

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з науково-організаційної роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, д.т.н., с.н.с.



Володимир АРТЕМЧУК

« 20 » травня 2026 р.

ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 2

засідання науково-технічного семінару
відділу математичного та економетричного моделювання
Інституту проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України

м. Київ

« 20 » травня 2026 р.

ПРИСУТНІ 18 осіб:

чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Саух С.Є.; чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Блінов І.В.; д.т.н., проф. Давиденко А.М.; д.т.н., проф. Ковальчук Л.В.; д.т.н., с.н.с. Артемчук В.О.; д.т.н., с.н.с. Борукаєв З.Х.; д.т.н., с.н.с. Гільгурт С.Я.; д.т.н., с.н.с. Яцишин А.В.; к.т.н., с.н.с. Каменева І.П.; к.т.н., доц. Іванченко І.С.; к.т.н. Мірошник В.О.; к.т.н. Парус С.В.; к.т.н. Потенко О.С.; к.т.н. Сушко С.В.; д.філос. Шиманюк П.В.; аспіранти Клюзко О.І., Лукашевич Я.П., Пучко Т.В.

ГОЛОВУВАВ: д.т.н., с.н.с. Гільгурт С.Я., завідувач відділу математичного та економетричного моделювання ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ:

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта 4-го року навчання відділу математичного та економетричного моделювання ІМПЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України **Клюзка Олексія Івановича** за матеріалами дисертаційної роботи «Моделювання задач купівлі-продажу електроенергії компаніями постачальниками в

ринкових умовах», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», освітньо-наукова програма «Комп'ютерні науки».

Тему дисертаційної роботи «Моделювання задач купівлі-продажу електроенергії компаніями постачальниками в ринкових умовах» затверджено на засіданні Вченої ради ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (протокол № 13 від 29 грудня 2022 р.).

Науковим керівником затверджений член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор Саух С.Є.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: д.т.н., проф. Давиденко А.М., д.т.н., с.н.с. Гільгурт С.Я., к.т.н. Сушко С.В., к.т.н. Парус Є.В.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Саух С.Є., д.т.н., проф. Давиденко А.М., д.т.н., с.н.с. Артемчук В.О.

УХВАЛИЛИ:

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

1. Актуальність теми дослідження

На ринку електричної енергії постачальник виконує функцію посередника між виробниками та споживачами електричної енергії, що передбачає здійснення закупівлі на різних сегментах оптового ринку електричної енергії всього обсягу, який буде спожитий протягом розрахункового періоду споживачами, з якими укладено договори постачання.

Окрім того, згідно законодавства, постачальник як сторона відповідальна за балансування, несе фінансову відповідальність за дотримання балансу споживання електроенергії. Різниця між купленими та фактично спожитими обсягами буде відповідно куплена або продана оператором системи передачі за цінами балансування ринку, які відрізняються від ринкових та призводять до суттєвих фінансових втрат. Для ринку України ця задача набула екстремальної актуальності внаслідок впливу воєнних дій. Такі умови викликають масові структурні злами у графіках навантаження, що потребує від постачальника здатності оперативно коригувати свою торгову позицію та використовувати інструменти підтримки рішень, адаптовані до нестаціонарних режимів роботи енергосистеми.

Окрім того, рентабельність роботи постачальника залежить від здатності обрати оптимальний набір продуктів із запропонованих на ринку, який відповідатиме графіку споживання електроенергії. Однак складний

асортимент продуктів, що включає базовий та індивідуальні профілі навантаження, ускладнює пошук оптимального набору для задоволення потреб споживачів та ефективного використання ресурсів.

Рентабельність діяльності постачальника безпосередньо залежить від його здатності розв'язувати двоетапну задачу прийняття рішень в умовах високої волатильності та невизначеності: від адекватного прогнозування споживання до вибору оптимального набору ринкових продуктів. Складний асортимент продуктів на ринку двосторонніх договорів, що включає базові, пікові та індивідуальні профілі навантаження, суттєво ускладнює пошук комбінації, яка б ефективно покривала нерівномірний графік споживання при мінімізації витрат. Наявний науковий інструментарій часто є фрагментарним і не дозволяє повною мірою врахувати всі специфічні обмеження та умови енергосистеми України, що обумовлює необхідність розроблення інтегрованої математичної моделі ринкової поведінки постачальника для підвищення ефективності управління ресурсами та забезпечення фінансової стійкості компанії

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

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України. Робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, зокрема НДР «Розвиток розподіленої енергетики в умовах ринку електричної енергії України з використанням технологій та систем цифровізації. Розділ 1. Організаційні та математичні моделі взаємодії учасників децентралізованого ринку електроенергії», 2025-2026 рр. (номер державної реєстрації 0125U000237).

