

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000179

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 08-01-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС/32/24 від 26.03.2024



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Землянухіна Ганна Юріївна

2. Hanna Zemlianukhina

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9653-8416

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 141

Назва наукової спеціальності: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Галузь / галузі знань: електрична інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Дата захисту: 05-03-2024

Спеціальність за освітою: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Місце роботи здобувача: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, 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): ДФ 26.002.97; ID 4182

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, 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 технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 45.41, 70.19.20

Тема дисертації:

1. Бездавачеве керування електромеханічними системами турбомеханізмів з використанням технології нейромереж
2. Sensorless control of electromechanical systems of turbomechanisms using neural network technology

Реферат:

1. У дисертаційній роботі вирішується задача підвищення ефективності роботи турбомеханізмів за рахунок розробки бездавачевої електромеханічної системи автоматичного керування з оцінювачами технологічних координат на основі штучних нейронних мереж в умовах зміни параметрів гідромережі. У першому розділі проведено аналіз існуючих сучасних енергоефективних систем керування турбомеханізмами, що живляться від альтернативних джерел енергії, та систем бездавачевого керування з метою обґрунтування необхідності вирішення розглянутої у роботі науково-прикладної задачі. За результатами аналітичного огляду встановлено, що використання датчиків технологічних координат значно збільшує вартість та ускладнює процес обслуговування таких систем керування турбомеханізмами, зокрема насосами, вентиляторами та

компресорами. У другому розділі проведено розробка та опис тренування оцінювачів технологічних координат на основі теорії штучних мереж із класичними структурами мереж та стандартними алгоритмами їх навчання, а також при використанні модифікованої структури нейронних мереж із зворотнім зв'язком, що дозволяє підвищити точність оцінювання при варіаціях опору гідравлічної мережі. Наведені результати тренування оцінювачів технологічних координат, а саме оцінювача тиску та продуктивності, показують, що точність такого оцінювача становить 10%. У третьому розділі наведено математичний опис та опис основних елементів двох варіантів електромеханічної системи керування турбомеханізмом при живленні від вітрогенератора з використанням електронного регулятора навантаження (ЕРН) та статичного компенсатора (STATCOM). Результати вказують на те, що розроблена система забезпечує стабілізацію напору в гідравлічній мережі на задовільному рівні при змінах опору відповідно до технологічних вимог. Динамічна похибка в регулюванні напору системи не перевищує 1%. У четвертому розділі розглянуто різні типи реалізації системи стабілізації напруги асинхронних генераторів, такі як електронний регулятор навантаження (ЕРН) та статичний компенсатор (STATCOM). Як наслідок встановлено, що використання електронного ЕРН в автономній системі генерації електричної енергії дозволяє втрати енергії, що утворюються при живленні основних активних споживачів, перерозподіляти для задоволення потреб споживачів системи водопостачання. Порівнюючи оцінені значення тиску, які отримані від системи бездатчикового керування турбомеханізмом при живленні від вітрогенератора із використанням електронного регулятора навантаження, і фактичний тиск, що може бути виміряний за допомогою датчика тиску, встановлено, що похибка оцінки тиску знаходиться в межах від 0% до 14%. Похибка в оцінці тиску в бездатчиковій системі керування турбомеханізмом із використанням статичного компенсатора знаходиться в діапазоні від 0% до 8%, що відповідає технологічним вимогам і є прийнятним для вимірювання координат мережі за допомогою контрольно-вимірювальних приладів. У п'ятому розділі наведено опис експериментального стенду для дослідження бездавачевої системи керування вентилятором, умови проведення експерименту та результати проведення експериментальних досліджень. Підтверджено ефективність розробленого оцінювача ККД насосної установки, розбіжність між експериментальними та модельними даними не перевищує 15% на напорах до 7 метрів і 5% від 7 до 20 метрів, що вважається прийнятним для використаного обсягу даних і характеристик вхідних сигналів нейронної мережі. У рамках дослідження здійснено техніко-економічне обґрунтування застосування програмованих логічних інтегральних схем у порівнянні з традиційними датчиками тиску та продуктивності в системах водопостачання. 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». Ключові слова: електромеханічна система, турбомеханізм, асинхронний двигун, асинхронний генератор, вітрогенератор, система водопостачання, бездавачеве керування, стабілізація напору, штучна нейронна мережа, оцінювання технологічної координати, гідравлічний опір мережі, альтернативне джерело енергії, коефіцієнт корисної дії.

