

№94/0129 «Формування технологічних структур децентралізованих енергосистем у повоєнній відбудові інфраструктури територіальних громад в контексті протидії зміни клімату», (№ державної реєстрації 0124U002520, 2024 р.). На замовлення Національного фонду досліджень України (науковий керівник Троханяк В.І.), на суму 2257,898 тис. грн.

Об'єкт дослідження – технологічні структури децентралізованих енергосистем у повоєнній відбудові інфраструктури територіальних громад в контексті протидії зміни клімату.

Предмет дослідження – наукові принципи формування енергонезалежних обраних об'єднаних територіальних громад з ресурсними активами виробництва енергії розподіленими відновлюваними джерелами енергії та методологія формування технологічної структури забезпечення енергонезалежності територіальних громад із мінімізацією негативного впливу на довкілля, методи оцінювання технічного та економічного досяжних рівнів енергозабезпечення, діюча модель функціонально-технологічної системи з програмно-технічним комплексом обліку, регулювання, оптимізації споживання енергоресурсів і захисту від перевантажень.

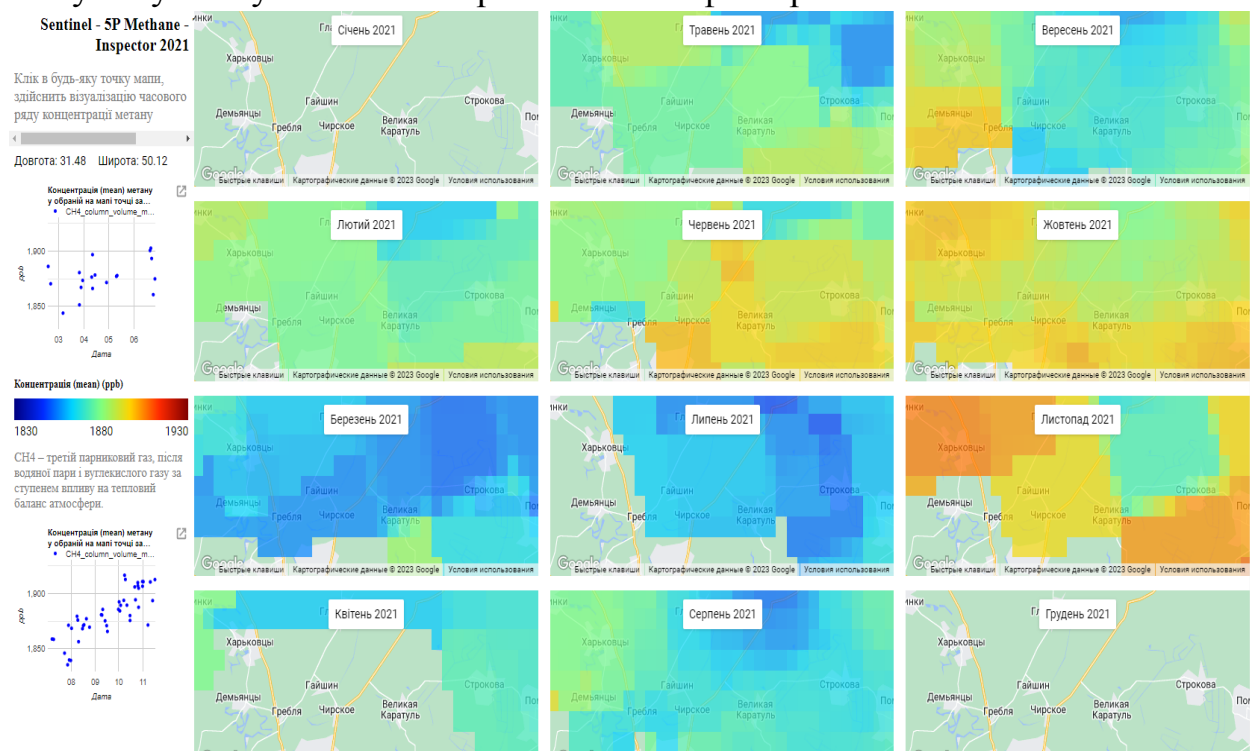
Мета роботи – формування технологічних структур для забезпечення окремих об'єднаних територіальних громад первинними та похідними енергоресурсами, які доступні на власних територіях, а також електричною та тепловою енергією, отриманою застосуванням відновлюваної енергетики та перетворенням доступних власних первинних енергоресурсів під управлінням адаптивної інтелектуальної системи динамічного енергоменеджменту для досягнення максимальної економічно-доцільної енергонезалежності та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Для всебічного оцінювання проєктів теплопостачання доцільно використовувати математичну і імітаційну модель визначення техніко-економічної ефективності впровадження та використання технологій перетворення первинного енергоносія у похідні види палива та енергії. Для систем з тепловими насосами вона має певні особливості: основним технічним показником пропонується використовувати SCOP – сезонний коефіцієнт ефективності, економічним – середньозважена собівартість теплоенергії за життєвий цикл. На базі даних розрахункових та існуючих проєктів визначено, що для існуючих проєктів з ґрунтовими середньозважена собівартість більша на 15-100%. Інвестиційна складова в собівартості складає 25-35% для СТ з ґрунтовими ТН та 60-65% для СТ з повітряними ТН. На собівартість теплової енергії для систем з ТН величина дисконту має більший вплив, ніж вартість електроенергії. Середньозважена собівартість теплоенергії від системи теплопостачання з повітряним ТН менша ніж з ґрунтовими ТН.

