Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U001684

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 26-04-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: № НСВС_62_24 від 23.07.2024

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Матушкін Дмитро Сергійович
2. Dmytro Matushkin

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4431-7862

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: 27-06-2024

Спеціальність за освітою: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 26.002.153; ID 5478

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: 44.29.01, 44.09.37, 44.09.39

Тема дисертації:

1. Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі
2. Short-Term Photovoltaic Power Plant Generation Forecasting for the Purpose of Mitigating Imbalances in the Electric Power System

Реферат:

1. У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача, спрямована на підвищення балансової надійності електроенергетичної системи в контексті широкого застосування відновлюваних джерел енергії. Основу цієї роботи складало покращення точності короткострокового прогнозування генерації фотоелектричних станцій (ФЕС). В першому розділі дослідження розглянуто ключовий аспект української енергетики, а саме потенціал сонячної енергії, який відіграє важливу роль у відновлюваному енергетичному секторі. В цьому контексті проведено аналіз актуальних викликів, з якими стикається Україна під час інтеграції ФЕС та інших відновлюваних джерел енергії, з використанням міжнародного досвіду як важливої

точки відліку. Особлива увага приділена системному підходу до трансформації енергетичної системи. В цьому розділі також розглянуті проблеми, пов'язані зі зношеністю традиційних джерел енергії, таких як атомні, вугільні та газові електростанції, які є основними постачальниками електроенергії в Україні та в інших країнах. Крім того, висвітлено проблеми, пов'язані із обмеженим ресурсом життя та зношенням традиційних енергетичних установок, що можуть призвести до зниження їхньої ефективності та надійності, а також підвищити ризик аварій та виробничих простоїв. Додатково, розділ надає огляд сучасних тенденцій у впровадженні фотоелектричних станцій в Україні, наводячи динаміку приросту встановленої потужності ФЕС за останні роки. В другому розділі аналізуються метеодані, що визначають функціонування ФЕС в розглянутому регіоні. Вихідні дані, які стосуються фотоелектричної генерації та метеоданих Київської області, були зібрані на основі вимірів, проведених на Димерській фотоелектричній станції. Загальна кількість даних складала понад 80 тисяч зразків з вимірів тривалістю 10 хвилин, отриманих в період від 1 січня 2020 року до 1 серпня 2021 року. Ця обсяжна база даних дозволила провести докладний аналіз умов роботи фотоелектричних панелей загальною потужністю 9 МВт, які можуть бути агреговані та представлені у параметричній формі. Розглянуто фактори, які впливають на прогнозування генерації електроенергії, і вказано на проблеми та похибки, які властиві сучасним методам прогнозування. Виділяється важливість адаптації моделей прогнозування до конкретних кліматичних умов і врахування особливостей місцевості, включаючи кут підйому Сонця та вплив природних факторів, таких як запиленість фотоелектричних панелей та опади. Детально аналізується кореляційні залежності між метеорологічними параметрами та вихідною потужністю Димерської ФЕС. Позитивна кореляція виявлена між вихідною потужністю і сонячним випромінюванням (0,92), температурою (0,62) та швидкістю вітру (0,46), що свідчить про їх важливість для прогнозування. Негативна залежність вихідної потужності відзначена з вологістю (-0,64), хмарністю (-0,23) та індексом погоди (-0,24), підкреслюючи негативний вплив похмурої та дощової погоди на вироблену потужність. Також відзначено нульову кореляцію вихідної потужності з такими параметрами як атмосферний тиск (-0,18) та напрямок вітру (-0,11), з підкресленням важливості розуміння нелінійних залежностей. У третьому розділі подано аналітичний огляд методів та моделей прогнозування, в якому аналізуються підходи такі як фізичиний, статистичний, машинного навчання, гібридний та ансамблевий. Вибір найбільш відповідного методу залежить від конкретних потреб і наявних обчислювальних ресурсів. В розділі представлені результати розробки та вдосконалення моделей прогнозування генерації фотоелектричної енергії. Серед розглянутих моделей: модель експоненційного згладжування, модель сезонної інтегрованої авторегресії з рухомим середнім, регресійні моделі та модель штучної нейронної мережі типу "Довга короткочасна пам'ять". В четвертому розділі аналізується вплив великого приросту сонячної енергії на балансову надійність енергосистеми. Розкривається зміст поняття "небалансу" та розглядаються різні сценарії його можливого виникнення. Небаланс енергії в енергосистемі є вагомою проблемою, яка виникає, коли обсяги виробництва та споживання електроенергії не узгоджуються. Досвід інтеграції відновлюваних джерел енергії в електричні мережі підкреслює, що існуючі електромережі не готові до масштабного впровадження відновлюваних джерел енергії, що вимагає широкого спектру оптимізаційних задач. У цьому контексті також детально проаналізовані існуючі показники оцінювання балансової надійності енергосистеми, які, на жаль, не враховують вплив метеорологічних умов та не надають можливості оцінювати стабільність генерації ФЕС щодо графіка споживання електроенергії. Окрім цього, розділ присвячений оцінці похибок розроблених моделей, які використовуються для передбачення небалансу енергії. Для порівняння моделей використовувався метод "Бенчмаркінг прогнозів".

