/schedConf/presentations>.

8. Катаєв Д. А. Аналіз методів підвищення точності вимірювального сигналу координатно-вимірювальної руки. АВІА-2023 18-20 квітня 2023 р. Київ.

9. Катаєв Д. А. Застосування нейромереж для підвищення точності координатно - вимірювальної руки. Інтегровані інтелектуальні робото технічні комплекси: шістнадцята

міжнародна науково – практична конференція, 23 – 24 травня 2023 р.: тез доп . – К., 2023. – С. 123 - 126

Особистий внесок здобувача

Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням. Автором отримано основні положення, які винесено на захист дисертації. Обґрунтовано застосування програмно – інформаційного комплексу з ШНМ інтеграція якого до складу ІВС дає змогу підвищити точність вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання; розроблено архітектуру ШНМ для аналізу та компенсації похибок, яка враховує вплив дестабілізуючих факторів; розроблено програмне забезпечення для побудови ШНМ; проведено експериментальне дослідження розробленої ШНМ, що підтвердило ефективність запропонованих методів у зменшенні невизначеності вимірювань.

У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачем особисто зроблено наступне: [1] – запропоновано алгоритми оцінки точності проведення дистанційних вимірювань деталей із складною геометричною формою; [2] – визначено вплив електромагнітних перешкод на точність КВР шляхом моделювання обертальних зусиль; [3] – проаналізовано принцип роботи КВР та її компонентів, запропоновано методи калібрування КВР, з метою забезпечення її високої точності та надійності; [4] – проаналізовано вплив динамічних факторів у різних конфігураціях вимірювання на точність вимірювання координатної вимірювальної руки. Запропоновано метод коригування залишкової невизначеності на основі поліноміальної моделі для одноточкових вимірювань; [5] – розглянути зв'язок між параметрами сигналу і параметрами фільтра для забезпечення мінімальної кількості елементів фільтра та стабільності його характеристик; [6] – розглянуто процес розробки нейронної мережі для компенсації некінематичних похибок інформаційно-вимірювальної системи на базі координатно-вимірювальної руки.

Апробація результатів дисертації

Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на:

- Tenth World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies”, (м. Київ, 2022 р.);

- XVI Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА-2023», (м. Київ, 2022 р.);

- XVI Міжнародна науково-практична конференція «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК-2023)» (м. Київ, 2023 р.);;

Відповідність принципам академічної доброчесності

Дисертаційна робота містить результати власних досліджень автора. Використання ідей, наукових результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У результаті обговорення презентації дисертаційної роботи Дениса КАТАЄВА «Програмно-інформаційний комплекс для підвищення точності вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання на базі нейронної мережі» вважаємо, що:

1. Дисертаційна робота Дениса КАТАЄВА є кваліфікаційною науковою працею, виконаною ним особисто, у якій розв'язано наукове завдання з розробки та вдосконалення методів та засобів вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання, що дозволять підвищити точність вимірювань за наявності дестабілізуючих факторів, шляхом інтеграції нейронної мережі. Основні положення та результати дослідження, викладені в тексті дисертації, отримано автором самостійно.

2. Дисертація Дениса КАТАЄВА має наукову новизну, теоретичне та практичне значення і повністю відповідає вимогам пп. 5–7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44. Фактів академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації у дисертації та наукових публікаціях, в яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

3. Денисом КАТАЄВИМ за темою дисертації опубліковано 6 наукових праць, які розкривають основні наукові результати дисертації і відображають їх наукову новизну та відповідають вимогам п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора

філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, та 3 наукові праці, які засвідчують апробацію результатів дисертації.

4. Рекомендувати дисертаційну роботу Дениса КАТАЄВА «Програмно-інформаційний комплекс для підвищення точності вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання на базі нейронної мережі» до захисту з метою присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології».

Голова засідання розширеного семінару

відділу прогнозування розвитку

електроенергетичного комплексу

Директор Інституту загальної

енергетики НАН України:

академік НАН України



Віталій БАБАК