Енергетична ефективність систем з ТН вища порівняно з газовими котельнями, а екологічний вплив значно нижчий за умови використання електроенергії як основного джерела.

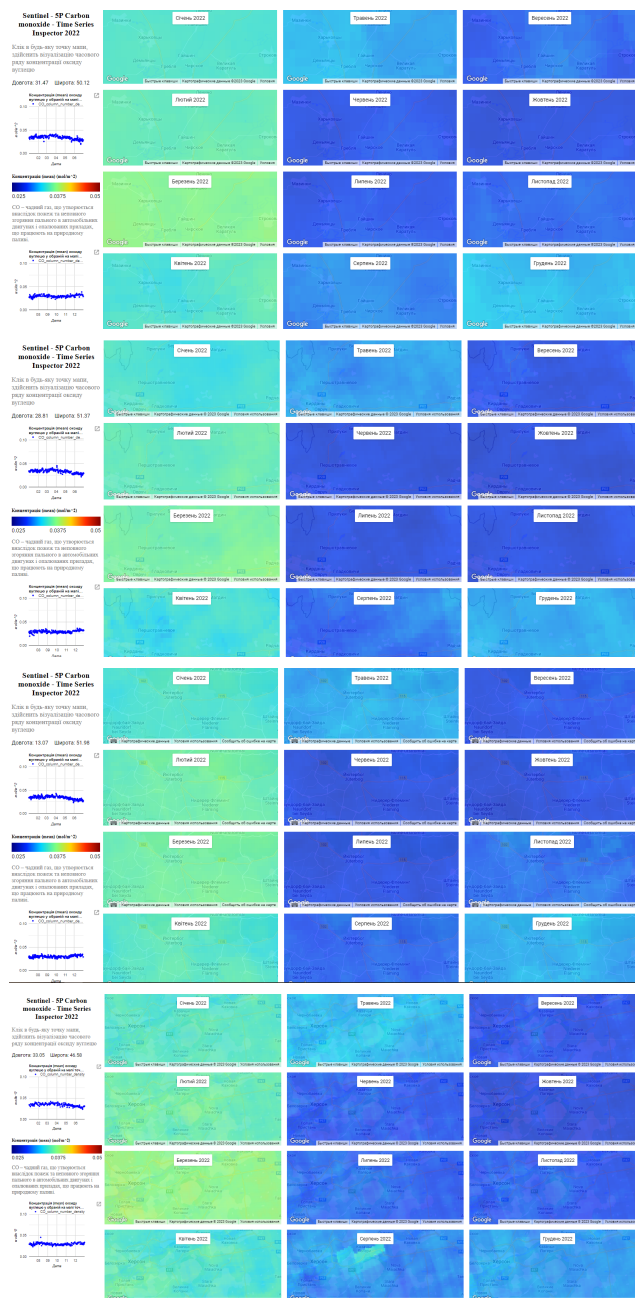
Системи теплопостачання з тепловими насосами є конкурентоспроможними за певних економічних умов, таких як знижені ставки дисконту та застосування пільгових тарифів на електроенергію. Використання пільгових тарифів та двозонних тарифів на електроенергію може суттєво знизити LCON для теплових насосів, що робить їх привабливими для широкого впровадження в Україні.

Запропоновано методичні підходи та розроблено науково-методичний апарат щодо формування сировинної бази для біогазових виробництв енергонезалежних об'єднаних територіальних громад на базі непрямих вимірів супутникового зондування. Серед розглянутих викидів метану та чадного газу з різних територіальних ділянок місцевості для моніторингу перспективної сировини біогазових виробництв доцільно використовувати комплексний підхід із застосуванням саме як показника CH_4 , та CO , оскільки викиди метану можуть бути обумовлені і антропогенними факторами.



Інтерфейс веб-додатку для оцінки просторово-часових змін вмісту CH_4 в атмосфері для населеного пункту Гайшин в 2021 році. В лівій частині інтерфейсу зафіксовано координати точки вимірів (довгота та широта).