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержано наступні нові наукові результати:

1. Вперше розроблено модель прогнозування погодинних обсягів електроспоживання, в якій на відміну від існуючих використано переваги алгоритму Random Forest та враховано додаткові обмеження шляхом додавання LS-фактору як екзогенного параметра, що дозволило адаптувати таку модель до умов аварійних та стабілізаційних відключень і підвищити її адекватність.
2. Вперше розроблено оптимізаційну модель формування портфеля купівлі-продажу електричної енергії компанією-постачальником, яка на відміну від існуючих, одночасно враховує прогнозні погодинні обсяги споживання, цінові параметри та ринкові обмеження України, що дозволяє зменшити витрати на закупівлю електричної енергії.
3. Вперше розроблено комп'ютерну модель підтримки прийняття рішень компанією-постачальником електричної енергії – Energy AI, яка на відміну від існуючих забезпечує комплексне вирішення задач прогнозування погодинних обсягів електроспоживання та оптимізації портфеля купівлі-продажу електроенергії, що дозволяє зменшити

витрати на закупівлю електроенергії та підвищити ефективність управління компанією-постачальником.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Теоретичне значення роботи полягає у розвитку науково-методичних засад моделювання ринкової поведінки компанії-постачальника електричної енергії в умовах лібералізованого ринку. Розроблений підхід поєднує методи короткострокового прогнозування електроспоживання, урахування впливу кризових чинників на попит та оптимізацію структури закупівель, що формує цілісну методологічну основу для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері електропостачання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному. Розроблені моделі прогнозування можуть бути використані компаніями-постачальниками для підвищення адекватності погодинного планування попиту. Запропонований підхід до врахування LS-фактору забезпечує можливість адаптації прогнозних моделей до умов аварійних і стабілізаційних відключень. Оптимізаційна модель портфеля закупівель може бути використана для зниження витрат на закупівлю електричної енергії та скорочення ризику небалансів. Інтегрована система Energy AI може застосовуватися як окремий програмний модуль або бути інтегрована до існуючих інформаційно-аналітичних платформ діяльності компанії-постачальника.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку цифрових систем підтримки прийняття рішень у сфері електропостачання.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Результати дисертаційного дослідження пройшли всебічну апробацію як у науковому середовищі, так і на експериментальному стенді. Здобуті напрацювання були представлені на XLI Науково-технічній конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, (м. Київ, 17 травня 2023 р.), V науково-практичній конференції «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації» ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 22 листопада 2023 р.), XLII Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 15 травня 2024 р.), на міжнародній конференції IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology, (м. Харків, 7–11 жовтня 2024 року), XLIII науково-технічній конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 14.05.2025,) та на Міжнародній науково-практичній конференції «Енергетичний фронт: шостий театр воєнних дій (стратегія захисту, управління та відновлення)», ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 27 березня 2026 р.).

Результати дисертаційної роботи використовуються в науковому проєкті «Розвиток розподіленої енергетики в умовах ринку електричної енергії України з використанням технологій та систем цифровізації. Розділ 1. Організаційні та математичні моделі взаємодії учасників децентралізованого

ринку електроенергії», 2025-2026 рр. (номер державної реєстрації 0125U000237).

Впровадження результатів дисертаційної роботи в практичну діяльність товариства з обмеженою відповідальністю «Енергетична мережа» підтверджено відповідним документом про впровадження. Використання розроблених моделей та методів дозволило підвищити точність прогнозування електроспоживання, зменшити відхилення фактичних обсягів від прогнозованих, а також оптимізувати витрати на закупівлю електричної енергії.

Практичні результати роботи захищено трьома свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір: «Комп'ютерна програма «Алгоритм випадкового лісу в прогнозній моделі обсягів споживання електроенергії» («Energy AI»), «Науковий твір «Модель оптимізації портфеля купівлі-продажу електричної енергії компанією-постачальником» та «Система моделювання Energy AI для підтримки прийняття рішень компанією-постачальником щодо купівлі-продажу електричної енергії» («Energy AI»).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Ключко Олексія Івановича визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень оприлюднено 13 наукових публікацій, у тому числі:

- 5 статей у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, число співавторів кожної (разом зі здобувачем) – не більше двох осіб;
- 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір;
- 5 тез доповідей на наукових конференціях.

Статті у наукових фахових виданнях України (категорія «Б»):

1. С.Є. Саух, О.І. Ключко 'Модель оптимізації портфеля купівлі-продажу електричної енергії компанією-постачальником', Електронне моделювання Т.46 № 3. (2024) С. 3-21. doi:/10.15407/emodel.46.03. *(Особистий внесок: брав участь у побудові моделі, визначені ринкових обмежень та впливу окремих факторів на загальний результат роботи компанії-постачальника, виконання симуляції моделі)*
2. О.І. Ключко, 'Огляд моделей та методів моделювання задач оптимізації портфелю компанії-постачальника електричної енергії та підтримки прийняття стратегічних рішень', Електронне моделювання Т. 47 № 1. (2025) С. 3-21. doi:/10.15407/emodel.47.01.
3. О.І. Ключко, 'Модель прогнозування обсягів споживання електроенергії з використанням алгоритму «випадковий ліс»',

Електронне моделювання Т. 47 № 2. (2025) С. 48-66. doi:/10.15407/emodel.47.02.036.

4. С.Є. Саух, О.І. Ключко, 'Прогнозування обсягів споживання електроенергії в умовах ракетно-дронових атак на енергосистему', Електронне моделювання Т. 47 № 5. (2025) С. 87-104. doi:/10.15407/emodel.47.05.087. *(Особистий внесок: брав участь у побудові моделі прогнозування, підготовці фактичних даних електроспоживання, аналізі впливу завданих ударів на зміни в обсягах електроспоживання, виконання симуляції моделі)*
5. О.І. Ключко, 'Програмна система Energy AI для прогнозування портфеля закупівель електроенергії постачальником', Електронне моделювання Т. 48 № 2 (2026) С. 51-68 doi:/10.15407/emodel.48.02.051.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

6. Свідоцтво № 137583 від 02.07.2025 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Алгоритм випадкового лісу в прогнозній моделі обсягів споживання електроенергії» («Energy AI»). Автор: Ключко О.І.
7. Свідоцтво № 142335 від 11.02.2026 про реєстрацію авторського права на твір «Науковий твір «Модель оптимізації портфеля купівлі-продажу електричної енергії компанією-постачальником». Автори: Саух С.Є., Ключко О.І.
8. Свідоцтво № 147052 від 15.05.2026 про реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма «Система моделювання Energy AI для підтримки прийняття рішень компанією-постачальником щодо купівлі-продажу електричної енергії» («Energy AI»). Автори: Саух С.Є., Ключко О.І.

Тези доповідей на науково-технічних та науково-практичних конференціях:

9. О.І. Ключко, Моделі оптимізації портфелю та методи моделювання задач купівлі-продажу електричної енергії компаніями постачальниками, Зб. матеріалів ХІІ Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 17 травня 2023 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2023. С. 31-34.
10. О.І. Ключко, Кластеризація даних щодо споживання електричної енергії в період воєнного стану Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації, V науково-практична конференція Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України: матеріали (Київ, 22 листопада 2023 р.). Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2023. С. 73-75.

11. О.І. Ключко, Математичне моделювання закупівельної діяльності компанії-постачальника електричної енергії, Збірник матеріалів ХІІ Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 15 травня 2024 р. / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2024. – С. 127-130.
12. О.І. Ключко Метод машинного навчання «випадковий ліс» в задачах прогнозування обсягів споживання електроенергії, Збірник матеріалів ХІІІ Науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 14 травня 2025 р. – С. 16-19.
13. О.І. Ключко, Прогнозування електроенергії методом «random forest» із застосуванням «ls-фактора» для моделювання впливу ракетно-дронових атак на енергосистему, Енергетичний фронт: шостий театр воєнних дій (стратегія захисту, управління та відновлення), Міжнародна науково-практична конференція Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України: матеріали (Київ, 27 березня 2026 р.). Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2026, С. 40-44

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Ключка Олексія Івановича «Моделювання задач купівлі-продажу електроенергії компаніями постачальниками в ринкових умовах», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки 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 Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України Інформаційні технології зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Моделювання задач купівлі-продажу електроенергії компаніями постачальниками в ринкових умовах», подану Ключком Олексієм Івановичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

докт. техн. наук, ст. дослідник, заступник директора з наукової роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова НАН України, Євдокімов Володимир Анатолійович;

Члени:

Рецензенти:

докт. техн. наук, ст. наук. співр., зав. лабораторії Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Борукаєв Зелімхан Харитонович;

докт. техн. наук, професор, пров. наук. співр. Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Ковальчук Людмила Василівна;

Опоненти:

докт. техн. наук, ст. наук. співр., завідувач відділу теоретичної електротехніки Інституту електродинаміки НАН України, Зайцев Євген Олександрович;

чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, ст. наук. співр., заст. директора з наукової роботи Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Кузнецов Микола Петрович.

Головуючий на засіданні,
д.т.н., с.н.с., зав. відділу математичного
та економетричного моделювання
ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України



Сергій ГІЛЬГУРТ

Гарант освітньо-наукової програми
член-кореспондент НАН України,
д.т.н., проф., директор ІПМЕ
ім. Г.Є. Пухова НАН України



Володимир МОХОР

Учений секретар
ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України,
к.т.н.

Вікторія ЧЬОЧЬ