

ВІДГУК

офіційного опонента Петра РАЙТЕРА

на дисертаційну роботу Дениса КАТАЄВА

«Software and information complex for improving the accuracy of measurements of geometric parameters of power equipment parts based on a neural network» («Програмно-інформаційний комплекс для підвищення точності вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання на базі нейронної мережі»),
що представлена на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

1. Актуальність теми дисертації

Енергетичний сектор є одним із ключових складових забезпечення стабільного функціонування сучасного суспільства. Надійність, ефективність та безпека роботи енергетичного обладнання, такого як турбіни, генератори, котли, компресори, помпи безпосередньо залежать від точності виготовлення та відповідності деталей стандартам і технічним вимогам. Відхилення у геометричних параметрах можуть призвести до зниження продуктивності обладнання, передчасного зносу, значних витрат на ремонт, а в критичних випадках – до аварій із катастрофічними наслідками для виробництва та довкілля.

Застосування сучасних інформаційно-вимірювальних систем дозволяє досягти високої точності, швидкості й автоматизації процесів контролю. Проте такі системи мають низку обмежень, серед яких – недостатня адаптивність до впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів (вібрації, температурні деформації, інерційні ефекти).

Актуальність виконаної роботи зумовлена необхідністю усунення цих обмежень і полягає у створенні програмно-інформаційного комплексу з інтегрованими алгоритмами опрацювання даних на основі штучних нейронних

мереж, впровадження якого у систему вимірювань на базі координатно-вимірювальної руки дозволяє ефективно компенсувати вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів і суттєво підвищити точність вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами

Дисертаційні дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, виконувались за одним з напрямків науково-дослідної роботи «Розвиток методів та засобів моніторингу стану докільця об'єктів енергетики на базі бездротових сенсорних мереж» (0123U100127, 2023–2027 рр.).

3. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації Дениса КАТАЄВА ґрунтується на виконаному порівняльному аналізі літературних джерел, які включають 138 найменувань стосовно теми дисертації, математичній і логічній строгості побудови моделей та підходів, правильності постановки та розв'язання наукових задач, використанні перевірених на практиці методів аналізу ризиків складних систем і методів багатокритеріального прийняття рішень.

Висновки та результати підтверджені комп'ютерним моделюванням і свідчать про високу ефективність запропонованих методів і засобів. Їх наукова значущість підтверджена апробацією на науково-технічних конференціях і семінарах.

Високий рівень отриманих результатів підтверджується їх впровадженням у практику контролю вимірювань геометричних параметрів деталей на підприємствах ТОВ «ЕКО ЛЮКС» та ТОВ «АВА ТЕК».

Таким чином, у дисертації сформульовано й успішно розв'язано наукову задачу – розроблено програмно-інформаційний комплекс на основі нейронної мережі, який дозволяє підвищити точність вимірювання геометричних параметрів енергетичного обладнання.

4. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертація Дениса КАТАЄВА повністю відповідає стандарту вищої освіти за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» та напрямам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Інформаційно-вимірювальні технології в енергетиці».

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям підвищення ефективності режимів роботи розподільчих мереж.

За результатами знайомлення із результатами перевірки на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертація Дениса КАТАЄВА є результатом самостійного дослідження здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи запозичень. Використані ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

5. Оцінка мови, структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертація написана англійською мовою, виклад матеріалу відповідає сучасним стандартам наукової комунікації, характеризується ясністю, аргументованістю, логічною структурою та послідовністю. Автор вільно володіє спеціалізованою термінологією у галузі інформаційно-вимірювальних технологій, що свідчить про глибоке знання предметної області. Текст дисертації практично не містить суттєвих стилістичних чи орфографічних помилок, що підтверджує ретельну редакційну підготовку матеріалу.

Робота має класичну наукову структуру та складається зі вступу, п'яти розгорнутих розділів, загальних висновків, списку літератури (138 найменувань) та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 149 сторінок, містить 53 рисунки та 16 таблиць, які наочно ілюструють поданий матеріал.

В третьому розділі описано розробку програмно-інформаційного комплексу, що інтегрує алгоритми опрацювання даних на базі штучної нейронної мережі в інформаційно-вимірювальну систему. Автором обґрунтовано вибір архітектури нейронної мережі, наведено критерії оптимізації параметрів нейромережі (кількість шарів, кількість нейронів, вибір функцій активації). Вказано програмні засоби, використані для реалізації комплексу (мова Python, бібліотеки PyTorch, NumPy, SciPy, Matplotlib), що відповідають сучасним тенденціям розвитку інформаційних технологій. Подано структурну схему інтегрованого комплексу, яка дозволяє чітко зрозуміти логіку взаємодії окремих компонентів системи.

Четвертий розділ детально охоплює методику підготовки наборів даних для навчання нейронної мережі. Автором розроблено методи синтетичного моделювання впливу дестабілізуючих факторів, а також описано методи нормалізації даних та алгоритми їх розподілу для забезпечення ефективного навчання нейронної мережі. Обрані автором підходи мають чітке наукове обґрунтування та підтверджуються числовими розрахунками.

П'ятий розділ роботи відображає експериментальну складову досліджень, у ньому автор подає результати експериментального дослідження розробленого програмно-інформаційного комплексу з інтегрованою нейронною мережею. Проведено ґрунтовний аналіз впливу вибору функцій активації та параметрів навчання на точність роботи нейронної мережі. Експериментальні результати демонструють суттєве підвищення точності вимірювань та підтверджують ефективність запропонованих підходів до компенсації некінематичних похибок.

Загальні висновки логічно узагальнюють результати, отримані в ході дослідження, чітко формулюють наукову новизну роботи, яка була підтверджена експериментально. Практична цінність роботи обґрунтовується успішним впровадженням результатів на підприємствах, що підтверджується відповідними актами впровадження. Додатки до роботи містять важливі відомості щодо параметрів моделей, алгоритмів та структури розробленого програмного

комплексу, що дозволяє переконливо підтвердити повноту й достовірність поданих результатів.

Загальна оцінка роботи

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому отримані результати що мають суттєву наукову новизну та практичне значення. Робота виконана на високому методологічному, теоретичному та експериментальному рівні, відповідає сучасним стандартам і вимогам до дисертаційних досліджень. Вважаю, що автор заслуговує на присудження наукового ступеня за результатами представленої дисертаційної роботи.

6. Наукове значення та практична цінність

У дисертаційній роботі вперше отримано наступні наукові результати, які визначають її новизну:

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 координатно-вимірювальної руки стабільно відтворювати одну і ту ж точку в просторі та визначити параметри відтворюваності лінійного переміщення координатно-вимірювальної руки.

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 для синтезованих тестових наборів даних.

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-виміральної системи, яка базується на поєднанні інформаційно-виміральної системи та програмно – інформаційного комплексу з інтегрованою нейронною мережею 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 нейронної мережі 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.

7. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації Дениса КАТАЄВА висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у міжнародному виданні; 1 патент на корисну модель. Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на плагіат згідно умов видавництва. Особистий внесок здобувача до представлених наукових публікацій є вагомим. Публікації охоплюють всі результати дисертаційного дослідження. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Загалом дисертаційна робота має високий науково-технічний рівень, проте під час її аналізу було виявлено кілька зауважень і рекомендацій, які варто врахувати для покращення якості роботи:

- У вступі (с. 10–13) автором наведено інформацію щодо практичної значущості отриманих результатів, проте не зазначено конкретних кількісних показників економічної чи виробничої ефективності впровадження розробленого комплексу на підприємствах, що могло б суттєво посилити обґрунтування практичної цінності дослідження.

- У першому розділі (с. 15–27) роботи викладено аналіз сучасних підходів до компенсації похибок, однак доцільним був би і детальний порівняльний аналіз переваг і недоліків цих методів, що дало б можливість автору краще обґрунтувати вибір підходу на основі алгоритмів штучних нейронних мереж.

- У другому розділі дисертаційної роботи (с. 28–35), в якому описано побудову кінематичної моделі координатно-вимірювальної руки із використанням параметрів Денавіта–Хартенберга, доцільно б було більше уваги приділити аналізу чутливості моделі до зміни початкових параметрів, що має ключове значення для оцінки стабільності та надійності результатів вимірювань у реальних умовах експлуатації.

- У третьому розділі (с. 64–78) описано процес створення нейромережевої моделі, однак недостатньо уваги приділено обґрунтуванню вибору методу оптимізації та стратегії зупинки процесу навчання нейронної мережі (валідації), що є важливим для забезпечення ефективності та відтворюваності результатів. неойронної мережі простий та загальноприйнятий механізм навчання на основі алгоритму зворотного поширення похибки

- У третьому розділі (ст.75) автором обґрунтовується вибір виду нейромережі зі зворотнім поширенням похибки як базової для пропонованої ІВС.

Якщо з першим твердженням, що «нейромережа зі зворотнім поширенням похибки передбачає простий та загальноприйнятий механізм навчання» можна погодитись, то друге і третє обґрунтування застосування – «нейромережа не вимагає надмірних обчислювальних ресурсів» і «у разі набуття нових даних в умовах експлуатації, нейромережу зі зворотнім поширенням похибки можна ефективно донавчати» - є спірними оскільки вона реалізується програмно в сучасних цифрових сигнальних процесорах або багатоядерних ARM мікроконтролерах які дають достатні обчислювальні спроможності для такого типу задач і на інших видах штучних нейронних мереж.

- У четвертому розділі (с. 95–102) автором запропоновано алгоритми генерації синтетичних наборів даних, але не розглянуто вплив рівня та типу шуму на якість навчання нейронної мережі. Аналіз такого впливу суттєво підвищив би прикладну цінність отриманих результатів.

- У дисертації недостатньо уваги приділено аналізу потенційних ризиків і обмежень застосування розробленого програмно-інформаційного комплексу в умовах значних змін навколишнього середовища (наприклад, екстремальні температурні коливання, вібрації тощо), що могло б суттєво підвищити практичну надійність запропонованих рішень.

- у третьому пункті наукової новизни і у висновках роботи додати викласти закінчення фрази у наступному формулюванні «...дало змогу зменшити некінематичну складову залишкової похибки у 6 разів для синтезованих тестових наборів даних». Доповнення «для синтезованих тестових наборів даних» є суттєвим оскільки автором реалізувалось імітаційне моделювання, а не реалізувався фізичний експеримент для підтвердження зменшення величини залишкової похибки.

Вважаю, що зазначені вище зауваження не є критичними і не зменшують загальну позитивну оцінку дисертації, її наукову новизну та практичну

значущість, але їх врахування дозволить підвищити якість та цінність подальших досліджень.

9. Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Дениса КАТАЄВА на тему «Software and information complex for improving the accuracy of measurements of geometric parameters of power equipment parts based on a neural network» («Програмно-інформаційний комплекс для підвищення точності вимірювань геометричних параметрів деталей енергетичного обладнання на базі нейронної мережі») виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «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 р. № 44.

Здобувач Денис КАТАЄВ заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології».

Офіційний опонент:

Професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту ІФНТУНГ, доктор технічних наук



Петро РАЙТЕР

«08» вересня 2025 року

В.Хомин
2025 р.