2. The thesis aims at enhancing the balance reliability of the electrical power system in the context of widespread utilization of renewable energy sources. The core of this work centered on improving the accuracy of short-term photovoltaic power plant generation forecasting. In the first chapter of the research, a critical aspect of Ukrainian energy, namely the potential of solar energy, which plays a significant role in the renewable energy sector, is examined. In this context, an analysis of the current challenges that Ukraine faces during the integration of photovoltaic power plants (PVPPs) and other renewable energy sources (RES) is conducted, with the utilization of international experience as an important reference point. Special attention is given to the systemic approach to

transforming the energy system. This chapter also discusses issues related to the wear and tear of traditional energy sources, such as nuclear, coal and gas power plant, which are the primary electricity providers in Ukraine and other countries. Furthermore, the chapter highlights problems associated with the limited lifespan and deterioration of traditional energy facilities, which can lead to reduced efficiency and reliability, as well as an increased risk of accidents and production downtime. Additionally, the chapter provides an overview of current trends in the implementation of PVPPs in Ukraine, citing the dynamics of installed PVPPs capacity growth in recent years. The second chapter focuses on the analysis of meteorological data that determine the operation of PVPPs in the considered region. Initial data related to PV generation and meteorological data in the Kyiv region were collected based on measurements conducted at the Dymer PVPP. The extensive dataset consisted of over 80.000 samples of 10-minute measurements obtained from January 1, 2020, to August 1, 2021. This substantial database enabled a detailed analysis of the operating conditions of photovoltaic panels with a total capacity of 9 MW, which can be aggregated and presented in parametric form. Factors influencing electricity generation forecasting are examined, highlighting the problems and errors inherent in modern forecasting methods. The importance of adapting forecasting models to specific climatic conditions and considering local terrain features, including the angle of solar elevation and the influence of natural factors such as panel dustiness and precipitation, is emphasized. The chapter thoroughly analyzes the correlation between weather parameters and the output power of the Dymerska PVPP. Positive correlations are observed between output power and solar radiation (0.92), temperature (0.62), and wind speed (0.46), highlighting their significance for forecasting. Negative correlations of output power are noted with humidity (-0.64), cloud cover (-0.23) and weather index (-0.24), emphasizing the negative impact of cloudy and rainy weather on generated power. Additionally, zero correlation is identified between output power and parameters such as atmospheric pressure (-0.18) and wind direction (-0.11), highlighting the importance of understanding nonlinear dependencies. The third chapter provides an analytical overview of forecasting models, which includes an analysis of approaches such as physical, statistical, machine learning, hybrid, and ensemble methods. The choice of the most suitable method depends on specific needs and available computational resources. The chapter presents the results of the research on the development and improvement of photovoltaic energy generation forecasting models. Among the models considered are: Exponential Smoothing Model, Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) Model, Regression Models, and the Long Short-Term Memory-Recurrent Neural Network (LSTM-RNN) Model. The fourth chapter examines the impact of a substantial increase in PV energy on the energy system's balance reliability. The concept of “imbalance” is explained, addressing scenarios of electricity production and consumption mismatch leading to critical power system issues. Integrating renewable energy sources into electrical grids underscores that existing powergrids are unprepared for large-scale implementation, requiring a wide range of optimization tasks. In this context, existing indicators for assessing the balance reliability of the power system are also thoroughly analyzed, which unfortunately do not consider the impact of meteorological conditions and do not allow for evaluating the stability of PV generation concerning the electricity consumption schedule. Additionally, the chapter focuses on evaluating the errors of developed models used to predict energy imbalances. The "Forecast Benchmarking" method was used to compare models.

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:

- Matushkin, D., Bosak, A., & Kulakovskyi, L. (2020). “Analysis of factors for forecasting electric power generation by solar power plants”. Енергетика: економіка, технології, екологія, 4, 64-69. doi.org/10.20535/1813-5420.4.2020.233597. https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/732c0a09-8235-421d-b9e9-e8281002aca2/content
- Bosak, A., Matushkin, D., Dubovyk, V., Homon, S., & Kulakovskyi, L. (2021). “Determination of the Concepts of Building a Solar Power Forecasting Model”. Scientific Horizons, 24(10), 9-16. doi.org/10.48077/scihor.24(10).2021.9-16. http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/13030/1/SH_2021_24_10_9-16.pdf
- Matushkin, D. (2023). “Concerning the Matter of the (Im)Practicality of Solar Forecasting Models”. Herald of Khmelnytskyi National University, 323(4), 202-210. doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-202-210. http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2023/09/323-202-210.pdf
- Matushkin, D., Bosak, A. (2023). “Concept of an ensemble forecasting system for optimization problems of control of Solar MicroGrid”. Енергетика: економіка, технології, екологія, № 3, 23-28. doi.org/10.20535/1813-5420.3.2023.289651. https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/851f6226-dc55-4fcc-8c4d-15a445697330/content
- Matushkin, D., & Bosak, A. (2023). “Design of a matlab gui for short-term solar forecasting based on deep learning”. Vidnovluvana Energetika, (3(74), 32-41. doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).32-41. https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/408/319
- Bosak, A., Matushkin, D., Davydenko, L., Kulakovskyi, L., & Bronytskyi, V. (2023). “Short-Term Forecasting of Photovoltaic Solar Power Generation Based on Time Series: Application for Ensure the Efficient Operation of the Integrated Energy System of Ukraine”. In O. Kyrylenko, S. Denysiuk, D. Derevianko, I. Blinov, I. Zaitsev, & A. Zaporozhets (Eds.), Power Systems Research and Operation (pp. 8). Studies in Systems, Decision and Control, 220, 159-179. Springer. doi.org/10.1007/978-3-031-17554-1_8. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-17554-1_8
- Матушкін, Д. С. (2021). “Огляд сучасних методів прогнозування сонячної енергії”. У Матеріали аспірантських читань пам’яті професора Артура Праховника присвячені 75-річчю IEE, (с. 34-38). м. Київ, Україна: 2021. https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c1cc605e-8c22-4311-8124-d2bb1052b750/content
- Матушкін, Д. С., Босак, А. В. (2022). “Доцільність застосування нечітких баз знань для прогнозування генерації сонячних електростанцій”. У XIX Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів “Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації” (с. 33-35). м. Кременчук, 2022. https://esmo.kdu.edu.ua/publ/ESMO_2022.pdf
- Босак, А. В., Матушкін, Д. С. (2023). “Визначення інтенсивності потоку сонячного випромінювання”. У VI Міжнародна науково-практична конференція “MODERN PROBLEMS OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY”, SPC “Sciconf.com.ua”, (с. 134-140). м. Київ, Україна. https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2023/08/MODERN-PROBLEMS-OF-SCIENCE-EDUCATION-AND-SOCIETY-14-16.08.2023.pdf

Наукова (науково-технічна) продукція: методичні документи; аналітичні матеріали

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення стану навколишнього середовища; економія енергоресурсів

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0122U201095

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Босак Алла Василівна

2. Alla Bosak

Кваліфікація: к.т.н., доц., 05.09.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0545-9980

Додаткова інформація:

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. Кузнєцов Микола Петрович

2. Mykola Kuznietsov

Кваліфікація: д. т. н., старший науковий співробітник, 05.14.08

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0497-7439

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 26476029

Місцезнаходження: вул. Драгоманова, буд. 17, Київ, 02068, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Трач Ігор Васильович

2. Ihor Trach

Кваліфікація: к. т. н., старший науковий співробітник, 05.14.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3345-2324

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут електродинаміки Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417236

Місцезнаходження: пр. Берестейський, буд. 56, Київ, 03057, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Веремійчук Юрій Андрійович
2. Yurii Veremiichuk

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.14.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0258-0478

Додаткова інформація:

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. Розен Віктор Петрович
2. Viktor Rozen

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0440-4251

Додаткова інформація:

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	Гаєвський Олександр Юлійович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Гаєвський Олександр Юлійович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Матушкін Дмитро Сергійович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна