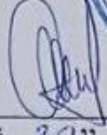


ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
д.т.н., проф.

Сергій СТИРЕНКО
« 30 » 01 2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації Клен Катерини Сергіївни на тему «Теоретичні засади побудови систем керування перетворювачами на базі ентропійної дивергенції», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.12 «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії»

(Витяг з протоколу № 14 від 23 січня 2025 р. наукового семінару кафедри електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

Тему дисертаційної роботи «Теоретичні засади побудови систем керування перетворювачами на базі ентропійної дивергенції» затверджено на засіданні Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від «03» жовтня 2022 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від «11» листопада 2024 року).

Науковим консультантом затверджений д.т.н., проф. Жушков В.Я.

Структурний підрозділ для проведення попередньої експертизи дисертації та рецензентів затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від «11» листопада 2024 року).

Заслухавши та обговоривши доповідь Клен К.С., а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації ухвалили прийняти такий висновок:

1. Актуальність теми дослідження

Сучасний сталий розвиток енергетики в світі досягається шляхом підвищення енергетичної ефективності використання традиційних енергоресурсів та більш широкого залучення до енерговиробництва екологічно «чистих» відновлюваних джерел енергії. В даний час посилюються вимоги до функціонування енергетики, а саме: забезпечення стійкості в умовах кризових явищ; створення нових технологій генерування;

зберігання і передача електроенергії; перехід до організації «інтелектуального» керування в енергетиці; створення автономних джерел енергії.

В роботах вітчизняних та зарубіжних вчених розроблені основи теорії керування напівпровідниковими перетворювачами у локальних системах електроживлення, спрямовані або на забезпечення роботи установок на основі відновлюваних джерел енергії в режимі відбору максимальної потужності або на реалізацію раціонального використання енергії накопичувача. Однак, виконати обидві задачі керування одночасно неможливо, оскільки відбір максимальної енергії від установки на основі відновлюваного джерела енергії реалізується в точці, а раціональне використання енергії накопичувача забезпечується на деякому часовому інтервалі. Вказана особливість подібна принципу невизначеності Гейзенберга, і вказує на необхідність розробки теоретичних засад інтервального керування перетворювачами в локальних системах електроживлення.

Локальним системам електроживлення, як розімкнутим відкритим системам, притаманні ентропійні характеристики потоку первинної енергії на вході системи та потоку енергії, що споживається навантаженням. Для раціонального використання енергії первинного потоку в таких системах необхідно мінімізувати розбіжність між цими потоками за рахунок визначення ентропійної дивергенції, як інтегральної характеристики оцінки ступеню варіативності процесів генерації, споживання та накопичення енергії.

Оскільки існуючі підходи до розробки теоретичних засад керування перетворювачами залишають місце для підвищення ефективності використання потоків енергії генерації та споживання за рахунок врахування їх особливостей, а саме – фундаментальної подвійної структури (у вигляді стійкого тренду та флуктуацій, що відповідають Вінеровському процесу) та фрактальної природи, то розробка системного підходу до керування напівпровідниковими перетворювачами на основі застосування аналогу принципу невизначеності Гейзенберга, розрахунку ентропійної дивергенції та врахування особливостей потоків енергії генерації та споживання є окремою актуальною задачею.

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

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися на кафедрі електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за темами, які фінансувалися: 1) Міністерством освіти і науки України: «Теоретичні засади обробки дискретних функцій з модульним аргументом та використання їх для моніторингу біотелеметричних показників людини в надзвичайних ситуаціях» (№ ДР 0115U000352, 2017 – 2018 рр.); «Розробка неінвазивної пасивної акустичної системи нового покоління для вимірювання критичних фізіологічних параметрів головного мозку та внутрішнього вуха людини» (№ ДР 0118U003533, 2018 – 2019 рр.), «Система

енергозабезпечення високочастотних вентиляно-індукторних двигунів дрона з багатокомірковими перетворювачами і просторово-часовою модуляцією» (№ ДР 0120U102131, 2020 – 2021 рр.); 2) за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій “Горизонт 2020”: «Smart-моніторинг ефективності функціонування локальних систем енергозабезпечення з альтернативними джерелами енергії» (№ ДР 0123U102848, 2023 – 2024 рр.). У перерахованих науково-дослідних роботах автором зроблено обґрунтування задач дослідження та розроблено теоретичні основи енергоефективного керування перетворювачами у системах електроживлення.