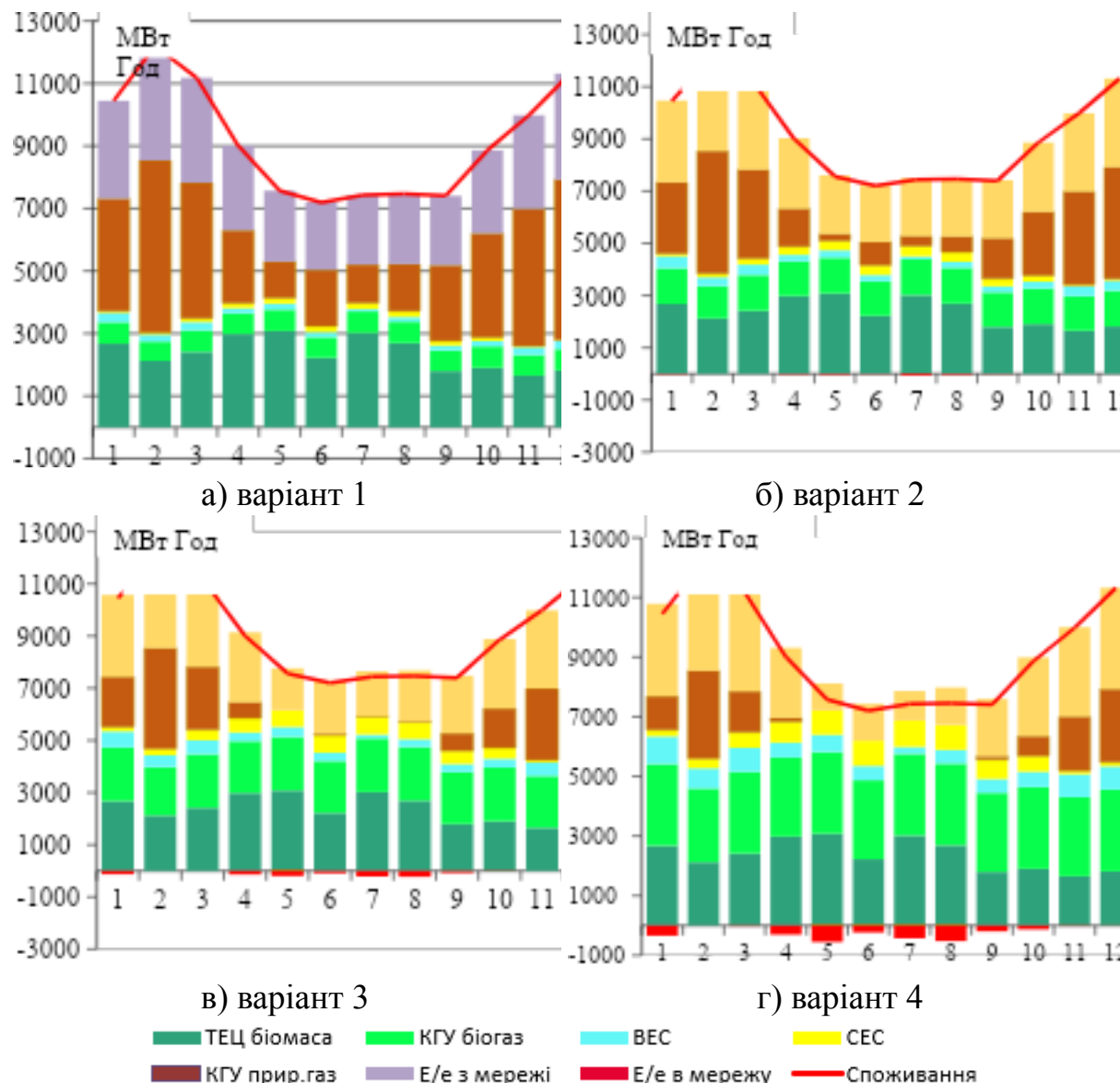
При моніторингу було встановлено, що зафіксований вміст CO в атмосфері у порівнянні з метаном розподіляється більш рівномірно (рис. 1.15), тому додаткові локації для досліджень не вводилися.



Оцінка викидів CO в 2022 році для локацій Гейшин, Овруч, Йютербог та Oleshky Sands

Планування виробництва електроенергії та його гармонізація з графіками споживання електроенергії є однією з основних завдань інтелектуальних систем управління КСЕ і базовою умовою їх проектування. Дана робота орієнтована на розвиток цієї ідеї з урахуванням одержаних результатів досліджень. Принципи управління енергоефективністю з використанням інтелектуальних систем показані на прикладі локальної електроенергетичної системи з полігенерацією з використанням відновлюваних джерел енергії є також валідними і для будь-якої іншої структури різномірних джерел.

Результати сформованих помісячних балансів електричної енергії для відповідних варіантів технологічних структур КЕС Смілянської громади.



Помісячні баланси електричної енергії для варіантів технологічних структур генеруючих потужностей Смілянської громади

Результати модельних розрахунків помісячних річних балансів теплової та електричної енергії Смілянської територіальної громади для сформованих варіантів її технологічної структури комбінованої енергетичної системи засвідчили, що збільшення частки потужностей на ВДЕ у її структурі з 55% до 69% при 30% обмеженні споживання електроенергії з зовнішньої електромережі приводить до скорочення викидів парникових газів (у $\text{CO}_{2\text{екв}}$) при виробництві електроенергії у 3.5 рази. Загальне скорочення викидів ПГ системи комбінованого енергозабезпечення громади становить 42%.

Заходи з підвищення енергоефективності ЕТГ (як основні чи допоміжні) повинні мотивувати членів спільноти до скорочення

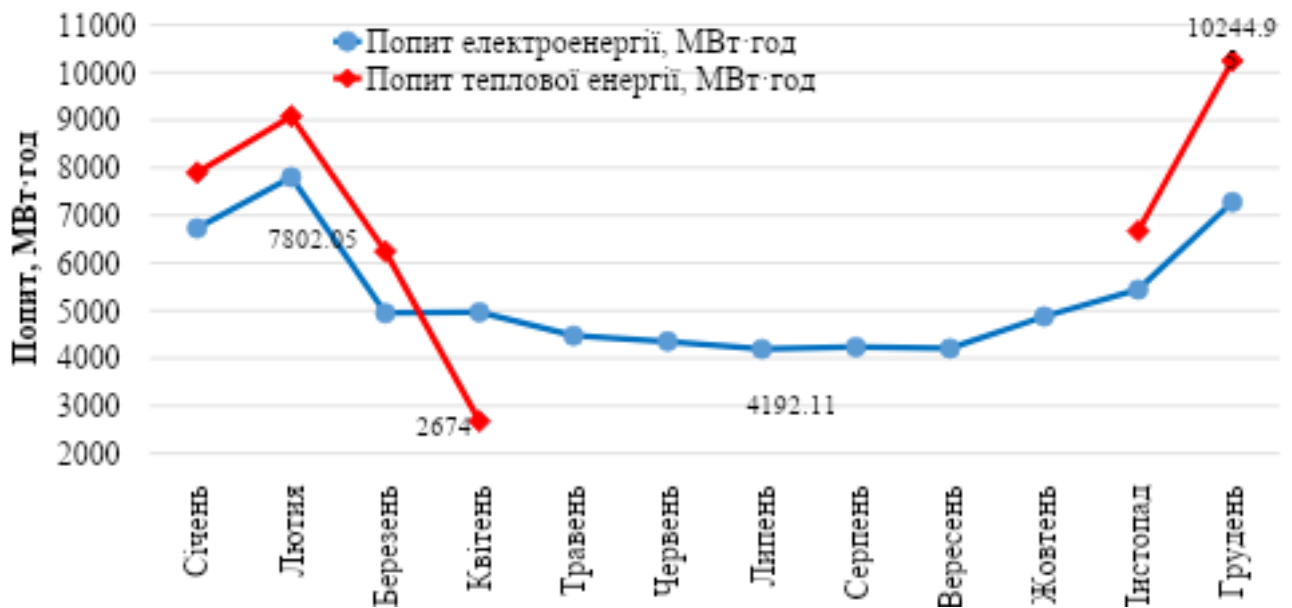
енергоспоживання та інвестувати у модернізацію будівель (для населення) та виробничих технологій (для бізнесу). Система динамічного енергоменеджменту дозволить паритетно формувати тарифні плани усередині ЕТГ та показувати інвестиційно привабливі напрями подальшого підвищення енергоефективності та скорочення викидів парникових газів. Новизна дослідження полягає теоретичному та прикладному обґрунтуванні і терміну «енергонезалежна громада» з огляду на острівний принцип побудови систем енергозабезпечення окремих територій з використанням значної частки енергії власного виробництва і з урахуванням технічного та соціального аспектів терміну «енергонезалежні громади».

Базова конфігурація локальної мікромережі з вводами від централізованої енергосистеми, вітро-сонячних електростанцій, автономних генераторів з двигунами внутрішнього згорання, теплоенергетичних та когенераційних установок (на біогазі, біодизелі, біопаливі), статичних джерел електроживлення, системою моніторингу і управління енергоспоживанням кінцевих користувачів дозволить формувати адаптивні енергетичні баланси громади з урахуванням витрат на первинне паливо, передачу та розподіл електричної та теплової енергії серед кінцевих споживачів.

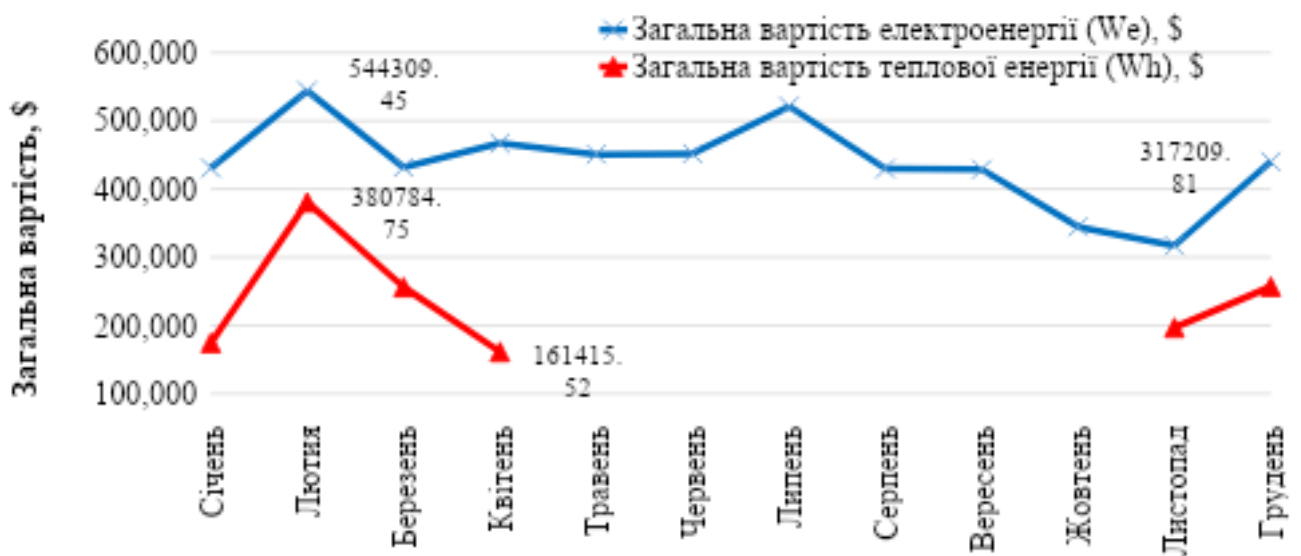
Запропонована методологія формування технологічної структури забезпечення енергонезалежності громад, яка може бути масштабована до довільного організаційно-адміністративного рівня і узгоджується із методологіями, що використовуються на національному (Оператори енергосистем) і наднаціональному рівнях (ENTSO-E та ENTSO-G), а також базується на універсальній методології UNIDO щодо розроблення та обґрунтування проектів у сфері промисловості.

Для формування технологічної структури CHPS для аналізу обрані джерела мережевого рівня з встановленими потужностями, а саме: СЕС – 1,0 mW, ВЕС – 1,6 mW, CHPS – 8,5 mW, БГУ – 1,0 mW.

На основі статистичних даних про рівні енергоспоживання частини Смілянської територіальної громади Черкаської області одержані помісячні профілі попиту на електричну та теплову енергію та загальні витрати на енергозабезпечення територіальної громади.

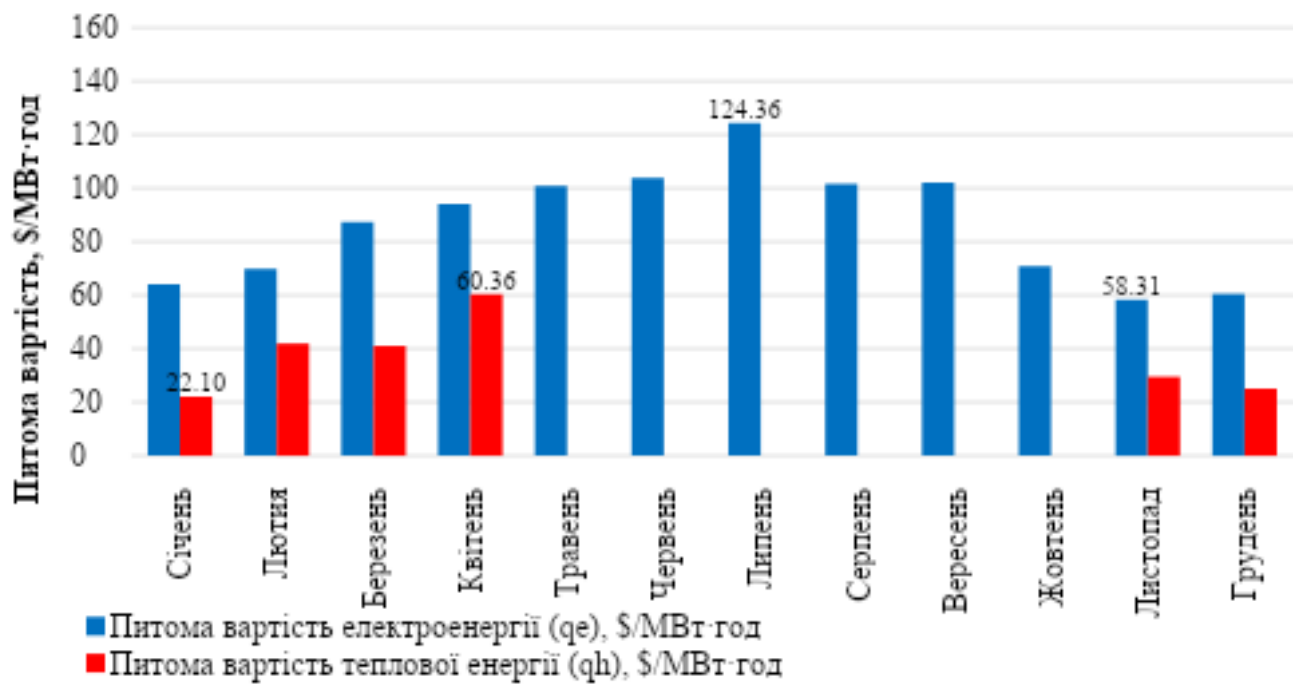


Помісячний профіль навантаження (попит на електричну та теплову енергію)



