

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України

“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.філос.н., проф.

Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО



“6” березня 2024 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 11 від “21” лютого 2024 р. розширеного засідання
кафедри Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
(наукового семінару)

Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- завідувач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н., професор Бойченко С. В.;
- доцентка кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.т.н. Босак А. В.;
- професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н. Мазуренко Л. І.;
- професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н. Зайченко С. В.;
- професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н. Шевчук С. П.;
- професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н. Терентьев О. М.;
- професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н. Юрченко О. М.;
- професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, д.т.н. Сліденко В. М.;
- доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.т.н. Кулаковський Л. Я.;
- доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.т.н. Пермяков В. М.;
- доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.т.н. Торопов А. В.;

- доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.т.н. Данілін О. В.;
- доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.ф.-м.н. Городецький В. Г.;
- доцент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, к.т.н. Мейта О. В.;
- старший викладач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ Дубовик В. Г.;
- старший викладач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ Прядко С. Л.;
- старша викладачка кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ Поліщук В. О.;
- асистентка кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ Торопова Л. В.;
- асистент кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ Хотян А. А.;
- асистентка кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ Докшина С. Ю.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів Матушкіна Дмитра Сергійовича за матеріалами дисертаційної роботи “Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Освітньо-наукова програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Тему дисертаційної роботи “Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі” затверджено на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту (протокол № 6 від “27” листопада 2020 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту енергозбереження та енергоменеджменту (протокол № 7 від “28” грудня 2023 року).

Науковим керівником затверджена к.т.н., доцентка, Босак А. В.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

д.т.н., професор, Сліденко В. М.;
к.т.н., доцент, Кулаковський Л. Я.;
асистент, Докшина С. Ю.;
асистент, Торопова Л. В.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

д.т.н., професор, Розен В. П.;
д.т.н., професор, Юрченко О. М.;
д.т.н., професор, Терентьев О. М.;
д.т.н., професор, Сліденко В. М.;
к.т.н., доцент, Кулаковський Л. Я.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Україна стикається з численними серйозними викликами у сфері енергетики, які суттєво впливають на економіку та життя населення. Застарілість енергетичної інфраструктури, високий рівень фізичного зношення традиційних енергетичних станцій та використання конвенційних джерел енергії становлять значущий виклик для країни. Проте, ще більшим пріоритетом стає необхідність реагування на ці виклики в контексті глобальних тенденцій в енергетичній галузі та врахування внутрішніх і зовнішніх обставин.

Зовнішньою загрозою для України в енергетичному секторі є військова агресія РФ, яка істотно стимулює країну переосмислювати та перебудувати свою енергетичну інфраструктуру. Військові дії призводять до спроб руйнування та обмеження функціонування енергетичних об'єктів, що породжує загрозу енергетичній безпеці та може призвести до серйозних екологічних наслідків. Така агресія вимагає негайного впровадження низки заходів з метою забезпечення стійкості та незалежності в секторі енергетики.

Спільно з цим, Україна активно реагує на глобальні тенденції в енергетичній галузі шляхом посиленого впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема фотоелектричних станцій (ФЕС). Ця інтеграція сприяє створенню більш стійкої та екологічно чистої енергетичної системи.

Однак, згідно з законом України “Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії” від 21.07.2020, № 810-IX, введені штрафи за небаланси в генерації фотоелектричних станцій (ФЕС) на ринку купівлі електроенергії “на добу наперед” з 2020 року. Проте відсутність ефективного механізму моніторингу та конкретних вказівок щодо прогнозування генерації та відповідальності суб'єктів ринку створює прогалини в регулюванні. Закон також передбачає штрафи за фактичне відхилення виробника електроенергії від прогнозованих графіків і вимагає фінансової відповідальності за небаланс.

Це створює ряд викликів, пов'язаних з небалансами між згенерованою та споживаною енергією, що вимагає їх вивчення та вирішення. Один із них полягає в варіабельності сонячної енергії, яка залежить від погодних умов та часу доби. Відсутність сонця або зміни в сонячному випромінюванні можуть призвести до значних коливань у генерації електроенергії. Крім того, сезонні зміни у сонячному випромінюванні впливають на розподіл сонячної енергії протягом року, що може викликати нерівномірний баланс між згенерованою та споживаною енергією.

Для розв'язання цих викликів необхідно враховувати фактори, які стосуються диспетчеризації ФЕС та забезпечення стабільності енергосистеми. Інфраструктура для зберігання енергії грає важливу роль у компенсації коливань у виробництві електроенергії. Споживачі також можуть мати різні рівні диспетчеризації та різкі зміни у споживаній енергії, що ускладнює балансування системи. Інтеграція ФЕС може вплинути на інші джерела енергії, а тому вимагає розвинутих технологічних рішень та ефективних стратегій управління енергосистемою. Моніторинг, прогнозування та гнучка система управління можуть сприяти досягненню більш стійкої та збалансованої енергосистеми з ФЕС.

Прогнозування генерації ФЕС стає важливим інструментом для поліпшення балансової надійності енергетичної системи. Це дозволяє передбачати небаланси, пов'язані з коливаннями сонячної активності й погодними умовами, та розробляти ефективні стратегії для їх компенсації. Точне прогнозування генерації ФЕС сприяє ефективному плануванню та забезпеченню стабільності енергосистеми, що є ключовим аспектом переходу до більш сталої та незалежної енергетики.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського» за планом кафедри по результатами наукових досліджень в рамках наукового напрямку «Система підвищення енергоефективності електротехнічних об'єктів» та ініціативної теми «Розроблення моделей та методів математичного забезпечення вирішення проблеми енергетичної безпеки регіонів України» (№ 0122U201095).

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

– на підставі дослідження кореляції метеорологічних параметрів сформовано “ієрархічну структуру” факторів, що впливають на вихідну потужність ФЕС і виділено найбільш суттєві з них, уникаючи дублювання параметрів з подібними характеристиками;

– для оцінювання моделі прогнозування, використано метод “Бенчмаркінг метрик точності прогнозу”, що дозволило виявити покращення прогнозу генерації фотоелектричної станції на 53,16 % відносно існуючої технології;

– удосконалено модель експоненційного згладжування для сонячного прогнозування на основі усереднення даних попередньої доби та фактичних значень, що дозволяє зменшити неточність прогнозування генерації на добу наперед;

– отримали подальшого розвитку моделі, які можуть бути використані в комплексному підході, що полягає в інтеграції різних типів моделей, таких як SARIMA для врахування сезонності та регресійні моделі для врахування екзогенних факторів, разом із глибоким навчанням, представленим моделлю LSTM. Такий підхід дозволяє краще розуміти та моделювати складні залежності, які впливають на генерацію фотоелектричної енергії. Використання цих моделей в комплексі дозволяє автоматично адаптувати прогнози до різних умов і враховувати зміни в навколишньому середовищі.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Теоретичне значення результатів роботи полягає в розширенні методології прогнозування генерації фотоелектричної енергії за допомогою інтеграції різних методів дослідження та аналізу даних. Отримані результати включають розробку “ієрархічної структури” факторів, що впливають на вихідну потужність ФЕС, використання методу “Бенчмаркінг метрик точності прогнозу” для оцінки моделей прогнозування, удосконалення моделі експоненційного згладжування та розвиток комплексного підходу до моделювання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що реалізація ряду програмних додатків по аналізу метеопараметрів та прогнозування генерації ФЕС може дозволити виробникам ВДЕ зменшити розбіжність між

графіками заявленої генерації та споживання електроенергії, підтримуючи стабільний баланс потужностей в енергосистемі.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи Матушкіна Дмитра Сергійовича «Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі» впроваджено в освітній процес кафедри Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів та використовується в освітніх компонентах освітньо-професійної програми підготовки магістрів «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітнім ступенем «Магістр», а саме: дисципліна «Електромехатронні системи відновлювальних джерел електроенергії».

Також результати дисертаційного дослідження Матушкіна Дмитра Сергійовича на тему «Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі», що подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з галузі знань 14 «Електрична інженерія», впроваджено на енергетичних об'єктах Товариства з обмеженою відповідальністю «Аксіона Енерджі Глобал Україна».

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Матушкіна Д. С. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації

За результатами досліджень опубліковано 6 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка в т.ч. 1 стаття, у якій число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;
- 2 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection;
- 3 тези виступів на наукових конференціях.

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Matushkin, D., Bosak, A., Kulakovskiy, L. (2020). "Analysis of factors for forecasting electric power generation by solar power plants". Енергетика:

економіка, технології, екологія, 4, 64-69. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2020.233597>. (0,25 друк. арк, *Особистий внесок здобувача: аналіз даних про метеорологічні параметри та величину генерації активної енергії фотоелектричною станцією, 0,13 друк. арк.*).

2. Matushkin, D. (2023). “Concerning the Matter of the (Im)Practicality of Solar Forecasting Models”. Herald of Khmelnytskyi National University, 323(4), 202-210. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-202-210>.

3. 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. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2023.289651>. (0,25 друк. арк, *Особистий внесок здобувача: висунення ідеї, визначення концепції ансамблевої системи прогнозування потужності в мережі Solar MicroGrid, формування загальної структури ансамблю, 0,25 друк. арк.*).

4. 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. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).32-41](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).32-41). (0,42 друк. арк, *Особистий внесок здобувача: висунення ідеї, розробка структурної схеми моделі штучної нейронної мережі типу Довга короткочасна пам'ять, проведення експериментальних досліджень, розробка графічного інтерфейса користувача для прогнозування розробленою моделлю, 0,42 друк. арк.*).

Статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах WoS та/або Scopus

5. Bosak, A., Matushkin, D., Dubovyk, V., Homon, S., Kulakovskiy, L. (2021). “Determination of the Concepts of Building a Solar Power Forecasting Model”. Scientific Horizons, 24(10), 9-16. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(10\).2021.9-16](https://doi.org/10.48077/scihor.24(10).2021.9-16). (0,33 друк. арк., *Особистий внесок здобувача: аналіз методів прогнозування за допомогою регресійних моделей, проведення порівняльного аналізу отриманих результатів, 0,13 друк. арк.*).

6. Bosak, A., Matushkin, D., Davydenko, L., Kulakovskiy, 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. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17554-1_8. (0,8 друк. арк., *Особистий внесок здобувача: аналіз стану інтеграції відновлюваних джерел енергії в об'єднану енергосистему, обробка експериментальних даних, 0,17 друк. арк.*).

Матеріали конференцій

7. Матушкін, Д. С. (2021). “Огляд сучасних методів прогнозування сонячної енергії”. У Матеріали аспірантських читань пам’яті професора Артура Праховника присвячені 75-річчю ІЕЕ, (с. 34-38). м. Київ, 2021. <https://iee.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/09/materials-1.pdf> (0,19 друк. арк. *Особистий внесок здобувача: огляд основних методів і моделей прогнозування, їх класифікація та розробка рекомендацій щодо застосування для прогнозування генерації сонячних електростанцій, 0,19 друк. арк.*).

8. 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. (0,12 друк. арк. *Особистий внесок здобувача: обґрунтування доцільності використання нечітких баз знань для задач короткострокового прогнозування генерації сонячних електростанцій, 0,12 друк. арк.*).

9. 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, 2023. URL: <https://sciconf.com.ua/wp-content/uploads/2023/08/MODERN-PROBLEMS-OF-SCIENCE-EDUCATION-AND-SOCIETY-14-16.08.2023.pdf> (0,26 друк. арк. *Особистий внесок здобувача: розробка узагальненого способу визначення положення Сонця для будь-якого часу доби, 0,26 друк. арк.*).

Якість та кількість публікацій відповідають “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”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Матушкіна Дмитра Сергійовича “Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та

відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “Короткострокове прогнозування генерації фотоелектричних станцій для задач зменшення небалансів в енергосистемі”, подану Матушкіним Дмитром Сергійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д.ф.-м.н., професор, професор кафедри відновлюваних джерел енергії КПІ ім. Ігоря Сікорського, **Гаєвський Олександр Юлійович;**

Члени:

Рецензенти:

к.т.н., доцент, доцент кафедри електропостачання КПІ ім. Ігоря Сікорського, **Веремійчук Юрій Андрійович;**

д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів КПІ ім. Ігоря Сікорського, **Розен Віктор Петрович;**

Офіційні опоненти:

д.т.н., с.н.с., заступник директора з наукової роботи, Інститут відновлюваної енергетики НАН України **Кузнцов Микола Петрович;**

к.т.н., с.н.с., старший науковий співробітник відділу моделювання електроенергетичних об'єктів і систем № 3, Інститут електродинаміки НАНУ **Трач Ігор Васильович.**

Головуючий на засіданні

д.т.н., професор кафедри АЕМК


(підпис)

Сергій БОЙЧЕНКО

Вчений секретар кафедри АЕМК


(підпис)

Валентина ПОЛЩУК