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод інтервального керування перетворювачами локальної системи електроживлення на основі врахування аналогу принципу невизначеності Гейзенберга, що дозволило підвищити ефективність використання електроенергії в системі за рахунок визначення співвідношення між числом інтервалів спостереження та кількістю апроксимуючих функцій на інтервалі.

2. Вперше розроблено метод прогнозування потужності генерації сонячних батарей на основі об'єднання методів найближчих сусідів та кластеризації k -середніх, що дозволяє зменшити середню абсолютну похибку прогнозування до 4%.

3. Вперше розроблено метод керування перетворювачами для розподілу енергії між накопичувачами та навантаженням у локальних системах електроживлення з установками на основі відновлюваних джерел енергії на основі розрахунку ентропійної дивергенції, що дозволило на 3% підвищити ефективність використання енергії первинного потоку в системі.

4. Вперше показано, що врахування фрактальної природи процесів генерації та споживання енергії при розрахунку імовірнісних моментів при прогнозуванні часового розподілу ентропії Шеннона та Ренї дозволяє на 11% підвищити точність прогнозування.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертаційній роботі

Наукове значення роботи полягає в розробці теоретичних та практичних висновків і рекомендацій, які викладені в науковому дисертаційному дослідженні. Детальне ознайомлення з дисертацією показує, що основні результати досліджень Клен К.С. достатньою мірою обґрунтовані, їх наукова достовірність не викликає сумнівів, оскільки вони отримані у результаті ґрунтовної аналітичної роботи здобувача.

Автором дисертації чітко сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, обґрунтовано теоретичні основи та методологічні підходи щодо їх виконання, розроблено відповідні положення, які у своїй комплексності є науковим шляхом вирішення поставлених завдань. Потрібно

зазначити, що завдання дослідження, положення наукової новизни і висновки дисертації є логічно взаємопов'язаними. Дисертаційна робота Клен К.С. є оригінальною науковою працею, виконаною на належному теоретико-методологічному і прикладному рівні. Вона має послідовну та виважену структурну побудову і є комплексним та завершеним науковим дослідженням. Зміст роботи та велика кількість використаних математичних методів та моделей свідчать про різносторонню, і водночас комплексну наукову компетентність її автора.

Наукова обґрунтованість та достовірність основних положень дисертації, отриманих результатів, висновків та сформульованих рекомендацій забезпечувалася здобувачем за рахунок застосування сукупності загальнонаукових і спеціальних методів наукових досліджень, використанням актуальної нормативно-правової й статистичної інформації з національних і міжнародних офіційних інформаційних джерел, а також проведенням у роботі ґрунтовним аналізом фундаментальних праць вітчизняних і зарубіжних учених з досліджуваної проблеми.

Вищезазначене підтверджує високу ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи Клен К.С.

Сформульовані автором дисертації висновки характеризуються новизною, логічністю й аргументованістю. Основні положення і результати дисертаційної роботи пройшли достатньо широку апробацію, яка підтверджується різноплановими публікаціями автора, у тому числі у міжнародних виданнях, виступами як на всеукраїнських, так і на міжнародних науково-технічних конференціях. Виконання поставлених наукових завдань щодо вирішення сформульованої проблеми надали автору можливість обґрунтувати положення, які розкривають теоретичну сутність дослідження та характеризуються науковою новизною.

5. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів роботи полягає у комплексному вирішенні актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності використання енергії у локальних системах електроживлення з установками на основі відновлюваних джерел енергії в частині розвитку теоретичних засад керування напівпровідниковими перетворювачами, розробки моделей та методів, які забезпечують взаємодію установок на основі відновлюваних джерел енергії, накопичувачів та споживачів у межах таких систем.

Практичне значення отриманих результатів дослідження сприяє підвищенню ефективності функціонування локальних систем електроживлення з установками на основі відновлюваних джерел енергії, а саме:

1. На основі теорії моментів розроблено алгоритм прогнозування та відновлення часового розподілу потужності споживання на основі розрахунку ентропії Шеннона та Реньї з підвищеною точністю.

2. Створено новий спосіб керування зарядно-розрядним пристроєм накопичувача у локальних системах з установками на основі відновлюваних джерел енергії на основі визначення різниці ентропійних дивергенцій зі сторони джерела та навантаження, що дозволяє щонайменше у 2 рази зменшити тривалості інтервалів часу, коли накопичувач є повністю зарядженим або розрядженим.

3. На основі теорії мартингалів розроблено алгоритм оцінки кількості енергії, яка може виявитись надмірною при заряді накопичувача та кількості енергії, що може виявитись недостатньою при його розряді, що дозволяє визначити імовірності перезаряду та надмірного розряду накопичувача за умови відсутності BMS-системи.

4. Розроблено алгоритм та програмну реалізацію розрахунку та формування керуючих імпульсів зарядно-розрядного пристрою накопичувача в локальній системі електроживлення з установкою на основі відновлюваного джерела енергії.

Результати роботи використовуються для вдосконалення програми прогнозування генерації електричної енергії сонячними фотоелектричними станціями ТОВ «Пролог Соларінвест» та ТОВ «Енерджилайн» та для створення методик і рекомендацій щодо підвищення ефективності використання електроенергії в системах з установками на основі відновлюваних джерел енергії громадською організацією «Асоціація науковців України». Також результати досліджень викладаються в рамках дисциплін «Теорія інформації», «Пристрої перетворювальної техніки», «Електронні системи керування та регулювання» при підготовці фахівців за спеціальністю 171 «Електроніка» в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

6. Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: 3х наукових семінарах «Напівпровідникові перетворювачі в пристроях промислової електроніки» секції «Перетворення параметрів електричної енергії» НАН України (м. Київ, 2020 – 2022 рр.); 16ти міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми сучасної електротехніки (м. Київ, 2018, 2020), «Smart-технології в енергетиці та електроніці» (м. Лазурне, 2017 – 2021 рр.), «IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology», ELNANO (Kyiv, Ukraine, 2022), «IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics», UkrMiCo (Kyiv, Ukraine, 2023), International conference Generacja-Przesył-Wykorzystanie GPW (Wroclaw, Poland, 2017 – 2023 yy.).

7. Оцінка змісту дисертації

У першому розділі проаналізовано умови підвищення ефективності використання електроенергії у локальних системах електроживлення з установками на основі відновлюваних джерел енергії засобами перетворювальної техніки. Показано, що для підвищення ефективності необхідно впроваджувати інтелектуальні механізми керування

розподіленими енергетичними ресурсами та їх систему інтеграцію з використанням накопичувачів електричної енергії, що дозволить зменшити частку нерегульованого навантаження в системі.

При цьому важливою задачею є реалізація керування напівпровідниковими перетворювачами у локальних системах електроживлення з установками на основі відновлюваних джерел енергії та накопичувачами з врахуванням значної розмірності простору даних, різномірності їх потоків, а також – забезпеченням гарантованого електроживлення навантаження протягом наперед визначеного інтервалу часу.

Показано, що реалізація ефективного керування перетворювачами у локальних системах електроживлення обумовлює необхідність створення відповідного математичного базису, який включає: 1) застосування аналогу принципу невизначеності Гейзенберга; 2) залучення положень теорії ентропійного та фрактального аналізу; 3) розвиток теорії моментних перетворень та теорії мартингалів, та створення на його основі ефективних алгоритмів і систем керування.

У другому розділі проведено математичне моделювання структури потоку первинної енергії. Показано, що на основі врахування аналогу принципу невизначеності Гейзенберга для ефективного керування локальною системою електроживлення необхідно мати два канали керування: за базовим інтервалом для забезпечення необхідного рівня енергії для заряду накопичувача та за мінімальною тривалістю інтервалу спостереження для забезпечення необхідного рівня максимально можливої енергії, що отримується від відновлюваних джерел.

Показано, що при випадковому характері підключення навантаження або зміни потужності джерела енергії на інтервалі спостереження флуктуації електромагнітних процесів у локальній системі електроживлення відповідають Вінеровському процесу, що переводить систему до режиму нестійкої роботи. Для підтримання стійкої роботи таких систем необхідно мати деякий заздалегідь відомий додатковий запас величини енергії, що визначається відповідно до закону повторного логарифму, і використовується при підключенні навантаження або зміні потужності вхідного джерела енергії.

Обґрунтовано застосування інтегральних оцінок зміни параметрів системи, що не потребують значної кількості обчислень для зниження розмірності простору даних зі збереженням корисної інформації про систему. Однією з таких інтегральних оцінок потужності сонячного випромінювання на поверхні сонячних батарей є віртуальна щільність хмарного покриву, що розраховується на основі методу зворотного перетворення та перетворення Фур'є. Крім того, параметри потоків первинної енергії, такі як інтенсивність випромінювання та швидкість вітру, можна визначати опосередковано на основі супровідних даних про температуру повітря, тиск та вологість, за допомогою кореляційного аналізу.

Показано, що врахування фрактальної природи процесів генерації та споживання енергії дозволяє підвищити точність прогнозування потужності у локальних системах електроживлення.

Третій розділ присвячений особливостям керування перетворювачами на основі розрахунку ентропійної дивергенції. Показано, що реалізація прогнозного керування локальною системою електроживлення з використанням першої вибіркової ентропії, як інтегральної характеристики стану системи, дозволяє оцінювати та порівнювати випадкові процеси генерації, споживання та накопичення енергії, не знаходячи законів їх розподілу.

Наведено формули теорії моментів для побудови відновлюючого та прогнозуючого поліному, які дозволяють з похибкою, що не перевищує 23% виконувати прогнозування часового розподілу ентропії Шеннона для потужності споживання. Підвищення точності прогнозування на 11% досягається шляхом врахування фрактальної природи процесу споживання енергії та використання при розрахунках ентропії Реньї.

Для прогнозування потужності на виході сонячних батарей запропоновано новий метод об'єднання найближчих сусідів та кластеризації k -середніх, який дозволяє досягти більшої точності порівняно з класичним методом найближчих сусідів, і в середньому на 25% зменшити похибку прогнозування.

Запропоновано спосіб керування зарядно-розрядним пристроєм накопичувача на основі використання функції ентропійної дивергенції, який дозволив на 3% підвищити ефективність використання накопичувача за рахунок зменшення тривалостей інтервалів часу, коли накопичувач повністю заряджений та повністю розряджений.

У четвертому розділі проаналізовано вплив подвійної структури потоків енергії генерації та споживання на розрахунок ентропійної дивергенції. Показано, що застосування додаткового накопичувача, який забезпечує детерміноване значення енергії споживання, зменшує величину довірчого інтервалу та дозволяє підвищити мінімальну необхідну енергію заряду, що дозволяє обирати меншу ємність основного накопичувача.

Врахування статистичної залежності функцій зміни енергії на виході відновлюваного джерела енергії та навантаження вказує на необхідність використання для розрахунку ентропійної дивергенції, замість ентропії Больцмана чи Шеннона, умовної ентропії для поточних розподілів потоків енергії генерації та споживання.

Показано, що для забезпечення ефективної роботи накопичувача, в якому ширина зона керованої роботи визначається величиною похибки прогнозування швидкості вітру, необхідно отримувати дані з меншою дискретністю та обирати метод прогнозування швидкості вітру, що забезпечує мінімальну похибку прогнозування.

Наведено формули для розрахунку імовірностей перезаряду та надмірного розряду накопичувача з використанням теорії мартингалів, що дозволяють для формування сигналів керування при розрахунку ентропійної

дивергенції враховувати ентропії перезаряду та надмірного розряду накопичувача.

У п'ятому розділі описано новий спосіб керування зарядно-розрядним пристроєм накопичувача електроенергії у локальній системі електроживлення, заснований на визначенні різниці ентропійних дивергенцій зі сторони джерела та навантаження, що дозволяє зменшити тривалості інтервалів часу, коли накопичувач є некерованим. Сигнал керування ключем, що комутує накопичувач, формується відповідно до алгебраїчної різниці між значеннями ентропійної дивергенції потоку енергії на виході відновлюваного джерела та значеннями ентропійної дивергенції потоку енергії, що споживає навантаження. Якщо значення ентропійної дивергенції джерела перевищує значення ентропійної дивергенції навантаження, накопичувач заряджається, виступаючи в ролі додаткового навантаження. Якщо значення ентропійної дивергенції джерела менше за значення ентропійної дивергенції навантаження, накопичувач розряджається, виступаючи в ролі додаткового джерела. У випадку, коли ключ завжди замкнутий, накопичувач завжди підключений до системи, і працює у буферному режимі, забезпечуючи роботу відновлюваного джерела енергії в режимі відбору максимальної енергії. У випадку, коли ключ завжди розімкнутий, накопичувач відключений від системи.

Для реалізації вказаних особливостей керування розроблено програмне забезпечення, що дозволяє реалізовувати прогнозне керування локальною системою електроживлення на основі розрахунку ентропійної дивергенції.

Шостий розділ містить інформацію щодо особливостей керування процесами генерації, накопичення та споживання енергії у локальних системах електроживлення. Врахування аналогу принципу невизначеності Гейзенберга, принципу синергетичного розвитку та когнітивності керування вказує на необхідність створення нового найвищого рівня ієрархії керування, який реалізує принцип преємптивного керування, який реалізує випереджуючим чином усунення загрози руйнування системи і локалізацію технічних об'єктів, що породжують загрозу, тобто відбувається перезавантаження системи після деякого часу тривалої роботи, під час якої реалізується прогнозне контекстно-залежне керування системою.

Показано, що інтеграція в контекст інформації, що надходить від різнотипних відновлюваних джерел енергії, накопичувачів та споживачів, дозволяє отримати модель поточного стану реальної локальної системи електроживлення, на підставі якої системою керування може бути згенеровано необхідне керуюче рішення для перетворювачів параметрів електричної енергії з множини можливих рішень.

У роботі вирішена наукова технічна проблема підвищення ефективності використання енергії у локальних системах електроживлення з установками на основі відновлюваних джерел енергії за рахунок розробки теоретичних засад керування напівпровідниковими перетворювачами, заснованих на аналогові принципу невизначеності Гейзенберга,

ентропійному аналізу потоків енергії генерації та споживання з врахуванням їх подвійної структури та фрактальної природи.

8. Дотримання принципів академічної доброчесності

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

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

За результатами досліджень опубліковано 36 наукових праць, у тому числі:

- 1 монографія (розділ у колективній монографії);
- 29 статей у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (в т.ч. 5 включених до категорії “А”, з них 4 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports);
- 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав з наряду, з якого підготовлено дисертацію (в.т.ч. 1, що включена до міжнародних наукометричних баз SCOPUS та/або Web of Science Core Collection);
- 3 тези та доповіді на наукових конференціях.

1. В.Я. Жуйков, Л.М. Лук’яненко, Д.А. Миколаєць, К.С. Осипенко та ін. Підвищення ефективності систем з відновлюваними джерелами енергії. — К.: Кафедра, 2018. — 368 с. ISBN 978-617-7301-48-5. *(Здобувачем розроблено принципи керування напівпровідниковими перетворювачами у локальних системах електроживлення на основі використання принципу невизначеності Гейзенберга)*

2. Жуйков В.Я., Клен (Осипенко) К.С. Принцип невизначеності Гейзенберга при оцінці рівня енергії, що генерується відновлюваними джерелами. — Технічна електродинаміка. — 2017. — № 1, с. 10-16. <http://doi.org/10.15407/techned2017.01.010> *(Здобувачем запропоновано принцип інтервального керування системою електроживлення)*