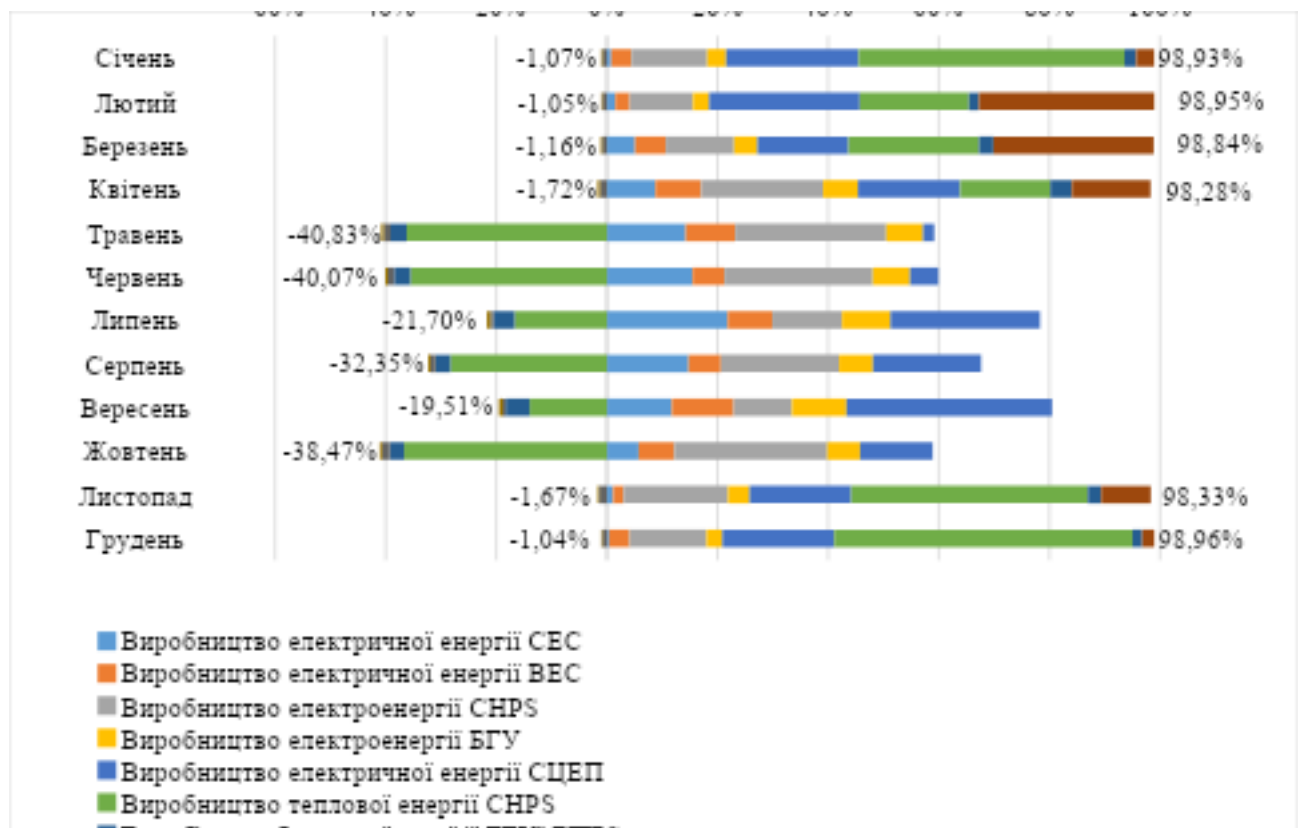
Загальні помісячні витрати на енергозабезпечення територіальної громади для покриття попиту на електричну та теплову енергію

Щоб перевірити ефективність запропонованої структури мікроенергосистеми комбінованого енергозабезпечення, були одержані усереднені на місячному інтервалі значення питомих собівартостей електроенергії та тепла з урахування особливостей технологічних циклів конверсії первинних палив джерел теплової генерації та можливості балансування мікроенергосистеми із зовнішніх мереж.



Усереднені на місячному інтервалі значення питомих собівартостей електроенергії та тепла для структури джерел мікроенергосистеми зі встановленими потужностями; CEC – 1,0 mW, BEC – 1,6 mW, CHPS – 8,5 mW, БГУ – 1,0 mW.

Показані співвідношення між генерацією електроенергії і тепла, втратами енергії в ТЕСТБ та БГУ в неманевровому режимі роботи без урахування сезонності, коли утилізація тепла не відбувається. Очевидно що такий режим роботи джерел теплової генерації є не оптимальним, однак саме він застосовується на об'єкті, статистичні дані про роботу якого використані в даному дослідженні.



Співвідношення між генерацією електроенергії і тепла, втратами енергії в ТЕСТБ та БГУ в неманевровому режимі роботи без урахування сезонності, коли корисна утилізація тепла не відбувається.

Розроблена модель математичного програмування формування прогнозного річного щомісячного балансу теплової та електричної енергії енергонезалежної громади дозволяє детально визначати оптимальне завантаження потужностей комбінованої системи енергопостачання локальної мережі громади з урахуванням профілів добових графіків електричного та теплового навантаження з дотриманням вимог балансової надійності.

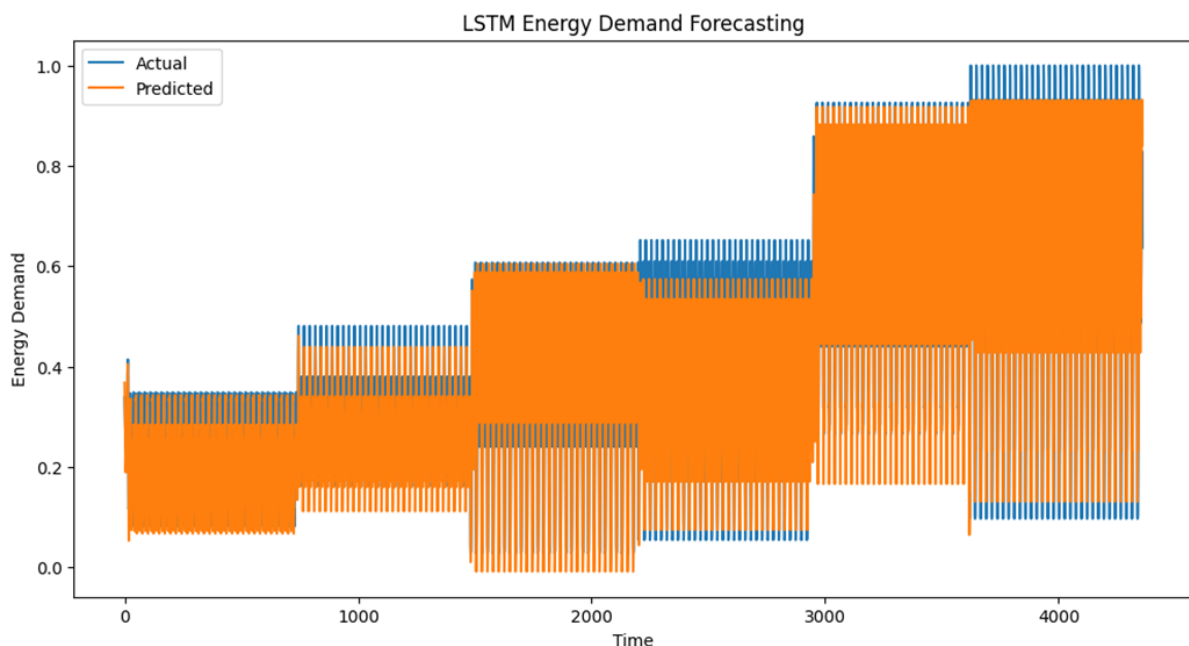
Диспетчеризація комбінованого енерговиробництва для покриття заданих графіків навантаження (особливо це стосується пікових періодів) також потребує дослідження різних режимів спільного виробництва тепла і електроенергії з урахування сезонних змін графіків навантаження. Процеси комбінованого енергозабезпечення спонукатимуть територіальні громади до нового виду діяльності, пов'язаного з власним енерговиробництвом на основі використання місцевих видів палив та відновлюваних джерел енергії. Викладені підходи можуть бути теоретичною основою для розроблення сценаріїв формування енергонезалежності територіальних громад.

Соціально-економічний ефект від впровадження результатів розробки полягає у підвищенні ефективності функціонування комбінованих систем електроживлення на платформі єдиної енергетичної спільноти, покращенні комфорту та якості життя за рахунок підвищення

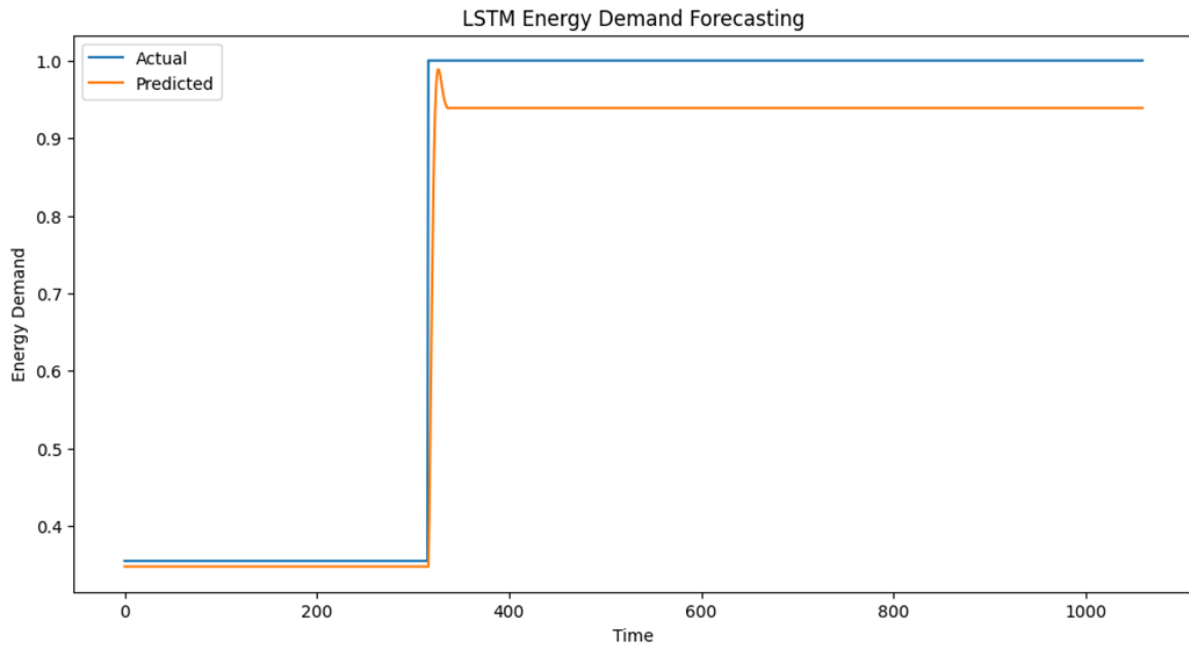
надійності енергопостачання, зменшення залежності від зниження якості енергії централізованих мереж.

В даній роботі запропоновано модель довгої короткочасної пам'яті інтегровану в архітектуру диспетчерського контролю та збору даних, для прогнозування попиту на енергію. Для навчання моделі використано набір історичних даних погодинного споживання енергії PJME. Модель порівняно з іншими існуючими моделями опорної векторної регресії (SVR) та випадкової лінійної регресії (Prophet) отримала порівняно найкращі результати із середньою абсолютною похибкою 2,2 %, R^2 приблизно в межах 95 %, середньоквадратична похибка 0,0008. Ці результати показують високу точність прогнозування попиту на енергію при використанні повних наборів даних.

Практичну реалізацію неймережевої моделі короткострокового прогнозування попиту енергоострова територіальної громади з комбінованим виробництвом електроенергії та тепла було здійснено в Смілянській громаді, в Черкаській області, з адміністративним центром в місті Сміла. Для навчання та прогнозування було зібрано дані про погодинне споживання електричної енергії населенням в кВт•год за 2022 рік та погодинне споживання теплової енергії населенням в кВт•год за січень-березень 2022 року.

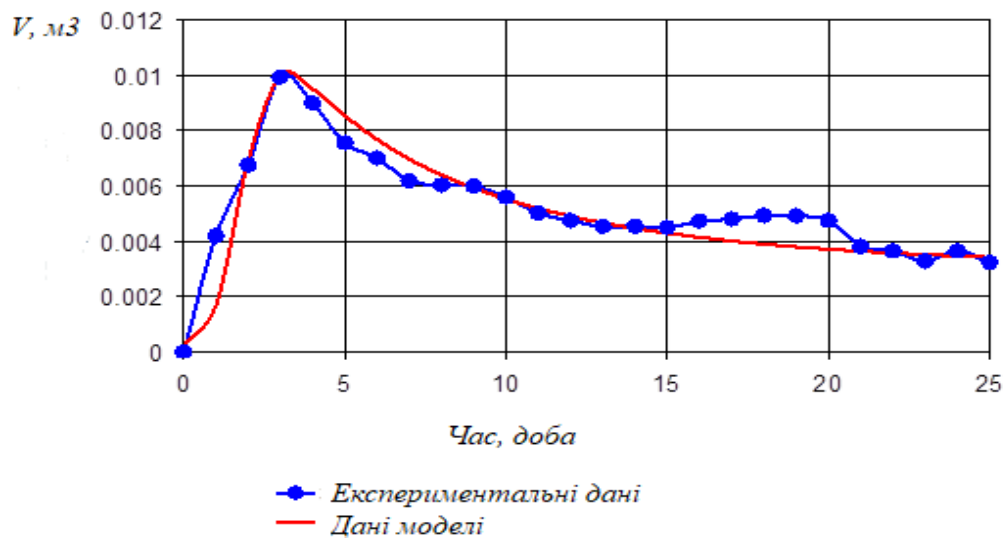


Візуальне представлення різниці між фактичним та прогнозованим попитом на електроенергію для моделі довгої короткочасної пам'яті в Смілянській громаді



Візуальне представлення різниці між фактичним та прогнозованим попитом на теплову енергію для моделі довгої короткочасної пам'яті в Смілянській громаді

Розроблено методичні засади створення математичної та імітаційної моделі процесу функціонування метантенка для визначення техніко-економічної ефективності впровадження та використання технології перетворення сільськогосподарських відходів у біогаз. При цьому результати експериментальних даних підтверджують результати математичної моделі на 89,43% з ймовірністю 99%. Отримані моделі дозволяють проводити математичне моделювання процесу метанового монозброджування коров'ячого гною та прогнозувати вихід біогазу при різних значеннях початкової концентрації біомаси метаноутворюючих бактерій, початкової концентрації поживних речовин субстрату, обсягу ферментатора, а також при квазінеперервному завантаженні субстратом ферментатора, що використовується у всіх промислових біогазових установках.



Порівняння динаміки зміни в часі обсягу отриманого біогазу згідно з експериментальними даними та математичною моделлю при метановому монозброджуванні коров'ячого гною

Аналіз показав, що жодне окреме паливо чи технологія не можуть у всьому енергетичному секторі досягти чистих нульових викидів CO_2 . Успіх залежить від широкого спектру видів палива та технологій, адаптованих до окремих частин енергетичного сектору та до конкретних умов країни.