

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
ВОЛОЩУКА Андрія Володимировича здобувача ступеня доктора філософії з галузі
знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки «Моделі
та методи аналізу даних електроспоживання в розподілених електроенергетичних
системах»**

Наукові керівники: к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж ОСУХІВСЬКА Галина Михайлівна; д.т.н., професор, професор кафедри медичної інформатики Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського СВЕРСТЮК Андрій Степанович.

1. Ким і коли затверджена тема дисертації.

Тему дисертації затверджено «25» жовтня 2022 р. на засіданні вченої ради Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 10, (уточнено «24» лютого 2026 р. на засіданні вченої ради Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 2).

2. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри. Стабільна робота електроенергетичних систем є одним із ключових факторів забезпечення сталого економічного розвитку та надійного енергопостачання в умовах активної цифрової трансформації енергетики.

Децентралізація генерації та зростання кількості активних споживачів ускладнюють структуру та режими функціонування сучасних електроенергетичних систем. Особливої актуальності ці задачі набули у зв'язку з цифровою трансформацією енергетики в межах парадигми Energy 4.0 та синхронізацією ОЕС України з континентальною мережею ENTSO-E, що супроводжується підвищенням вимог до оперативності опрацювання даних електроспоживання на всіх рівнях електроенергосистеми. Враховуючи те, що електроенергетичні системи належать до об'єктів критичної інфраструктури, своєчасне виявлення незбалансованих режимів електроспоживання є ключовою передумовою для реагування на відхилення у функціонуванні системи. Це зумовлює потребу в автоматизованих методах класифікації режимів електроспоживання вузлів розподіленої електроенергетичної системи. Додатковим викликом є зростання обсягів даних електроспоживання, що передаються до центрального вузла системи, оскільки втрати даних у нестабільних каналах зв'язку безпосередньо впливають на повноту інформації та якість класифікації режимів.

Це зумовлює необхідність розроблення спеціалізованого підходу, що поєднує математичні моделі аналізу даних електроспоживання, методи машинного навчання для класифікації режимів електроспоживання та адаптивні механізми керування передаванням даних у розподілених електроенергетичних системах, що і визначає актуальність теми дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота пов'язана із загальною тематикою наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, зокрема з напрямами роботи міжнародної наукової школи «Моделювання та математичне забезпечення інтелектуалізованих інформаційних систем в медицині, техніці та економіці». Також дисертаційна робота пов'язана з дослідженням в рамках науково-дослідної роботи «Інтелектуальні моделі в кібер-фізичних системах медико-біологічних процесів» (№ державної реєстрації 0125U000105), виконаної в Тернопільському національному медичному університеті імені І.Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України.

3. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації. Наукове завдання полягає в обґрунтуванні та використанні методів аналізу даних електроспоживання на основі моделі періодично корельованих випадкових процесів у

поєднанні з методами машинного навчання для класифікації режимів електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах.

4. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом та їх новизна, особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів. Основні наукові результати та висновки дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема, обґрунтовано застосування математичного апарату у вигляді періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) для аналізу даних електроспоживання на основі компонентного методу ПКВП, сформовано набір із 13 інформативних ознак (9 компонентних та 4 часових) для класифікації режимів електроспоживання вузлів розподіленої електроенергетичної системи, які є вхідними даними для моделей машинного навчання. Здійснено порівняльний аналіз ефективності 14 моделей машинного навчання із застосуванням матриць плутанини, ROC-кривих та операційних характеристик. Запропоновано метод адаптивного вибору протоколу передавання даних на основі аналізу мережевих параметрів методами машинного навчання, що дало змогу забезпечити стабільність передавання даних електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах. Розроблено програмний модуль, який охоплює всі етапи аналізу даних електроспоживання для класифікації режиму роботи системи та візуалізації результатів для оператора.

Теоретичні обґрунтування, практичні розробки, висновки та рекомендації, що містяться в роботі, отримано автором самостійно на основі аналізу та узагальнення теоретичного та практичного матеріалу.

5. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, полягають, перш за все, у комплексному підході до вирішення поставлених наукових завдань. Теоретична обґрунтованість забезпечується застосуванням математичного апарату періодично корельованих випадкових процесів, методів математичної статистики, спектрального аналізу на основі рядів Фур'є та методів машинного навчання. Достовірність експериментальних результатів підтверджується проведенням досліджень на базі емпіричних даних та забезпечується їх статистичною репрезентативністю. Результати класифікації підтверджуються отриманими метриками якості, ROC-кривими та матрицями плутанини для 14 моделей машинного навчання.

Практична значимість підтверджена актами впровадження результатів дисертаційного дослідження у ТНТУ імені Івана Пулюя, ТНМУ імені І.Я. Горбачевського, ПП «НВО «ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ»» та ДП «ДГ ПОДІЛЬСЬКЕ».

Отримані здобувачем наукові результати та запропоновані рішення апробовані на міжнародних наукових, науково-практичних та науково-технічних конференціях. Таким чином, наукові положення, результати, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими, методично достовірними та практично значущими.

6. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру. Вперше на основі компонентного методу аналізу періодично корельованого випадкового процесу запропоновано набір інформативних ознак для класифікації режимів електроспоживання вузлів розподіленої електроенергетичної системи, що на відміну від класичних статистичних підходів одночасно враховує стохастичну природу та повторювану структуру сигналу електроспоживання. Вперше запропоновано метод класифікації режимів електроспоживання розподілених електроенергетичних систем на основі інформативних ознак, отриманих компонентним методом ПКВП, із застосуванням методів машинного навчання, що забезпечило можливість ідентифікації режимів електроспоживання вузлів розподіленої електроенергетичної системи. Удосконалено підхід

до вибору оптимального протоколу передавання даних електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах з використанням методів машинного навчання на основі параметрів каналу передавання даних, що дало змогу забезпечити стабільність передавання даних. Отримав подальший розвиток підхід до класифікації режимів електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах на основі поєднання математичного апарату періодично корельованих випадкових процесів та методів машинного навчання для аналізу досліджуваних даних.

7. Використання результатів роботи. Результати дисертаційної роботи впроваджено у ряді організацій і підприємств, що підтверджено відповідними актами впровадження.

1) у науково-дослідній діяльності – в рамках виконання науково-дослідної роботи «Інтелектуальні моделі в кібер-фізичних системах медико-біологічних процесів» (№ державної реєстрації 0125U000105) у Тернопільському національному медичному університеті імені І.Я. Горбачевського МОЗ України.

2) у виробничій діяльності – одержані результати досліджень впроваджено у ПП НВО «ЕНЕРГООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ» та ДП «ДГ ПОДІЛЬСЬКЕ», де використовуються модуль автоматичного визначення режимів електроспоживання, модуль вибору оптимального протоколу передавання даних разом із засоби візуалізації результатів аналізу, що підтверджено відповідними актами впровадження.

3) у навчальному процесі – на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при викладанні дисципліни «Моделювання систем».

8. Повнота викладення матеріалів дисертації та особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих із співавторами та зарахованих за темою дисертації. Наукові результати дисертації висвітлені у наукових публікаціях:

1. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A. Application of periodically correlated stochastic processes for forecasting electricity consumption. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*. 2025. No. 3. P. 393–403. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-48>. (Особистий внесок: обґрунтовано застосування синфазного методу ПКВП для аналізу кореляційної структури сигналів електроспоживання; виявлено приховані закономірності режимів навантаження через аналіз кореляційних компонент добового циклу та показано їхню інформативність для задачі класифікації режимів).

2. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A. Analysis of electricity consumption using the component method of periodically correlated random processes. *Computer Systems and Information Technologies*. 2025. No. 3. P. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2025-3-8>. (Особистий внесок: запропоновано процедуру виділення інформативних ознак із результатів компонентного методу ПКВП для задачі класифікації режимів електроспоживання, на основі двох схем когерентного усереднення кореляційних компонент).

3. Voloshchuk A., Osukhivska H. Adaptive multi-protocol communication for energy systems. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2025. Vol. 119, No. 3. P. 97–106. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.03.097. (Особистий внесок: запропоновано метод адаптивного вибору протоколу передавання даних між MQTT, CoAP та HTTPS на основі ансамблю моделей машинного навчання; розроблено систему динамічного перемикавання протоколів з урахуванням поточних мережевих параметрів).

4. Voloshchuk A., Osukhivska H. Application of a Cyclic Stochastic Process Model for Analyzing Electricity Consumption. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. 2025. No. 61. P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-61-05>.

(Особистий внесок: проведено верифікацію моделі електроспоживання у вигляді циклічного випадкового процесу на реальних даних погодинного споживання; підтверджено періодичний характер математичного сподівання, дисперсії та автоковаріаційної функції як емпіричне обґрунтування застосовності моделі до аналізу електроспоживання).