3. Клен К.С., Жуйков В.Я. Вплив статистичного характеру параметрів елементів системи на рівень заряду накопичувача. — Технічна електродинаміка. — 2019. — № 1, с. 16-20. <https://doi.org/10.15407/techned2019.01.016> *(Здобувачем запропоновано при синтезі законів керування враховувати статистичну залежність функцій потужності на виході відновлюваного джерела енергії та навантаження)*

4. Клен К.С., Жуйков В.Я. Вплив стохастичного характеру енергії в системах розосередженої генерації на їхню стійкість. — Технічна електродинаміка. — 2020. № 3, с. 62-68. <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.062> *(Здобувачем доведена відповідність флуктуацій потоків енергії у системі електроживлення Вінерівському процесу)*

5. Клен К.С., Жуйков В.Я. Ентропійний аналіз систем розосередженої генерації. – Вісті вищих учбових закладів. Радіoeлектроніка – 2021. Том 64(10). С. 644–656. <https://doi.org/10.20535/S0021347021100046> (Здобувачем запропоновано керування накопичувачем здійснювати на основі розрахунку функції ентропійної дивергенції)

6. Клен К.С., Седяров Є.В. Алгоритм підвищення точності прогнозування вихідної потужності сонячної електростанції при застосуванні методу найближчих сусідів. – Вісник НТУУ «КПІ». Серія радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2024. №95. С. 1-9. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.95.39-46> (Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності на виході сонячної батареї використовувати метод кластеризації)

7. Жуйков В.Я., Клен (Осипенко) К.С. Лінеаризація функції зміни параметрів потоку первинної енергії дискретними функціями Франкліна. – Електроніка та зв'язок. – 2016. Том 21, №4(93), с. 33-37. <https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.4.82100> (Здобувачем застосовано математичний апарат функцій Франкліна для апроксимації функцій зміни потоків первинної енергії)

8. V. Zhuikov, K. Klen (Osypenko) Approximation of equivalent source parameters change function by Franklin functions. – Computational problems of electrical engineering. – 2016. Vol. 6, No. 1, с. 49-54. <https://doi.org/10.23939/jcree> (Здобувачем застосовано математичний апарат функцій Франкліна для відновлення функцій зміни потоків первинної енергії)

9. Клен (Осипенко) К.С. Визначення віртуальної щільності хмар із застосуванням методу зворотного перетворення. – Електроніка та зв'язок. – 2017. Том 22, №3(98), с. 55-60. <http://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.3.103844>

10. Жуйков В.Я., Клен (Осипенко) К.С. Оцінка фрактальної розмірності та передавальної функції хмар. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2017. Том 22, №5(2017), с. 13-19. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2017.22.5.106578> (Здобувачем запропоновано використання віртуальної щільності як інтегральної оцінки зміни параметрів хмарного покриття)

11. V. Zhuikov, K. Klen (Osypenko) Principle of preemptive control in Smart Grid. – Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 3 (49), с. 50-54. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2017.117371> (Здобувачем розроблено принцип преємптивного керування локальною системою електроживлення)

12. V. Zhuikov, K. Klen (Osypenko) Determination of cloud cover parameters. – Computational problems of electrical engineering. – 2017. Vol. 7, No. 2, с. 97-102. <https://doi.org/10.23939/jcree> (Здобувачем запропоновано використання передавальної функції хмар як інтегральної оцінки зміни параметрів хмарного покриття)

13. Клен (Осипенко) К.С. Розрахунок імовірності отримання енергії заряду/розряду акумулятора на основі використання теорії мартингалів. –

- Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2018. Том 23, №2(103), 2018, с. 37-41. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.2.132809>
14. Клен К.С., Кузаченко Є.Р. Імітаційне моделювання руху проєкцій хмар над площиною сонячної електростанції. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2018. Том 23, №6, 2018, с. 42-47. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.6.153944> (Здобувачем розглянуто особливості впливу параметрів хмарного покриву на величину енергії, що отримується від сонячних батарей)
15. Клен К.С., Мартинюк В.І. Лінійні функції на базі функцій Уолша. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2019. Том 24, №1, 2019, с. 29-34. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.1.160960> (Здобувачем застосовано математичний апарат лінійних функцій на базі функцій Уолша для апроксимації та відновлення функцій зміни потоків первинної енергії)
16. Клен К.С., Яременко М.К. Оцінка рівня енергії вітрового потоку за супровідними даними. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2019. Том 24, №2, 2019, с. 56-63. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.2.160751> (Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності на виході вітрогенератора використовувати методи кореляційного аналізу)
17. Клен К.С., Жуйков В.Я., Корчака М.О. Відновлення даних у Micro Grid методом емпіричних ортогональних функцій. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2019. Том 24, №3, 2019, с. 33-38. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.3.173308> (Здобувачем запропоновано використання математичного апарату емпіричних ортогональних функцій для відновлення даних потужності сонячного випромінювання)
18. Клен К.С., Жуйков В.Я., Сукач Р.В. Програма для моделювання хмарного покриву над сонячною електростанцією. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2019. Том 24, №4, 2019, с. 18-24. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.4.169709> (Здобувачем розроблено програмне забезпечення для моделювання хмарного покриву)
19. K. Klen, V. Martynyuk, M. Yaremenko. Prediction of the wind speed change function by linear regression method. – Computational problems of electrical engineering. – 2019. Vol. 9, No. 2, p. 28-33. <https://doi.org/10.23939/jcree2019.02.028> (Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності на виході вітрогенератора використовувати методи регресійного аналізу)
20. Клен К.С., Мартинюк В.І., Жуйков В.Я. Моделювання хмарного покриву на основі супутникових знімків. – Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2020. – № 56, с. 24-27. <https://doi.org/10.15407/publishing2020.56.024> (Здобувачем запропоновано проводити моделювання хмарного покриву на основі супутникових знімків)
21. Клен К.С., Яременко М.К., Жуйков В.Я. Вибір методу прогнозування потужності заряду/розряду накопичувача у системі з вітрогенератором. – Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2020. № 57, с. 35-41.

<https://doi.org/10.15407/publishing2020.57.035> *(Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності заряду/розряду накопичувача використовувати методи регресійного аналізу)*

22. Клен К.С., Збронський О.Г., Жуйков В.Я. Розрахунок віртуальної щільності хмари на основі перетворення Фур'є. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2020. Том 25, №3, 2020. С. 36-40. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.207787> *(Здобувачем запропоновано для розрахунку віртуальної щільності хмар використовувати перетворення Фур'є)*

23. Клен К.С. Перша вибіркова ентропія як функція стану системи розосередженої генерації. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2021. Том 26, №1, 2021. С. 288315-1 – 288315-6. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.228315>

24. Мартинюк В.І., Клен К.С., Жуйков В.Я. Визначення параметрів схем заміщення сонячних панелей за експериментальними даними. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2021. Том 26, №2, 2021. С. 237316-1 – 237316-9. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.237316> *(Здобувачем розглянуто особливості визначення параметрів схем заміщення сонячних батарей)*

25. Яременко М.К., Клен К.С., Жуйков В.Я. Вплив величини похибки прогнозування швидкості вітру на вибір кількості акумуляторів системи балансування. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2021. Том 26, №3, 2021. С. 237245-1 – 237245-7. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.237245> *(Здобувачем описана залежність ширини зони керованої роботи акумулятора від величини похибки прогнозування)*

26. Клен К.С., Марченко Р.С. Прогнозування потужності навантаження у MicroGrid методом множинної регресії. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2022. Том 27, №1, 2022. С. 236697–1 – 236697–7. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.236697> *(Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності навантаження використовувати методи регресійного аналізу)*

27. Клен К.С., Мирошніченко М.В. Прогнозування потужності на виході сонячної панелі. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2022. Том 27, №2, 2022. С. 237737–1 – 237737–5. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.237737> *(Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності на виході сонячної батареї використовувати методи регресійного аналізу)*

28. Клен К.С., Андрієнко Р.Є. Імітаційне моделювання автономної системи електроживлення на основі сонячних панелей в режимі реального часу. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2022. Том 27, №3, 2022. С. 268903-1 – 268903-7. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.268903> *(Здобувачем розроблена модель автономної системи електроживлення з сонячною батареєю)*

29. Клен К.С., Яременко М.К. Вплив зміни потужності вітру та потужності навантаження на ємність системи балансування. – Мікросистеми, електроніка та акустика. – 2023. Том 28, №3, 2023. С. 290932.1–290932.9. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.290932> *(Здобувачем розроблено метод*

врахування впливу потужності вітроустановки на розмір накопичувача для балансування енергії в системі)

30. Клен К.С., Навроцький В.О., Жуйков В.Я. Simulation modeling of the power supply system taking into account the stochastic nature of energy generation and consumption processes. – Computational problems of electrical engineering. – 2023. Vol. 13, No. 2. P. 15 – 22. <https://doi.org/10.23939/jcpee2023.02.015> *(Здобувачем запропоновано принцип керування накопичувачем з врахуванням стохастичного характеру потоків енергії генерації та споживання)*

31. Kateryna Klen, Valery Zhuikov. Approximation and prediction of wind speed change function. – Present problems of power system control. Autumn 2018. P. 35-47. ISSN: 2084-2201 *(Здобувачем розглянуто особливості керування накопичувачем у системі електроживлення з вітрогенератором)*

32. K. Klen, V. Martynyuk, M. Yaremenko. Prediction of primary energy flow considering its stochastic nature. – Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe Nr 1/2021 (125). P. 107-110. ISSN 0239-3646 *(Здобувачем запропоновано враховувати стохастичний характер потоку первинної енергії при його прогнозуванні)*

33. K. Klen, M. Yaremenko. Influence of the expected wind speed fluctuation on the number of batteries of the balancing system. – Power Electronic and Drives, vol. 7 (42), 2022. P. 187-196. <http://dx.doi.org/10.2478/pead-2022-0014> *(Здобувачем розроблено метод врахування впливу потужності вітроустановки та потужності навантаження на розмір накопичувача для балансування енергії в системі)*

34. K. Klen, V. Martynyuk. Estimation of Parameters of Photovoltaic Modules Based on Ideality Factor Variation. – 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2022 – Proceedings, 2022. pp. 692–696. <https://doi.org/10.1109/ELNANO54667.2022.9927063> *(Здобувачем запропоновано врахування зміни коефіцієнту ідеальності при розрахунку параметрів сонячних батарей)*

35. K. Klen, M. Yaremenko. The Effect of Wind Speed Change on the Payback Period of Batteries. – 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2022 – Proceedings, 2022. pp. 667–671. <https://doi.org/10.1109/ELNANO54667.2022.9927066> *(Здобувачем запропоновано врахування впливу зміни швидкості вітру на строк служби накопичувачів)*

36. K. Klen, Y. Sedliarov. Selection of the K Parameter in the K-Nearest Neighbor Algorithm for Solar Power Prediction. – Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) – Proceedings, 2023. pp. 306-311. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo61577.2023.10380336> *(Здобувачем запропоновано для прогнозування потужності на виході сонячної батареї використовувати метод k-середніх)*

Якість та кількість публікацій відповідають “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Клен Катерини Сергіївни “Теоретичні засади побудови систем керування перетворювачами на базі ентропійної дивергенції”, що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, є кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, за своїм науковим рівнем та практичною та теоретичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам п.7 та 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, що їх пред’являють до докторських дисертацій, та паспорту спеціальності 05.09.12 «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії».

РЕКОМЕНДУВАТИ дисертаційну роботу “Теоретичні засади побудови систем керування перетворювачами на базі ентропійної дивергенції”, подану Клен Катериною Сергіївною на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, до захисту у спеціалізованій раді Д 26.002.19 за спеціальністю 05.09.12 «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії».

Рецензент

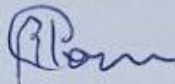
д-р техн. наук, професор



Тетяна ТЕРЕЩЕНКО

Рецензент

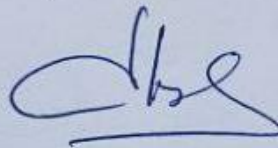
д-р техн. наук, професор



Володимир РОМАШКО

Рецензент

д-р техн. наук, професор



Василь БУДЬКО