

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Землянухіної Ганни Юріївни  
на тему «Бездавачеве керування електромеханічними системами  
турбомеханізмів з використанням технології нейромереж»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 – Електрична інженерія  
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### **Актуальність теми дисертації.**

Забезпечення точного та ефективного контролю координат технологічних об'єктів важливо в електромеханічних системах автоматичного керування, особливо в турбомеханізмах. Встановлення традиційних датчиків для вимірювання параметрів може бути дорогим і технічно складним завданням. Один із сучасних та перспективних методів вирішення цієї проблеми - використання штучних нейронних мереж, які можуть навчатися на основі великої кількості вхідних даних.

З іншого боку стандартні системи генерації електроенергії можуть варіюватися за типом, але вони всі включають загальні елементи, такі як джерела енергії, конвертори енергії, електрогенератори, системи керування та розподілу електроенергії. Один зі сучасних засобів генерації електроенергії - вітрогенератори, які використовують асинхронні генератори із самозбудженням (АГ), часто стикаються із проблемою стабілізації напруги, щоб уникнути можливого відключення генератора під великими навантаженнями. Розв'язанням цієї задачі може бути використання електронного регулятора навантаження (ЕРН), який дозволяє використовувати надлишкову енергію для потреб систем водопостачання, таких як полив, закачування води тощо.

Таким чином, дисертаційна робота Г. Ю. Землянухіної присвячена розгляду застосування штучних нейронних мереж у системах керування турбомеханізмами з метою точного та ефективного моніторингу та управління цими системами, що призводить до зменшення витрат на встановлення та обслуговування традиційних датчиків.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:



1) Розроблено новий метод керування технологічними координатами турбомеханізмів з використанням технологій штучних нейронних мереж, який вперше дозволяє побудувати електромеханічну систему автоматичного керування напором або продуктивністю з використанням значень тільки доступних для вимірювання електричних координат.

2) Вперше обґрунтовано структуру модифікованого оцінювача технологічних координат турбомеханізмів, який на відміну від побудованих за класичною схемою перцептронів із стандартними алгоритмами навчання, має вбудовані зворотні зв'язки за оціненою технологічною координатою, що дозволяє підвищити точність та швидкодію процесу оцінювання.

3) Встановлено і підтверджено нові властивості електромеханічної системи автоматичного керування турбомеханізмами, які дозволяють здійснювати керування необхідними технологічними координатами без їх безпосереднього вимірювання в умовах невідомих варіацій параметрів гідромережі та при зміні структури самої гідросистеми.

Результати роботи впроваджено в ДП «Сіменс Україна» (м. Київ) та в освітній процес на кафедрі автоматизації електромеханічних систем та електроприводу КПП ім. Ігоря Сікорського.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі автоматизації електромеханічних систем та електроприводу КПП ім. Ігоря Сікорського. Частина досліджень виконувалася в рамках міжвузівського співробітництва з Університетом Уорика (Ковентрі, Великобританія) та Університетом прикладних наук Гессена (ТНМ) (Фрідберг, Німеччина) під керівництвом доцента кандидата технічних наук Бур'яна Сергія Олександровича.

Частина досліджень виконувалася протягом 2019-2023 років в рамках 4-х місячного стажування в Університеті Уорика (Ковентрі, Великобританія) та 6-и місячного стажування в Університеті прикладних наук Гессена (ТНМ) (Фрідберг, Німеччина).

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання підвищення ефективності роботи турбомеханізмів, використовуючи принципи теорії штучних нейронних мереж та інтегруючи в систему оцінювачі технологічних координат. Завдання повністю виконано, і здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Землянхуїної Г.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та напрямкам



досліджень відповідно до освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям електричної інженерії.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Землянухіної Ганни Юріївни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Викладення матеріалу в роботі характеризується логічною послідовністю, об'єктивністю, аргументованістю висновків. Текст роботи написано науковим стилем мовлення з використанням загальноприйнятої термінології в області електричної інженерії.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 115 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 155 сторінок, у тому числі 134 сторінок основного тексту, 66 рисунків і 15 таблиць.

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність роботи, відзначено зв'язок з науковими програмами та планами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію отриманих результатів і публікації.

У першому розділі проведено аналіз сучасних енергоефективних систем керування турбомеханізмами, що живляться від альтернативних джерел енергії, а також бездавачевих систем керування. Внаслідок аналізу виявлено, що використання традиційних датчиків технологічних координат значно ускладнює обслуговування та збільшує вартість таких систем, зокрема, в системах керування насосами, вентиляторами та компресорами. У зв'язку з цим, питання використання бездавачевих систем керування, зокрема на базі штучних нейронних мереж, вважається перспективною. Здатність цих мереж до навчання робить їх ефективним інструментом для оцінювання координат турбомеханізмів. Також у розділі детально розглянуті типові автономні системи генерації електричної енергії, зокрема використання асинхронних і синхронних двигунів, а також машин подвійного живлення. Особливу увагу приділено вітроустановкам, які використовують асинхронні генератори.



У другому розділі виконано розробку та докладний опис тренування оцінювачів технологічних координат, ґрунтуючись на теорії штучних нейронних мереж. Досліджено класичні структури мереж та використано стандартні алгоритми навчання, а також вивчено модифіковану структуру нейронних мереж із зворотнім зв'язком, що дозволяє підвищити точність оцінювання при змінах опору гідравлічної мережі. Подається математичний опис нейронних мереж, який в подальшому дозволяє реалізувати розроблені нейронні мережі, використовуючи контролери, такі як програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) та інші. Розглядається покроково алгоритм навчання нейронних мереж з класичною та модифікованою схемою за допомогою інструментів MATLAB nntool та ntstool відповідно.

У третьому розділі надано математичний опис та розглянуто основні компоненти двох варіантів електромеханічної системи керування турбомеханізмом, яка живиться від вітрогенератора з використанням електронного регулятора навантаження (ERN) та статичного компенсатора (STATCOM). Проведено дослідження системи водопостачання при живленні від вітрогенератора із використанням статичного компенсатора в умовах стабілізації тиску гідромережі. Математичне моделювання здійснено за допомогою пакетів прикладних програм MATLAB Simulink та SimPowerSystems. Додатково, використовуючи теорію штучних нейронних мереж, проведено дослідження коефіцієнта корисної дії (ККД) насосу системи протягом типового добового циклу споживання води. Для цього був створений оцінювач ККД, який тренувався на основі статичних характеристик насосу, доступних у каталогах відповідних виробників.

У четвертому розділі досліджено різні способи впровадження систем стабілізації напруги для асинхронних генераторів, із використанням електронного регулятора навантаження та статичного компенсатора. Встановлено, що використання електронного регулятора у автономній системі генерації електроенергії дозволяє розподілити втрати енергії, що виникають при живленні основних активних споживачів, для задоволення потреб споживачів системи водопостачання. Детально розглянуто дослідження системи керування турбомеханізмом з використанням оцінювача тиску із класичними структурами мереж та стандартними алгоритмами навчання. Також досліджено модифікований оцінювач тиску із зворотнім зв'язком. Дослідження перехідних процесів систем проведені за допомогою математичного моделювання в умовах стабілізації тиску.

У п'ятому розділі описано експериментальний стенд для вивчення бездавачевої системи керування вентилятором та системи водопостачання, що використовують оцінювачі ККД та продуктивності. Дослідження підтвердили ефективність розробленого алгоритму управління та оцінювачів, побудованих



на основі теорії штучних нейронних мереж. Отримані результати вказують на можливість застосування цих систем для заміни традиційних датчиків, що є конкурентоспроможним і перспективним рішенням в техніко-економічному відношенні.

Результати роботи впроваджено: в ДП «Сіменс Україна» (м. Київ) та в освітній процес у Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського для вдосконалення лекційних курсів та оновлення циклів лабораторних робіт дисциплін «Електромеханічні системи типових технологічних застосувань» та «Керування та автоматизація технічних систем». Подальше впровадження результатів дисертації рекомендується на підприємствах електротехнічного профілю України.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 3 статей у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача оформлені та викладені на високому рівні, основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто, порушення принципів академічної доброчесності не виявлено. Особистий внесок здобувача у всіх публікаціях, опублікованих у співавторстві, наведений у вступі дисертації.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1) Формулювання наукового завдання та мети дисертаційної роботи не в повній мірі співпадають між собою.

2) У роботі зроблено акцент, що досліджувані системи водопостачання застосовуються у автономних будинках. Як буде поводити себе така система в промислових цілях, коли графік споживання води зміниться?

3) У аналітичному огляді зазначено існування рішення, такого як інтелектуальні насоси. Чому для дослідження не обрано їх, а обрано систему відцентровий насос у поєднанні з ПЛІС?



4) При моделюванні та експериментальних досліджень чи враховуються процеси кавітації у гідромережі?

5) У висновках дисертації недостатньо чітко відображено результати вирішення кожної з задач дослідження.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

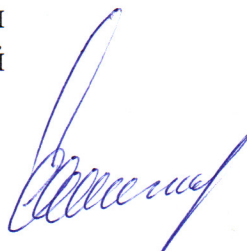
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Землянухіної Ганни Юріївни на тему «Бездавачеве керування електромеханічними системами турбомеханізмів з використанням технології нейромереж» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Електрична інженерія». 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 Землянухіна Ганна Юріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

### **Рецензент:**

професор кафедри автоматизації  
електротехнічних та мехатронних  
комплексів Національного  
технічного університету України  
«Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського,

д.т.н., проф.



« 02 » 02 20 24 року