5. Волощук А. В., Осухівська Г. М., Паляниця Ю. Б., Луцків А. М., Валяшек В. Б. Визначення збалансованості електроенергетичних систем методами машинного навчання на основі інформативних ознак, отриманих компонентним методом. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. 2025. Т. 4, № 112. С. 148–161. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt4202514>. (Особистий внесок: автором запропоновано і реалізовано метод виділення інформативних ознак із даних електроспоживання на основі компонентного методу ПКВП та проведено порівняльне оцінювання алгоритмів машинного навчання для класифікації режимів електроспоживання).

9. Відомості про апробацію результатів дисертації. Результати роботи апробовано на:

1. X науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», 7–8 грудня 2022 р., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, форма участі – заочна;
2. XI науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», 13–14 грудня 2023 р., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, форма участі – заочна;
3. 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI-2024), 12–14 червня 2024 р., м. Тернопіль, Україна, форма участі – очна;
4. VIII International Scientific and Practical Conference «Modern Trends of Social Transformations of Society in Conditions of Sustainable Development», 24–26 лютого 2025 р., м. Стокгольм, Швеція, форма участі – заочна;
5. ITTAP'2025: The 5th International Conference on Information Technologies (ITTAP-2025), 22–24 жовтня 2025 р., м. Тернопіль, Україна; м. Ополє, Польща, форма участі – очна;
6. 2nd International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT-2025), 5 грудня 2025 р., м. Хмельницький, Україна, форма участі – очна;

10. Відповідність дисертації вимогам, що передбачені пунктом 6. Дисертація відповідає вимогам, передбаченим 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

11. Список публікацій за темою дисертації:

1. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A. Application of periodically correlated stochastic processes for forecasting electricity consumption. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*. 2025. No 3. P. 393–403. DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-83-48>.
2. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A. Analysis of electricity consumption using the component method of periodically correlated random processes. *Computer Systems and Information Technologies*. 2025. No 3. P. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2025-3-8>.
3. Voloshchuk A., Osukhivska H. Adaptive multi-protocol communication for energy systems. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2025. Vol. 119, No 3. P. 97–106. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.03.097.

4. Voloshchuk A., Osukhivska H. Application of a Cyclic Stochastic Process Model for Analyzing Electricity Consumption. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*. 2025. № 61. С. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-61-05>.

5. Волощук А. В., Осухівська Г. М., Паляниця Ю. Б., Луцків А. М., Валяшек В. Б. Визначення збалансованості електроенергетичних систем методами машинного навчання на основі інформативних ознак отриманих компонентним методом. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2025. Т. 4, № 112. С. 148–161. DOI: <https://doi.org/10.31713/vt4202514>.

12. Заслухавши та обговоривши доповідь ВОЛОЩУКА Андрія Володимировича, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на засіданні кафедри комп'ютерних наук, прийнято такий висновок щодо дисертації «Моделі та методи аналізу даних електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах»:

1. Дисертація ВОЛОЩУКА Андрія Володимировича «Моделі та методи аналізу даних електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах» є завершеною науковою працею, у дисертаційній роботі розв'язано актуальне науково-прикладне завдання аналізу даних електроспоживання на основі моделі у вигляді періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) у поєднанні із методами машинного навчання для класифікації режимів електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах.

2. У 11 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України.

3. Дисертація ВОЛОЩУКА Андрія Володимировича на тему «Моделі та методи аналізу даних електроспоживання в розподілених електроенергетичних системах» має наукову новизну, теоретичне та практичне значення і повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Голова засідання:

завідувач кафедри комп'ютерних наук,
к.т.н., доцент

 Ігор БОДНАРЧУК

Рецензент

професор кафедри систем штучного інтелекту
та аналізу даних,
д.т.н., професор

 Олег ЯСНІЙ

Рецензент

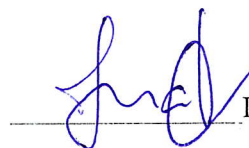
доцент кафедри комп'ютерних наук,
к.т.н., доцент

 Михайло ФРИЗ

Підписи рецензентів

д.т.н., професора Олега Яснія та к.т.н., доцент
Михайла Фриза засвідчують

Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя,
д.т.н., професор

 Павло МАРУЩАК