2. The thesis is devoted to the problem of increasing the efficiency of turbomechanisms operation by developing a sensorless electromechanical automatic control system with technological coordinates observers based on artificial neural networks in the conditions of hydraulic network parameters changing. The first chapter provides an analysis of existing modern energy-efficient turbomechanisms control systems powered by alternative energy sources and sensorless control systems. The aim is to justify the need to address the scientific and applied problem considered in this work. According to the results of the analytical review, it is established that the use of technological coordinate sensors significantly increases the cost and complicates the maintenance process of such control systems for turbomechanisms, including pumps, fans, and compressors. In the second chapter, the development and training of technological coordinate observers based on artificial neural network theory with classical network structures and standard training algorithms are described. Additionally, a modified neural network structure with feedback is utilized to enhance the accuracy of estimation during variations in hydraulic network resistance. The results of training the technological parameter observers, such as a pressure and

productivity observers, demonstrate that the accuracy of such an estimator is 10%. In the third chapter, a mathematical description and an overview of the main elements of two variants of the turbomechanism electromechanical control system powered by a wind generator are provided. The systems incorporate an electronic load regulator (ELR) and a static compensator (STATCOM). The results indicate that the developed system ensures pressure stabilization within the hydraulic network at a satisfactory level, accommodating variations in resistance according to technological requirements. The dynamic error in the pressure regulation of the system does not exceed 1%. In the fourth chapter, various implementations of voltage stabilization systems for induction generators are considered, such as the electronic load regulator (ELR) and the static compensator (STATCOM). As a result, it is established that the use of the ELR in an autonomous power generation system allows redistributing the energy losses generated when supplying power to the main active consumers to meet the needs of the water supply system consumers. Comparing the observed pressure values obtained from the turbomechanism sensorless control system powered by a wind generator using an electronic load regulator and the actual pressure that can be measured using a pressure sensor, it is found that the pressure estimation error is within the range of 0% to 14%. The error in pressure estimation in the turbomechanism sensorless control system using a static compensator is in the range of 0% to 8%, which corresponds to technological requirements and is acceptable for measuring network parameters using control and measurement instruments. In the fifth chapter, a description of the experimental setup for investigating the sensorless fan control system, experimental conditions, and the results of experimental studies are provided. The efficiency of the developed estimator of the pump unit efficiency is confirmed, and the discrepancy between experimental and model data does not exceed 15% for head values up to 7 meters and 5% from 7 to 20 meters, which is considered acceptable for the used dataset and characteristics of neural network input signals. Within the scope of the research, a feasibility study for the application of FPGA compared to traditional pressure and productivity sensors in water supply systems has been conducted. The results of the research have been implemented at Siemens Ukraine (Kyiv) and integrated into the educational process at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute to enhance lecture courses and update laboratory work cycles for the disciplines "Electromechanical Systems of Typical Technological Applications" and "Control and Automation of Technical Systems" Keywords: electromechanical system, turbomechanism, induction motor, wind generator, water supply system, sensorless control, pressure stabilization, artificial neural network, technological coordinate observation, hydraulic network resistance, alternative energy source, efficiency.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Енергетика та енергоефективність

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- S.O. Burian, O.I. Kiselychnyk, M.V. Pushkar, V.S. Reshetnik, H.Y. Zemlianukhina, "Energy-efficient control of pump units based on neural-network parameter observer." *Technical Electrodynamics*, №1, 2020, Kyiv pp. 71-77. DOI: 10.15407/techned2020.01.071.
- M.V. Pechenik, S.O. Burian, M.V. Pushkar, H.Y. Zemlianukhina, "Electromechanical system of turbomechanism when using an alternative source of electric energy." *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, №2, 2022, Dnipro, pp. 61-66. DOI: 10.33271/nvngu/2022-2/061.
- M.V. Pechenik, S.O. Burian, H.Y. Zemlianukhina, M.V. Pushkar, V.I. Teriaiev, "Investigation of energy efficiency of water supply system when powered by an alternative energy source." *Tekhnichna Elektrodynamika*, №5, 2022, Kyiv, pp. 77-81. DOI: 10.15407/techned2022.05.077.

- С.О. Бур'ян, М.В. Печеник, Г.Ю. Землянухіна, "Розробка та дослідження оцінювача ККД насоса за допомогою нейронної мережі на базі програмованої логічної інтегральної схеми." Вісник Вінницького політехнічного інституту, №2, 2018, Вінниця с. 68-73.
- С.О. Бур'ян, А.С. Титаренко, Г.Ю. Землянухіна, "Оцінювач коефіцієнта корисної дії насосної установки на основі нейронної мережі: експериментальні дослідження." Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, №195, 2018, Харків, с. 132-133.
- С.О. Бур'ян, М.В. Печеник, Г.Ю. Землянухіна, А.І. Бабарова "Дослідження роботи електромеханічної системи автоматизації послідовно з'єднаних насосних установок в пакеті SIMHYDRAULICS." Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, №204, 2019, Харків, с. 84-86.
- S.O. Burian, H.Y. Zemlianukhina, "Neural Network Pressure Observer for a Turbomechanism Electromechanical System Powered by a Wind Generator." Applied Aspects of Information Technology, № 5(4), 2022, Odessa, pp. 303-314. DOI: 10.15276/ahait.05.2022.20.
- M.V. Pechenik, S.O. Burian, M.V. Pushkar, H.Y. Zemlianukhina, "Analysis of the Energy Efficiency of Pressure Stabilization Cascade Pump System," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019, pp. 490-493. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896588.
- M.V. Pechenik, S.O. Burian, H.Y. Zemlianukhina, M.V. Pushkar, "Investigation of the Hydraulic Pressure Stabilization Accuracy in the Conditions of Water Supply Cascade Pump System Operation," IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 97-100. DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160340.
- M.V. Pushkar, N.D. Krasnoshapka, M.V. Pechenik, S.O. Burian, H.Y. Zemlianukhina, "Approximation of Magnetizing Inductance Curve of Self-excited Induction Generator for Investigation of Steady-state Operation Modes," IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 301-305. DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160143.

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: економія матеріалів; зменшення зносу обладнання; підвищення автоматизації виробничих процесів

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. Бур'ян Сергій Олександрович
2. Serhii Burian

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.09.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4947-0201

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=FvnoRbcAAAAJ>;
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/2374058>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200141319>

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, 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. Коренькова Тетяна Валеріївна

2. Tetyana V. Korenkova

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.09.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8251-3111

Додаткова інформація: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36651162000>;

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/2511042>;

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=SAQHD0cAAAAJ&hl=uk&oi=ao>;

<https://ieeexplore.ieee.org/author/37586829300>

Повне найменування юридичної особи: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Код за ЄДРПОУ: 05385631

Місцезнаходження: вул. Першотравнева, буд. 20, Кременчук, Кременчуцький р-н., 39600, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Титюк Валерій Костянтинович

2. Valerii K. Tytiuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.09.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1077-3288

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com/citations?user=8wRwsDIAAAAJ&hl=ru&oi=sra>;

<https://ieeexplore.ieee.org/author/37086279589>;

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200150859>

Повне найменування юридичної особи: Криворізький національний університет

Код за ЄДРПОУ: 37664469

Місцезнаходження: ул. Віталія Матусевича, буд. 11, Кривий Ріг, Криворізький р-н., 50027, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Головка Володимир Михайлович

2. Volodimir Holovko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.09.16

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0195-9654

Додаткова інформація: <https://scholar.google.ru/citations?user=eu6PtGcAAAAJ>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58000781900&origin=recordPage>

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шевчук Степан Прокопович

2. Stepan Shevchuk

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.05.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7517-0501

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=GpPwZkQAAAAJ>;
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004183922>;
<https://www.webofscience.com/wos/author/record/510565>; <https://ieeexplore.ieee.org/author/37086333319>

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

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

Ковбаса Сергій Миколайович

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

Ковбаса Сергій Миколайович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Землянухіна Ганна Юріївна

Реєстратор

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна