

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0824U002814

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 30-07-2024

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Інститут електродинаміки  
Національної академії наук України Наказ №23 аг від 02.10.2024



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

- Сичова Вікторія Володимирівна
- Viktoriia Sychova

**Кваліфікація:** 141

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7385-1680

**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:** Електротехнічні системи електроспоживання

**Дата захисту:** 11-09-2024

**Спеціальність за освітою:** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Місце роботи здобувача:** 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:**

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.187.6

**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:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**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:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 44.09

**Тема дисертації:**

1. Короткострокове прогнозування небалансів електричної енергії в ОЕС України
2. Short-term Forecasting of Electricity Imbalances in the Integrated Power System of Ukraine

**Реферат:**

1. Необхідність розв'язання задач прогнозування в енергетичній системі України зумовлена сучасним станом та перспективами розвитку Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України та ринку електроенергії. Балансуючий ринок є ключовим для забезпечення стабільності та надійності функціонування ОЕС України, оскільки на ньому здійснюється балансування виробництва та споживання електроенергії через конкурентні механізми ціноутворення. Руйнування енергетичної інфраструктури, збільшення частки відновлюваних джерел енергії та неточності у прогнозуванні споживання призводять до небалансів електроенергії в ОЕС України. Це робить актуальними задачі короткострокового прогнозування сумарних небалансів електроенергії та споживання, що підвищує ефективність вибору ресурсів для покриття споживання та балансування ОЕС. У роботі проведено дослідження та запропоновано нові моделі і методи прогнозування сумарного електричного навантаження та небалансів в ОЕС України. Комплексний підхід забезпечив

всебічний розгляд задачі прогнозування небалансів, враховуючи підвищення точності прогнозування, зменшення обсягів небалансів та планування дій щодо їх покриття. Аналіз літератури показав, що моделі часто не враховують зовнішні фактори, такі як температура повітря. Вітчизняні дослідження майже не розглядають прогнозування небалансів електроенергії та попиту на балансуєчі послуги, що є новими задачами після впровадження нової моделі ринку електроенергії України. У роботі обґрунтовано необхідність багатофакторного прогнозування для підвищення точності короткострокового прогнозування добових графіків електричного навантаження. Запропоновано декомпозиційну парадигму, яка адекватно враховує вплив зовнішніх чинників. Робота пропонує кілька емпіричних підходів до декомпозиції часових рядів електричного навантаження. Для підвищення надійності виділення температурної складової електричного навантаження запропоновано метод визначення меж «зони нечутливості» електричного навантаження до температури повітря з використанням перетворення Гільберта-Хуанга для декомпозиції часових рядів. Для прогнозування сумарного електричного навантаження застосовано різні методи: регресійні, метод Холта-Вінтерса, штучну нейронну мережу LSTM. Розроблено гібридну модель для короткострокового прогнозування електричного навантаження, в якій рекурентна ШНМ LSTM використана для прогнозування базової складової, а поліноміальні регресійні залежності для кожного годинного профілю – для складової, що відображає вплив температури. Цей підхід підвищив точність короткострокового прогнозування сумарного електричного навантаження в середньому на 25%. Третій розділ роботи присвячено детальному статистичному аналізу вибірок небалансів електричної енергії та обсягу попиту на послугу балансування в Україні. Дослідження показало нестаціонарність та високу варіативність цих вибірок, виявивши, що вибірки небалансів електроенергії в основному підпорядковані закону розподілу Пуассона. Було відхилено гіпотези про нормальний та рівномірний розподіли для обох вибірок. Для прогнозування сумарних небалансів електроенергії запропоновано використання авторегресійних моделей та моделі штучної нейронної мережі типу LSTM. Для прогнозування обсягу попиту на послугу балансування, який позбавлений явних закономірностей, запропоновано використання ймовірнісних ШНМ, зокрема баєсових мереж (BNN) та генеративно-змагальних нейронних мереж (GAN). Моделі BNN дозволяють оцінити максимальні відхилення обсягу попиту від прогнозованого значення з заданою ймовірністю, а моделі GAN ефективні при роботі з асиметричними розподілами та складною структурою даних. Застосування цих моделей підвищує точність прогнозування обсягу попиту на послугу балансування. У четвертому розділі аналізуються результати випробовування розроблених моделей для прогнозування небалансів електроенергії та обсягу попиту на послугу балансування. Досягнуто задовільних результатів прогнозування сумарних небалансів електроенергії ОЕС України за допомогою авторегресійних моделей ARIMA та VARMA, які використовуються через високу автокореляцію вибірок. Дослідження підтвердили доцільність побудови однофакторних моделей. Для підвищення точності прогнозування небалансів електроенергії запропоновано застосування штучної нейронної мережі LSTM. Проведено модифікації моделі, зокрема додано компонент для автоматичного вибору гіперпараметрів. Це спростило налаштування моделі та покращило точність прогнозування. Також випробовувано ансамблі моделей LSTM з різними значеннями довжини вікна, які підбирають оптимальні гіперпараметри. Результати ансамблю, обчислені як середнє арифметичне прогнозів, підвищили надійність та точність прогнозування. Розроблено застосунки для короткострокового прогнозування добових графіків сумарного електричного навантаження та сумарних небалансів електроенергії на період від однієї до семи діб. Також створено програму для розрахунку цін та тарифів на електроенергію, яка обчислює значення тарифу та вартості залежно від типу закупівлі.

2. The necessity of solving forecasting tasks in Ukraine's energy system is driven by the current state and development prospects of the Integrated Power System (IPS) of Ukraine and the electricity market. The balancing market is crucial for ensuring the stability and reliability of the IPS, as it balances electricity production and consumption through competitive pricing mechanisms. Destruction of energy infrastructure, the increase in the share of renewable energy sources, and inaccuracies in consumption forecasting lead to electricity imbalances in the IPS. This makes short-term forecasting of total electricity imbalances and consumption vital for improving resource selection efficiency for covering consumption and balancing the IPS. This work presents research and

proposes new models and methods for forecasting the total electrical load and imbalances in the IPS of Ukraine. The comprehensive approach provided a thorough examination of imbalance forecasting tasks, considering accuracy improvement, reduction of imbalance volumes, and planning actions for their coverage. Literature analysis showed that models often do not consider external factors like air temperature. Domestic studies rarely address electricity imbalance forecasting and the demand for balancing services, which are new tasks following the introduction of Ukraine's new electricity market model. The necessity for multifactor forecasting to improve short-term daily load forecasting accuracy is justified. A decomposition paradigm that adequately considers external factors is proposed. The work offers several empirical approaches to decomposing electrical load time series. To improve the reliability of isolating the temperature component of the electrical load, a method for determining the "insensitivity zone" boundaries of the electrical load to air temperature using Hilbert-Huang transformation for time series decomposition is proposed. Various methods were applied for forecasting total electrical load: regression methods, Holt-Winters method, and LSTM neural network. A hybrid model for short-term load forecasting was developed, utilizing recurrent LSTM for the base component and polynomial regression dependencies for each hourly profile for the temperature component. This approach improved short-term total load forecasting accuracy by an average of 25%. The third chapter is devoted to detailed statistical analysis of electricity imbalance and balancing service demand samples in Ukraine. The study revealed non-stationarity and high variability of these samples, showing that electricity imbalance samples mainly follow the Poisson distribution. Hypotheses of normal and uniform distributions for both samples were rejected. For forecasting total electricity imbalances, autoregressive models and LSTM neural networks were proposed. For forecasting the demand for balancing services, devoid of clear patterns, probabilistic neural networks, including Bayesian networks (BNN) and Generative Adversarial Networks (GAN), were proposed. BNN models allow estimating the maximum deviations of demand from the forecasted value with a given probability, while GAN models are effective in handling asymmetric distributions and complex data structures. These models improve the accuracy of balancing service demand forecasting. The fourth chapter analyzes the results of testing the developed models for forecasting electricity imbalances and balancing service demand. Satisfactory results were achieved in forecasting total electricity imbalances in the UES of Ukraine using ARIMA and VARMA autoregressive models, used due to high autocorrelation of the samples. The research confirmed the feasibility of building single-factor models. To improve the accuracy of electricity imbalance forecasting, LSTM neural networks were proposed. Model modifications, including an automatic hyperparameter selection component, simplified model tuning and improved forecasting accuracy. Ensemble models of LSTM with different window lengths, which select optimal hyperparameters, were tested. The ensemble results, computed as the arithmetic mean of forecasts, improved reliability and accuracy. Applications for short-term forecasting of daily total electrical load and total electricity imbalances for periods from one to seven days were developed. Additionally, a program for calculating electricity prices and tariffs was created, computing tariff values and costs depending on the type of electricity procurement.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0421U103395

**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:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

**Публікації:**

- Miroshnyk V., Shymaniuk P., Sychova V. Short term renewable energy forecasting with deep learning neural networks. Power Systems Research and Operation: Selected problems. editors: Kyrylenko O., Zharkin A. and other. Springer, 2021. pp. 121-142

- Miroshnyk V., Shymaniuk P., Sychova V., Loskutov S. Short-term load forecasting in electrical networks and systems with artificial neural networks and taking into account additional factors. Power Systems Research and Operation: Selected problems II. editors: Kyrylenko O., Denysiuk S. and other. 2022. pp. 87-105.
- Miroshnyk V., Shymaniuk P., Sychova V., Loskutov S. Short-Term Forecasting of Imbalances in the IPS of Ukraine. In: Kyrylenko O., Denysiuk S., Strzelecki R., Blinov I., Zaitsev I., Zaporozhets A. (eds) Power Systems Research and Operation. Studies in Systems, Decision and Control. vol 512. Springer, Cham. 2024. Pp 89-109
- Черненко П.О., Сичова В.В. Удосконалення алгоритму визначення впливу температури повітря на сумарне електричне навантаження енергосистеми для підвищення точності короткострокового прогнозування. Технічна електродинаміка. 2021. №2 С. 77-83
- Блінов І.В., Сичова В.В. Застосування методів декомпозиції у короткостроковому прогнозуванні сумарного електричного навантаження енергосистеми. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2021. №59 С. 68-71
- Блінов І.В., Парус Є.В., Мірошник В.О., Шиманюк П.В., Сичова В.В. Модель оцінки доцільності переходу промислових споживачів до погодинного обліку електричної енергії на роздрібному ринку. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2021. №1. С. 88-97.
- Сичова В.В. Прогнозування добових графіків сумарних небалансів електричної енергії в ОЕС України. Технічна електродинаміка. 2022. №.4 С. 58-63
- Сичова В.В. Короткострокове прогнозування небалансів електричної енергії в ОЕС України з використанням авторегресійних моделей та штучних нейронних мереж. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2023. №64. С. 24-30.
- Сичова В.В. Розробка штучної нейронної мережі для прогнозування небалансів електричної енергії в ОЕС України. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2023. №66. С. 58-63
- I. Blinov, V. Miroshnyk and V. Sychova, Comparison of models for short-term forecasting of electricity imbalances. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). Kyiv. Ukraine. 2022. pp. 01-04
- Blinov I, Miroshnyk V and Sychova V. Short-term forecasting of electricity imbalances using artificial neural networks. 4 th International conference on sustainable futures: environmentak, technological, social and economic matters (ICSF-2023) DOI 10.1088/1755-1315/1254/1/012029 м. Кривий Ріг. 23-26 травня 2023
- Белоха Г.С., Сичова В.В. Оптимізація графіків електричного навантаження агрегатором в локальних електроенергетичних системах. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. 2023. №66. С 84-89. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.66.084>
- Блінов І.В., Сичова В.В., Шиманюк П.В. Комп'ютерна програма «Модель розрахунку цін та тарифів на електричну енергію (дослідна модель)» («EMPM (Electricity market pricing model)»). Авторське право на твір № 115250 від 13.10.2022
- Блінов І.В., Сичова В.В., Шиманюк П.В. Комп'ютерна програма «Модель розрахунку цін та тарифів на електричну енергію (дослідна модель)» («EMPM (Electricity market pricing model)»). Авторське право на твір № 115250 від 13.10.2022
- Сичова В.В., Шиманюк П.В. Комп'ютерна програма «Прогнозування добових графіків сумарного електричного навантаження (fds\_oel)». Авторське право на твір № 125814 від 18.04.2024
- Сичова В.В. Підвищення точності моделювання метеорологічної складової при багатофакторному короткостроковому прогнозування електричного навантаження енергосистеми. Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт з галузі «Енергетика». Зб. тез доповідей. м. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ». 25-26 березня 2020 р. 2020. С. 6-7
- Черненко П.О., Сичова В.В. Аналітичне моделювання сумарного електричного навантаження енергосистеми для покращення його короткострокового прогнозування. XV Міжнародна конференція Контроль і управління в складних системах (КУСС-2020). м. Вінниця. 8-10 жовтня 2020 р. 2020. С. 184-186
- Сичова В.В., Шиманюк П.В. Застосування декомпозиції графіків сумарного електричного навантаження для задач їх короткострокового прогнозування. XXXIX Науково-технічна конференція молодих вчених

інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. м. Київ. 12 травня 2021. 2021 С. 101-104

- Сичова В.В. Застосування методу Гільберта-Хуанга для декомпозиції графіків сумарного електричного навантаження. Збірник матеріалів І науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту електродинаміки Національної академії наук України. м. Київ. 15 березня 2021 р. 2021. 64 с
- Сичова В.В. Короткострокове прогнозування небалансів електричної енергії. Results of modern scientific research and development. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2021. Pp. 165-171.
- Сичова. В.В. Прогнозування добових графіків сумарних небалансів електричної енергії в ОЕС України. ПСЕ 2022 XVII Науково-технічна 11 конференція Проблеми сучасної енергетики. м. Київ. 27 вересня 2022
- Сичова В.В., Белоха Г.С. Застосування ансамблів штучних нейронних мереж для прогнозування небалансів електричної енергії в ОЕС України. XLI Науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. м. Київ. 17 травня 2023. С. 82-84
- Сичова В.В. Застосування ймовірнісних нейронних мереж для прогнозування обсягу попиту на послугу балансування. XLII Науковотехнічна конференція молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. м. Київ 15 травня 2024. С. 130-133
- Blinov I, Radziukynas V, Shymaniuk P, Sychova V Calculation of electricity losses using neural networks for retrospective data with the presence of anomalous values. 5 th International conference on sustainable futures: environmental, technological, social and economic matters (ICSF-2024) м. Кривий Ріг. 21-24 травня 2024

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0115U005309 0117U007711 0123U100709 0121U111848 0123U10076  
0123U103734

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Блінов Ігор Вікторович

2. Ihor Blinov

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.14.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8010-5301

**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:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

### **Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кузнецов Микола Петрович

2. Mykola Kuznietsov

**Кваліфікація:** д.т.н., с.н.с., 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. Згуровець Олександр Васильович

2. Oleksandr Zgurovets

**Кваліфікація:** к.т.н., с.д., 05.14.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-8439-9781

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут загальної енергетики Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 04589627

**Місцезнаходження:** вул. Антоновича, буд. 172, Київ, 03150, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Тугай Юрій Іванович

2. Tugay Yuriy

**Кваліфікація:** д.т.н., с.н.с., 05.14.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0704-1863

**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:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Стелюк Антон Олегович

2. Steliuk Anton

**Кваліфікація:** к.т.н., доцент, 05.14.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7548-4757

**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:**

## VIII. Заключні відомості

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

Буткевич Олександр Федотович

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

Буткевич Олександр Федотович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Макаренко Ірина Василівна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна